شماره نوزدهم

موسسه مطالعات بین المللی انرژی
وابسته به وزارت نفت

تیرماه ۱۴۰۱

۱۹

ماهنامه تخصصی

فناوری های انرژی

EnerTech

پژوهشکده مطالعات راهبردی فناوری انرژی

رویدادهای فناوری

۲ سخنی با مخاطب

۳ ولئو – زیمنس؛ مشارکتی موفق در حوزه برقی سازی
حوزه: نظم نوین آینده انرژی

۴ نپتون انرژی؛ پیشگام در استفاده از همزاد دیجیتال در حوزه نفت، گاز و انرژی
حوزه: نظم دوره گذار انرژی

۴ دوقلوی دیجیتال؛ پیوست دیجیتال سودده طرح های حوزه انرژی
حوزه: نظم دوره گذار انرژی

۵ کمپانی شل و شرکت توسعه نفت عمان برای راه اندازی CCUS همکاری می کنند
حوزه: نظم کنونی انرژی

۵ کمپانی JGC ژاپن به قرارداد بزرگ توسعه میدان نفتی زلوف عربستان دست یافت
حوزه: نظم کنونی انرژی

۶ بیکر هیوز و تزریق هیدروژن فشرده به خطوط لوله گاز طبیعی یونان
حوزه: نظم کنونی انرژی

۶ یادگیری تقویت شونده ی مثبت به الگوریتم های پیش بینی ذخائر طبیعی زیرزمینی کمک می کند
حوزه: نظم کنونی انرژی

گزارش های تحلیلی

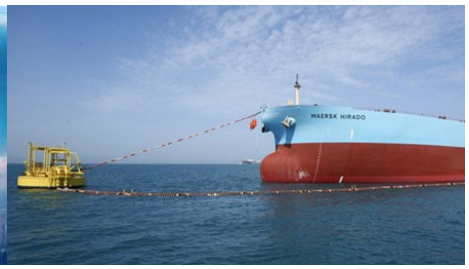
۷ هوشمندسازی در سیستم های انعطاف پذیر تولید برق
حوزه: نظم نوین آینده انرژی

۱۰ دوقلوی دیجیتال و صنعت نفت و گاز
حوزه: نظم دوره گذار انرژی

۱۴ راهبرد شرکت آرامکو در تحقق اهداف کاهش انتشار ۲۰۵۰
حوزه: نظم کنونی انرژی

۱۷ تحلیل و بررسی راهبرد صنعت هیدروژن امارات متحده عربی
حوزه: نظم کنونی انرژی

۲۲ تحلیلی بر بازیافت لیتیوم به‌عنوان فلزی کمیاب برای توسعه حمل‌ونقل الکتریکی و ذخیره‌سازی برق
حوزه: نظم کنونی انرژی



شناسنامه :

مدیر مسئول: عقیل براتی
ناظران علمی: عرفان ریاحی، احمد خان بیگی
سردبیر: قاسم توتونچی
همکاران این شماره: اعظم محمدباقری، مهدی اشتری ماهینی، شیرین رضایی، قاسم توتونچی

هیات تحریریه: عقیل براتی، عباس زراء نژاد، امیرحسین هوشمند، امیرحسین فاکهی، سید صادق ضرغامی، غلامعلی رحیمی، قاسم توتونچی، اعظم محمدباقری، طاهر خرم روز، عباس یعقوبی، شیرین رضایی عدل
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

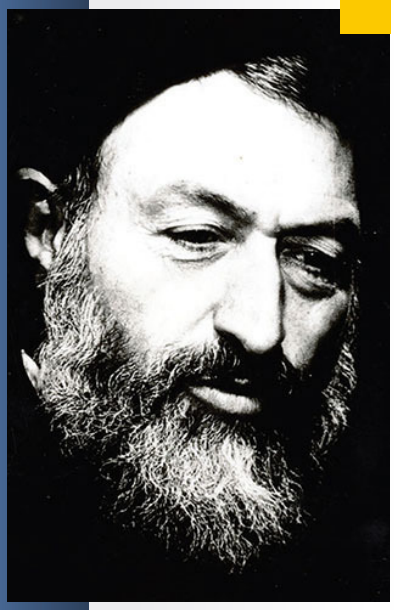
با درود و عرض ادب

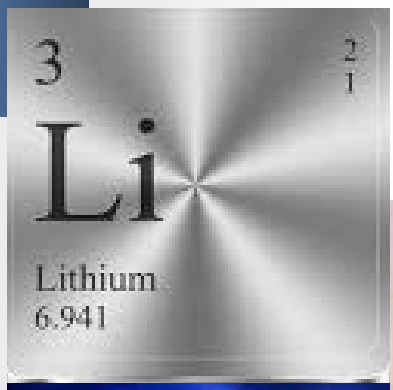
برای دوستداران سیدالشهداء(ع)، ماجرای هر ساله ی کربلا از ابتدای محرم شروع نمی شود و به عاشورا ختم نمی شود؛ بلکه شور و شعور حسینی از روز عرفه، روز خالصانه ترین نیایش ها، شروع شده و در اربعین به اوج می رسد. تیرماه امسال، روز عرفه و به دنبال آن اعیاد سعید قربان و غدیرخم را در بر گرفته و ماهی سرشار از معنویت را رقم زده است. خاالی از لطف نیست یاد شهید مظلوم دکتر بهشتی و یاران ایشان را نیز گرامی بداریم.

در این شماره از ماهنامه ی تخصصی، رویدادهای فناورانه و گزارش های تحلیلی با موضوعاتی مانند دوقلوهای دیجیتال(Digital twin)، برقی سازی هوشمند(Smart Electrification)، راهبرد صنعت هیدروژن امارات متحده عربی، تحلیلی بر بازیافت لیتیوم از باتری های مستعمل، راهبرد آرامکو عربستان سعوی در راستای انتشار خالص صفر ۲۰۵۰، اقدام مشترک عمان و شل در زمینه سامانه ی جذب و بهره برداری از کربن و ... تقدیم گردیده است که امید است مورد توجه واقع شود.

با آرزوی توفیق و سلامتی و شادکامی

سردبیر





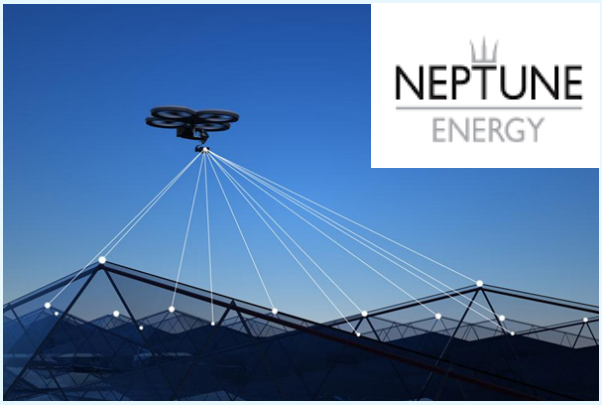
ولئو-زیمنس؛ مشارکتی موفق در حوزه برقی سازی

مشارکت ولئو– زیمنس اعلام کرد ۷ ماه زودتر از زمانبندی اجرای برنامه‌ی منطبق بر نقشه راه خود، به هدف سالیانه‌ی ٤ میلیارد یورویی خود در زمینه‌ی برقی‌سازی هوشمند دست یافته‌اند. این هدف گذاری منطبق بر نقشه‌ی راه، بر اساس فناوری سیلیسیوم کاربید ۸۰۰ ولت انحصاری این مشارکت بوده و مشتمل بر زیر فناوری های مورد نیاز کاربران در زمینه‌ی توسعه برق رسانی هوشمند می باشد. مزیت رقابتی ولتاژ بالا در خودروهای برقی به جای فناوری فعلی مبتنی بر برق شهری ۲۲۰ ولت سبب شد ولئو ۵۰% از سهام بخش خودرو الکتریکی (eAuto) زیمنس را خریداری نموده و نقشه‌ی راه مشترکی را به منظور دنبال کردن اهداف رشد سالیانه ۱۷/۵% برقی‌سازی هوشمند تا سال ۲۰۳۰ و سهم ۳۵% خودروهای برقی ولتاژ بالا ترسیم نمایند. هفت ماه جلوتر بودن از زمانبندی نقشه‌ی راه این مشارکت، آن را در بازارهای آسیا و آمریکا زبانزد نموده است. فناوری ولتاژ بالای ۸۰۰ ولت سیلیکون کاربید سرعت بسیار بالای شارژ، بهره وری و کارایی زیاد تر و طی مسافت و پیمایش طولانی تر را فراهم خواهد کرد.

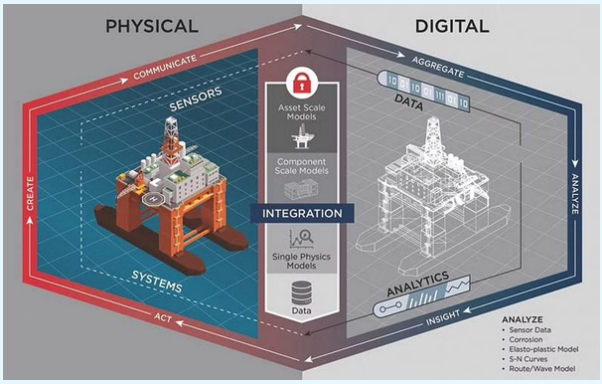
رویدادهای فناوری

نظم دوره گذار انرژی

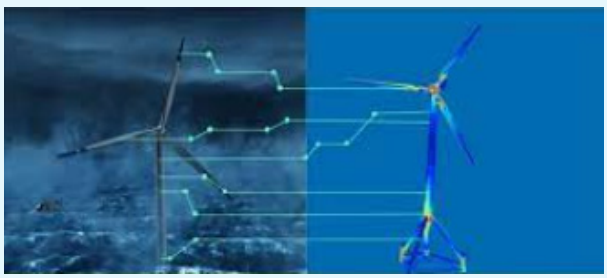
نپتون انرژی؛ پیشگام در استفاده از همزاد دیجیتال در حوزه نفت، گاز و انرژی



نپتون انرژی بعد از پنج پروژه‌ی موفق مبتنی بر همزاد دیجیتال در هلند، بریتانیا و نروژ، به‌سراغ طرح L10 در دریای شمال رفته است تا دو پلتفرم حفاری نفتی و طرح سیستم جذب کربن (CCS) خود در این منطقه را مجهز به دوقلوی دیجیتال کند. نپتون بیان داشته که ضمن کاهش هزینه ها و ریسک پذیری جاه طلبانه‌ی مهندسان و طراحان، تخمین می‌زند ۴۱۰۰ ساعت کار طراحی در محیط دریایی در خشکی انجام‌شده و انتشار کربن ناشی از تردد دریایی کاهش خواهد یافت. همزمان طرح بلندپروازانه‌ی دیگری در بخش بریتانیایی نپتون انرژی مطرح است که اطلاعات برنامه های پروازی پرنده های بدون‌سرنشین بر فراز طرح های درحال اجرا یا بهره برداری را به این همزادهای دیجیتال در دفاتر خشکی متصل نموده و با به روز رسانی این همزاد دیجیتال منطبق بر واقعیت سه بعدی ناشی از بینایی ماشین، امکان بازرسی ادواری و رصدهای تعمیرات و نگهداشت را بدون پرواز توام با انتشار کربن و هزینه‌ی اعزام تکنسین ها فراهم آورد. پروژه‌ی L10 یکی از بزرگ‌ترین طرح های باز جذب کربن و عدم انتشار CO_2 در اروپا است.

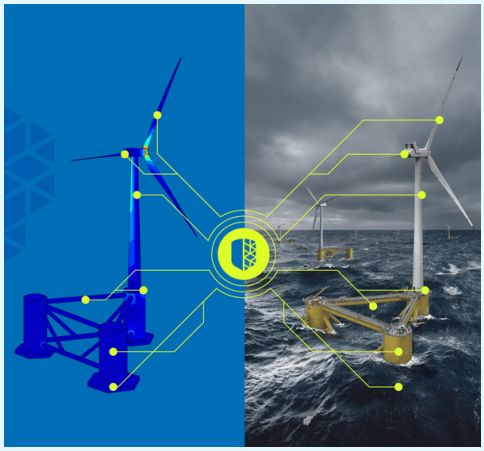


دوقلوی دیجیتال؛ پیوست دیجیتال سودِه طرح های حوزه انرژی



شرکت MO۴ قراردادی ۱۰ ساله برای تولید همزاد دیجیتال چهار شناور خدماتی عملیاتی (SOV) به سفارش کمپانی ستاره شمال (North Star) منعقد کرده است. این شناورهای خدماتی عملیاتی قرار است حامل عظیم ترین تجهیزات تولید برق سبز بادی فراساحلی باشند. ستاره شمال با تخمین عمر مفید ۳۵ ساله برای این شناورها، ضروری دانسته برای پشتیبانی از تصمیم‌سازی های خود در این عمر مفید و با توجه به عدم اطمینان های محیطی و مباحث تعمیرات و به روزرسانی و ارتقاء، به یک مدل دوقلوی دیجیتال دست پیدا کند که با استفاده از هوش مصنوعی، حداکثر تطابق با نمونه‌ی فیزیکی عملیاتی را خواهد داشت.

شرکت MO۴ وعده داده کمپانی ستاره شمال با کاهش برخی ملاحظه کاری های محتاطانه به دلیل عدم اطمینان یا بیم از ریسک و اتکاء به دقیق ترین سناریو پردازی های شبیه‌سازی، خیلی زود سرمایه گذاری دیجیتال خود را سودده خواهد یافت. از سویی دیگر بیان کرده با یادگیری عمیق هوشمند، تغییرات تدریجی جبهه های آب و هوایی، جریانات امواج و جانمایی های جدید را تطبیق پذیر خواهند نمود.



رویدادهای فناوری

نظم کنونی انرژی

کمپانی شل و شرکت توسعه نفت عمان برای راه اندازی CCUS همکاری می کنند

شرکت توسعه نفت عمان (PDO) وابسته به دولت این کشور با همکاری کمپانی شل تفاهم نامه راه اندازی سامانه جذب و بهره برداری از کربن را منعقد نموده اند. این تفاهم نامه ی مطالعاتی، بر مبانی فنی، چهارچوب های قانونی و مالی CCUS استوار است. عمان این سامانه ی CCUS را برای کم کربن کردن فرایند تولید هیدروژن خود نیاز دارد و این واقعیت گویای این است که هدف گذاری راهبردی عمان در زمینه ی هیدروژن سبز نبوده و متمایل به هیدروژن آبی است. منابع نفت و گاز عمان نیز بر امکانسنجی تولید هیدروژن با مصرف هیدروکربن دلالت دارد که در ادامه با جذب کربن، ملاحظات محیط زیستی تولید هیدروژن نیز مدنظر قرار می گیرد. طرح CCUS با هدف گذاری ۲۰۴۰ عمان در زمینه ی تامین انرژی پایدار انطباق دارد. شل مجری چندین بلوک اقدامات PDO و صاحب ۳۴% از سهام آن است.

کمپانی JGC ژاپن به قرارداد بزرگ توسعه میدان نفتی زلوف عربستان دست یافت

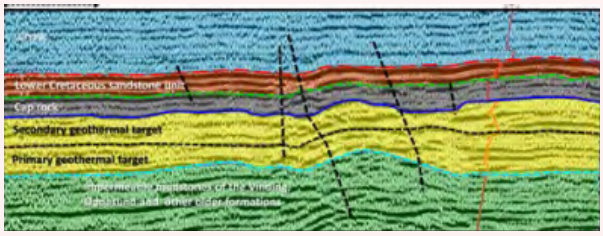
زلوف میدان نفتی متعلق به آرامکو در ۲۴۰ کیلومتری شمال ظهران و در دل آبهای خلیج فارس می باشد. قرارداد توسعه ای این میدان بین آرامکو و کمپانی ژاپنی منعقدشده و بر موضوعات جداسازی نفت و گاز و نیز مکانیسم های تزریق آب متمرکز است. هیچ یک از طرفین رقم این قرارداد EPC را اعلام نکرده اند اما گمانه زنی ها حاکی از چندین میلیارد دلار می باشد. آرامکو این اقدام را پاسخی منطقی به نیاز جهانی به نفت خام دانسته و تصمیم دارد از تاسیسات دریایی زلوف، روزانه ۶۰۰ هزار بشکه نفت خام مبتنی بر مبانی توسعه ای این قرارداد به دست آورد. توسعه بخش خشکی و دریایی زلوف، راهبرد آرامکو برای نیل به تولید ۱۳ میلیون بشکه در سال ۲۰۲۷ می باشد. زلوف ۴۰ کیلومتر از ساحل فاصله داشته و در عمق تقریبی ۴۰ متری است. کمپانی های اماراتی و نروژی نیز در تلاش برای مشارکت در توسعه زلوف تا سقف سرمایه گذاری ۷ میلیارد دلار هستند.

بیکر هیوز و تزریق هیدروژن فشرده به خطوط لوله گاز طبیعی یونان

بیکر هیوز قصد دارد هیدروژن فشرده را به خطوط لوله ی گاز یونان تزریق نماید. این اقدام در راستای سیاست هیدروژن اتحادیه اروپا بوده و به یونان برای دنبال کردن این سیاست کمک می کند. قرارداد بیکر هیوز مبتنی بر توربین های گازی و کمپرسورهایی است که با نسبت مشخص و فشار مناسب، هیدروژن و گاز طبیعی را در ایستگاه تقویت فشار مخلوط می نماید. بیکر هیوز معتقد است تا میزان ۱۰% حجمی، امکان تزریق هیدروژن به خطوط لوله ی یونان وجود دارد. مدیران بیکر هیوز، فناوری های کلیدی و توانمندساز را ابزار اصلی محرک در گذار انرژی می دانند و بر این باور هستند با تکیه بر تکنولوژی، امکان تامین انرژی پایدار و کم کربن میسر خواهد بود. این طرح که در ۲۰۲۴ به بهره برداری خواهد رسید از این جهت که زنجیره ی اقتصاد هیدروژنی اروپا و سیاست های هیدروژنی آن را تقویت می کند نیز حائز اهمیت تلقی می شود.

یادگیری تقویت شونده ی مثبت به الگوریتم های پیش بینی ذخائر طبیعی زیرزمینی کمک می کند

محققان دانشگاه تگزاس با استفاده از یادگیری تقویتی، الگوریتمی را برای تخمین دقیق تر ذخائر طبیعی نفت و گاز در زیر زمین ارائه نموده اند که به صورت خودکار، پیش بینی این ذخائر را صورت می دهد. در پوسته ی زمین، ذخائر عظیم آب زیرزمینی، منابع معدنی و نفت و گاز وجود دارد که هر یک، ویژگی کلیدی و شاخصی از بعد زمین شناسی دارا هستند. این الگوریتم بر اساس یادگیری ماشین، ویژگی های کلیدی محیط زیرزمینی تحت پایش را به صورت خودکار تعیین می کند. اساس کار الگوریتم، مشابه سیستم های یادگیرنده ی مبتنی بر پاداش تقویت کننده، مرتبط با همگراشدن تدریجی بر اساس صحه گذاری و انطباق خروجی تخمین زده شده با واقعیت های میدانی است. محققین و توسعه دهندگان این الگوریتم، که تحقیقات خود را در نشریه انرژی کاربردی منتشر کرده اند، برای دریافت اندازه گیری های مورد نیاز رویکردهای تله متری و تخمین سیگنال و اندازه گیری غیرمستقیم را در پیش گرفته اند. آنها امیدوارند از این الگوریتم برای پیشنهاد بهترین نقاط اکتشاف و حفاری جهت نفت و گاز، مناطق بهینه برای به دام انداختن دی اکسید کربن جذب شده از اتمسفر و مناسب ترین اقدام برای ازدیاد برداشت از چاه های نفت و گاز بهره ببرند. در عین حال این الگوریتم مجبور است برای تخلخل لایه های سنگی و نفوذپذیری زمین شناختی، از مدلسازی و حسگری غیرمستقیم استفاده کند. نقطه ی قوت این الگوریتم، بهبود تدریجی و یادگیرنده ی مدل ها و ضرائب، بر اساس بازخورد از مقایسه با نتایج میدانی واقعی است.



گزارش تحلیلی | نظم نوین آینده انرژی

هوشمندسازی در سیستم های انعطاف پذیر تولید برق

اعظم محمدباقری، شیرین رضایی، قاسم توتونچی
پژوهشگران موسسه مطالعات بین المللی انرژی

۱. مقدمه:

سال ۲۰۲۲ در شرايطي آغاز شد كه جهان با مجموعه اي از بحران ها رو به رو است. وقايع سالهاى اخير هزينه هاي اقتصاد را در جهان افزايش داده است. سيستم انرژي هنوز هم به سوخت هاي فسيلي وابسته است. قيمت نفت و گاز در حال افزايش و بحران اوكراين سطح جديدي از نگراني ها و عدم اطمينان را در جهان ايجاد كرده است. همه گيري كرونا همچنان به عنوان يک مانع در بهبود اقتصاد جهان عمل می کند و مردم همچنان نگران توانایی پرداخت صورتحساب های انرژی خود هستند. در همین زمان، اثرات ناگوار تغییر اقلیم به شکل فزاینده ای در حال افزایش است. هيأت بين الدول تغيير اقليم هشدار مي دهد كه ۳/۳ تا ۳/۶ ميليارد نفر از مردم جهان در مناطقي زندگي مي كنند كه به شدت در برابر تغيير اقليم و پيامدهاي آن آسيب پذيرند.

بنابراين، سياستگذاران بايد هدف كاهش تغيير اقليم و تضمين توسعه پايدار را در برنامه هاي به ظاهر متضاد امنيت انرژي، انعطاف پذيري منابع انرژی و صرفه جویی های انرژی خود بگنجانند. هر رويكرد ديگري به جز اين، بويژه سرمايه گذاري در زيرساخت هاي جديد سوخت هاي فسيلي، خطرات موجود را تداوم مي بخشد و تهديدات طولاني مدت آب و هوايي را افزايش خواهد داد.

با وجود اينكه پيشرفت هاي زيادي صورت گرفته، اما هنوز گذار انرژي در مسير درست خود قرار نگرفته و براي تغيير مسير فعلي آن نياز به اقدامات اساسي است. دستيابي به هدف اقليمي ۲۰۵۰ به اهداف جاه طلبانه و اقدامات كافي تا سال ۲۰۳۰ بستگي دارد و لذا هشت سال آينده براي تسريع در گذار مبتني بر انرژي هاي تجديدپذير حياتي است.

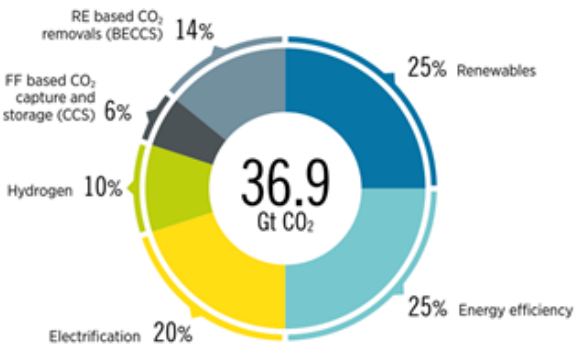
حدود ۸۰ درصد از جمعیت جهان در کشورهایی زندگی می کنند که واردکنندگان خالص انرژی هستند. با این حال پتانسیل هاي فراواني از انرژي هاي تجديدپذير در كشورهاي مختلف وجود دارد كه هنوز مورد استفاده قرار نگرفته و در صورت بكارگيري، اين درصد كاهش خواهد يافت. حركت به سمت استفاده بيشتر از انرژي هاي تجديدپذير موجب مي شود اين كشورها كمتر به واردات انرژي وابسته باشند كه خود تأثير بسياري بر نوسان قيمت سوخت هاي فسيلي خواهد گذاشت. ضمن آنكه باعث ايجاد شغل، كاهش فقر و پيشرفت فراگير و ايمن اقتصاد جهاني در قبال تغيير آب و هوا خواهد شد.

تحولات اخير نشان مي دهد كه قيمت بالاي سوخت هاي فسيلي در غياب انرژي هاي جايگزين، موجب كمبود انرژي و از دست دادن رقابت صنعتي مي شود. از اينرو بازنگري در برنامه ها، سياست ها، رژيم هاي مالي و ساختارهاي بخش انرژي يك ضرورت است و اين اراده و تصميم سياستي است كه مسير گذار را شكل داده و تعيين مي كند كه تا چه ميزان فراگير، عادلانه و با ثبات خواهد بود.

۲. به سمت هدف ۲۰۵۰:

گزارش IRENA ۲۰۲۲ در مسیر کنترل افزایش دما به ۱/۵ درجه، برق‌رسانی و بهبود کارایی را به‌عنوان محرک‌های کلیدی گذار انرژی با منبع انرژی‌های تجدیدپذیر، هیدروژن و زیست توده پایدار بیان می کند. این مسیر، که مستلزم تغییر گسترده در نحوه تولید و مصرف انرژی جوامع است، منجر به کاهش تقریباً ۳۷ گیگا تنی انتشار سالانه CO_2 تا سال ۲۰۵۰ از طریق فناوري و روش هاي ذيل خواهد شد كه ميزان تأثيرگذاري هر يك در شكل ۱ آمده است:

- افزایش قابل توجه تولید و استفاده مستقیم از برق با منبع انرژی های تجدید پذیر.
- ایجاد بهبود در بهره وری انرژی؛
- برقی‌سازی بخش‌های مصرف نهایی (مانند وسایل نقلیه الکتریکی و پمپ های حرارتی)؛
- هیدروژن پاک و مشتقات آن؛
- انرژی زیستی همراه با جذب کربن و ذخیره سازی؛(BECCS)
- فناوري جذب و ذخیره کربن از سوخت های فسیلی (CCS)



شکل ۱: تأثیر فناوری ها بر کاهش انتشار ۲۰۵۰

۳. تولید برق با استفاده از تجدیدپذیرها

برق توليدي از منابع انرژي تجديدپذير اكنون در سال ۲۰۲۱ نسبت به ارقام سال ۲۰۱۰ ارزان ترين گزينه توليد برق در اكثر مناطق جهان است. بطوري كه ميانگين وزني جهاني هزينه برق از پروژه هاي فتوولتائيك خورشيدي (PV)، ۸۵ درصد كاهش يافته است. اين كاهش در هزينه توليد برق از انرژي خورشيدي متمركز (CSP) ۶۸ درصد، باد خشكي ۵۶ درصد و باد فراساحلي ۴۸ درصد برآورد شده است. بنابراين انرژي هاي تجديدپذير در حال حاضر به عنوان يك پيش فرض مهم افزايش ظرفيت بخش برق تقريباً در همه كشورها، هدف بوده و بر سرمايه گذاري هاي فعلي تسلط دارند. بويژه با افزايش اخير قيمت سوخت هاي فسيلي، فناوري هاي توليد برق از منابع خورشيدي و بادي مزيت بيشتري يافته اند. با اين حال عليرغم پيشرفت هايي كه در استفاده از انرژي هاي تجديدپذير در بخش برق صورت گرفته، بخش مصرف نهايي با تأخير رو به رو است و فرايندها و گرمايش خانگي همچنان به شدت به سوخت هاي فسيلي وابسته اند. در بخش حمل و نقل، نفت همچنان تسلط دارد. در حالي كه در اين بخش‌ها، نفوذ عميق‌تر انرژی‌های تجدیدپذیر، گسترش برق‌رسانی و بهبود بهره‌وری انرژی می‌تواند نقش مهمی در کاهش نگرانی‌ها در مورد قیمت‌ها و امنیت عرضه داشته باشد.

بدین ترتیب پیشرفت در گذار انرژي جهان به اراده سیاسی، سرمایه گذاری های هدفمند و ترکیبی از فناوری ها همراه با بسته های سیاستی برای استقرار آنها و بهبود اثرات اقتصادی و اجتماعی بستگی دارد. سال های آینده برای نوآوری، اقدام صنعتی و همکاری بین المللی در تمامي بخش ها تعیین کننده خواهد بود. علاوه بر این، سیاست‌های مالی، از جمله قیمت‌گذاری کربن، برای افزایش رقابت‌پذیری راه‌حل‌های مرتبط با گذار انرژي، بسیار مهم است. ضمن آنکه ارزیابی دقیق تأثیرات اجتماعی، به ویژه در جوامع کم درآمد، ضروری است تا اطمینان حاصل شود که در مسیر این گذار، فقر انرژی تشدید نشده و یا سایر اثرات واپس گرای اجتماعی ایجاد نمي گردد.

٤. برقی سازی هوشمند و انعطاف سیستمی در برق تجدیدپذیر

هنگامی می توان با قطعیت از نقش و تاثیر پایدار انرژی های تجدیدپذیر خورشیدی یا بادی یا دیگر اشکال آن در سبد انرژی یاد کرد، که انعطاف پذیری کامل در برق تجدیدپذیر وجود داشته باشد. مطالعات نشان می دهد صرف اتکا به برق ناشی از آب پشت سدها، نمی تواند ناپایداری ذاتی و واقعه پایه بودن انرژی های تجدیدپذیر را پوشش دهد. لذا هیچ نوآوری در فناوری بدون تغییر انعطاف پذیر در قواعد قانونی، رفتارهای اجتماعی و تصمیمات سیاسی میسر نیست. نوآوری در فناوری تجدید پذیر، نوآوری های انعطاف ساز دیگری را در فناوری های مرتبط به دنبال خواهد داشت. به عبارتی انعطاف پذیری در برق تجدید پذیر فقط با ذخیره سازی برق در باتری های عظیم حاصل نشده و نوآوری هایی مانند برق به نیرو، برق به گاز، برق به مایع، برق به جابجایی، برق به سرمایش و گرمایش، برق به فشار و ... در پیک تولید تجدید پذیر و کمینه بودن تقاضا ضروری است.

جنبه دیگر انعطاف پذیری هوشمند در استفاده از برق تجدیدپذیر، مربوط به خودروهای برقی و به طور کلی حمل و نقل برقی است. شارژ وسائط نقلیه در کوتاه ترین و بهترین زمان و مصرف آن در زمان بهینه بدون نیاز به شارژ آنی مجدد در پیک مصرف برق، نکته ای ممتاز خواهد بود. تجارت خانگی تحویل شارژ مازاد خودروهای برقی پارک شده در پارکینگ به شبکه در پیک مصرف و شارژ مجدد آن با قیمتی پایین تر در پیک تولید، جز با هوشمندی و انعطاف پذیری سیستمی حاصل نمی شود.

تولید هیدروژن سبز نیز از مصادیق پایدارسازی منعطف و هوشمند برای عبور از فراز و نشیب های تولید برق تجدیدپذیر می باشد. هیدروژن قابلیت های منحصر به فردی در به دام انداختن انرژی تجدیدپذیر، ذخیره سازی و انتقال آن دارد. این که چه زمانی و با چه شدتی برق مازاد شبکه به الکترولیز آب و تولید هیدروژن اختصاص یابد، جز با رویکرد هوشمند سیستمی منعطف به دست نمی آید.

توسعه ی بازارهای مرزی برق بین کشورها و بین قاره ها، نقش مهمی در تعادل و پایداری بهره گیری از برق تجدیدپذیر و دور شدن از اتکاء به برق فسیلی دارد. هر میانگین گیری به صورت جهانی، باعث هموار شدن قله های فراز و فرود انرژی در سطح جهان خواهد شد. هنگامی که قاره ای از نبود بارندگی و خالی بودن سدها رنج میبرد، در گوشه ای از جهان شدت بارندگی و نبود آب بند ها ممکن است باعث سیلاب شود. همزمان با فروکش کردن شدت بادهای محلی در ارتفاع پایین و در مجاورت نیروگاه های بادی یک کشور، آفتاب سوزان و درخشان ناحیه ای دیگر از کشوری یا قاره ای را پوشش می دهد. مدیریت این وضعیت نیازمند هوشمندی و انعطاف پذیری سیستمی بین کشورها و روابط سیاسی مناسب آنها است.

مطالب اخیر موکد این مفهوم است که اولین و مهمترین پیش نیاز گذار انرژی از نظم کنونی به نظم نوین، پذیرش نوآوری و عدم مقاومت در برابر تغییر در همه ی حوزه ها از جمله فناوری می باشد. این نوآوری چنانچه ذکر شد، جز با هوشمندی و انعطاف پذیری به دست نمی آید.

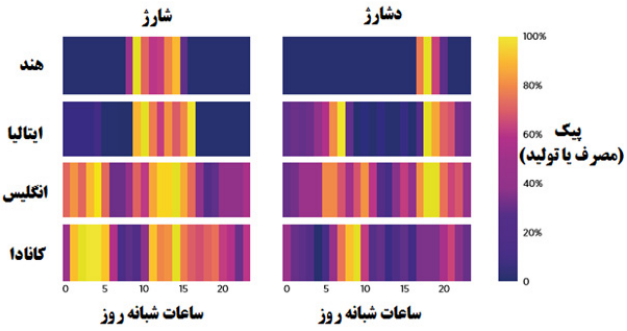
هیچ راهکار جهانشمول و کلی و هیچ کلیدی برای همه ی قفل ها وجود ندارد. بلکه راهکارها باید مبتنی بر اقتضائات محلی و بومی، بهترین تصمیمات و اقدامات و بهترین ابزار ها انتخاب شود.

در شکل شماره ۲ بخش های مهم و قابل توجه برای اقدام در حوزه ی برقی سازی هوشمند ذکر گردیده است که به چهار بخش اصلی فناوری های توانمندساز، مدل های کسب و کار، طراحی بازار و عملیات، قابل تقسیم می باشد.

انعطاف پذیری هوشمند به ویژگی های اقلیمی و بومی مرتبط است و البته برای پیاده سازی نیاز به سیستم سازی و فرهنگ سازی دارد. در شکل ۳ الگوی شارژ و دشارژ جامعه مشروط بر پیاده سازی همه ی زیرساخت ها تا ۲۰۵۰ برای چهار کشور نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است در هند و ایتالیا که سرشار از انرژی خورشیدی هستند، ساعات شارژ و دشارژ منطبق بر ساعات تابش خورشید و نبود آن تنظیم شده است. اما در کشورهایی مانند کانادا و انگلیس که برق بادی و فراساحلی مطرح می باشد، این نمودار چنین نظمی نداشته و به صورت توزیع شده در طول شبانه روز، تولید و مصرف متناوب وجود خواهد داشت.

در شکل ۴، IRENA یک مدل توزیع تولید و مصرف ایده آل و قابل اجرا در سناریوی ۲۰۵۰ را برای یک روز زمستانی ارائه نموده است که

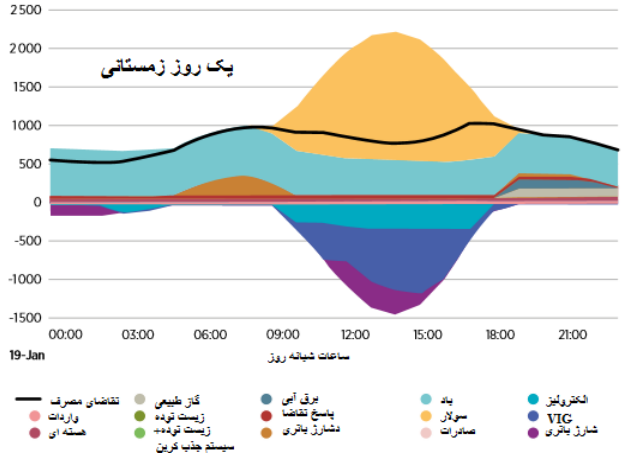
شکل۲: بخش‌های مهم و قابل توجه جهت اقدام؛ برقی‌سازی هوشمند



شکل۳: الگوی شارژ و دشارژ برای جامعه ۲۰۵۰

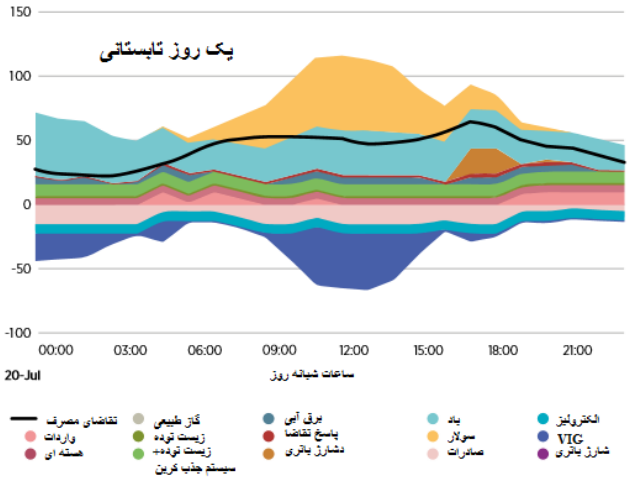
در آن از تمامی منابع ممکن با توجه به منحنی تقاضا و ساعات شبانه روز استفاده شده است و به وضوح جهت پیاده سازی آن و سویچ بین منابع در زمان و شرایط مقتضی، آن هم به گستردگی شهرها، ایالات، کشورها و یا قاره ها، نیاز به سیستم های هوشمند اکیداً احساس می شود.

مشابه همین نمودار برای یک روز تابستانی(شکل ۵)، در میزان



شکل۴: نمودار توزیع شده ی استفاده از منابع برای یک روز زمستانی ۲۰۵۰

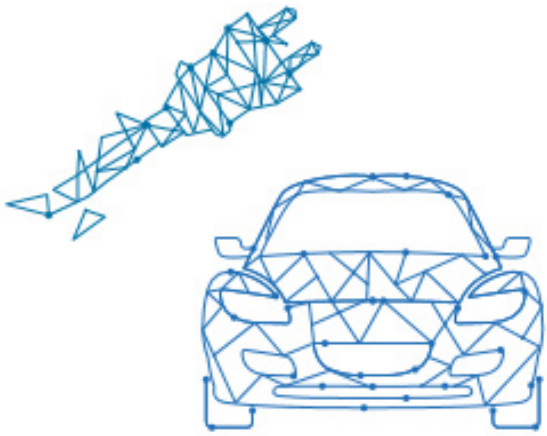
مشارکت زمان بندی شده و هوشمند منابع، اندکی متفاوت خواهد بود.



شکل۵: نمودار توزیع شده ی استفاده از منابع برای یک روز تابستانی ۲۰۵۰

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

کشور عزیز ما نیز از عبور اجتناب ناپذیر از مسیر گذار انرژی مستثنی نیست و به رغم اتکاء زیاد به منابع نفت و گاز، همسویی با اقدامات جهانی در مقابله با تغییر اقلیم و روی آوردن به انرژی های تجدیدپذیر در آن ضروری است. صد البته این اقدامات نیاز به بومی سازی و اختصاصی سازی جهت هر کشور، با توجه به شرایط محیطی تامین کننده ی منافع آن دارد و هیچ نسخه ی جهانشمول و کلی و کپی برداری از راهکارهای دیگر کشورها لزوماً مناسب نیست. اما ظاهراً همه ی راهکارها در الزام پیاده سازی یک نظام هوشمند منعطف با ابعاد فناورانه و فرهنگ و سبک زندگی، مشترک هستند که در آن، تغییرات گذار انرژی بر زندگی مردم و حاکمیت انرژی تاثیر می گذارد. انعطاف پذیری هوشمند در برقی سازی در این گزارش تحلیلی مورد بررسی واقع شد. باید در کشور ما ایران نیز حرکت به سوی این هوشمندسازی شکل گیرد و چنین نظام های منعطف و هوشمندی در برق، سوخت فسیلی، فراورده های نفتی و گاز طبیعی مهیا گردد.



منبع :

IRENA_World_Energy_Transitions_Outlook_2022

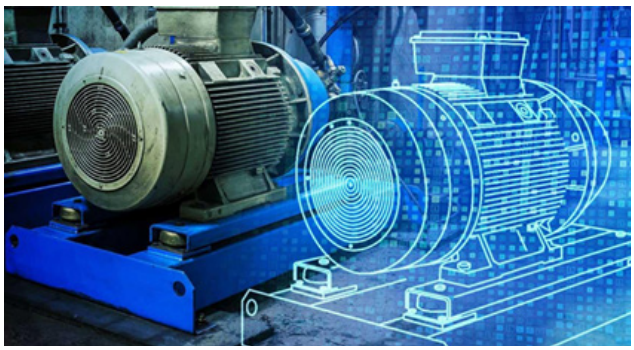
گزارش تحلیلی | نظم دوره گذار انرژی

دوقلوی دیجیتال[۱] و صنعت نفت و گاز

مهدی اشتری ماهینی، قاسم توتونچی
پژوهشگران حوزه ی نفت و انرژی

۱- مقدمه

دوقلوی دیجیتال نمایشی شبیه سازی شده و عددی از یک شیء فیزیکی، فرآیند یا سرویس است. یک دوقلوی دیجیتالی می‌تواند ماکتی دیجیتال از یک شیء همچون موتور جت یا مزارع توربین بادی یا حتی موارد بزرگتری همچون ساختمان‌ها در شهرها و یا تاسیسات نفتی و یا دکل دریایی در جهان فیزیکی باشد. دوقلوی دیجیتال یک روش قدرتمند برای استفاده از شبیه سازی جهت حمایت از کسب و کار و تغییر روش انجام عملیات صنعتی ارائه می دهد. تغییرات اخیر در فناوری اطلاعات، اجرای دوقلوهای دیجیتال را به گام بعدی در کاربرد فناوری های شبیه سازی تبدیل کرده است.



شکل ۱ : دوقلوی دیجیتال معادل شبیه‌سازی عددی دقیق شیئ یا فرایند فیزیکی

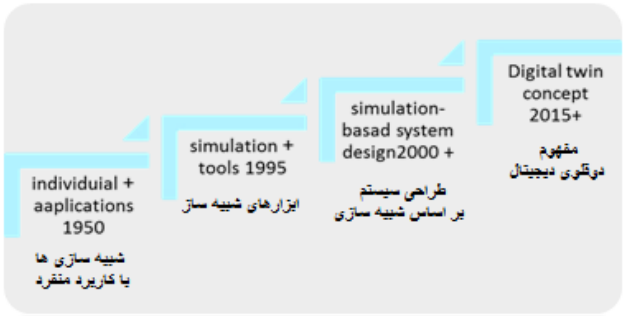
متخصصان شبیه سازی متوجه خواهند شد که مدل های آنها به طور فزاینده ای در سیستم های پیچیده جایابی می شوند و شبیه سازی ها با داده های عملیاتی برای حل یک مشکل تجاری ترکیب می شوند. با این حال، موفقیت کامل این رویکرد چالش برانگیز است.

ایده دوقلوی دیجیتال جدید نیست، مفهوم دوقلوی دیجیتال اولین بار در کتاب «جهان‌های آئینه‌ای» توسط دیوید گلرنتر در سال ۱۹۹۱ ارائه شد و مایکل گریوز از موسسه فناوری فلوریدا قصد پیاده‌سازی این مفهوم را در صنعت تولید داشت. در سال ۲۰۰۲ گریوز به دانشگاه میشیگان نقل مکان کرد؛ در همان زمان او رسماً مفهوم دوقلوی دیجیتال را در کنفرانس جامعه مهندسین تولید در ایالت میشیگان معرفی کرد. هرچند در عمل، این ناسا بود که به این مفهوم بها داد و در یک گزارش نقشه راه در سال ۲۰۱۰، جان ویسکر از ناسا نام "دوقلوی دیجیتال" را بر روی این مفهوم گذاشت. از این ایده به منظور ایجاد شبیه‌سازی‌های دیجیتال از کپسول‌های فضایی و ساخت آن‌ها استفاده شد.

مفهوم همزاد یا دوقلوی دیجیتالی از سال ۲۰۱۷، زمانی که گارتنر آن را به عنوان یکی از روندهای تکنولوژی راهبردی نامگذاری کرد، گسترش بیشتری یافت. از آن زمان این مفهوم در هر ترکیب از کاربردها و فرآیندهای صنعتی در حال رشد بوده است. گروه گارتنر دوقلوهای دیجیتال را به عنوان یکی از ده روند برتر فناوری

شکل ۲ : دوقلوی دیجیتال؛ فناوری نوظهور مبتنی بر فناوری اطلاعات و ارتباطات و هوش مصنوعی

استراتژیک برای سال های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ شناسایی کرد و این در حالی است که ایده دوقلوی دیجیتال جدید نیست و شبیه سازی مهندسی حداقل سی سال قدمت دارد. آنها همچنین خاطرنشان کردند که دوقلوی دیجیتال ممکن است به عنوان چهارمین نقطه عطف در کاربرد فناوری شبیه‌سازی دیده شود، همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: نقاط عطف کاربرد شبیه ساز

در بخش نفت و گاز، اکنون بیست سال از اولین اجرای شبیه ساز سیستم جریان آنلاین می گذرد و این شبیه ساز، دوقلوی دیجیتال از یک خط لوله چند فازی را از یک میدان نفتی در دریای شمال ارائه کرد. مهندسان شبیه سازی و اتوماسیون، باید از این تمرکز جدید و سطح بالا بر روی استفاده از سیمولاتور برای حمایت از تصمیمات عملیاتی استقبال کنند. با این حال، مسائل مهمی در رابطه با پایداری و قابلیت بهره برداری وجود دارد که اگر دوقلوهای دیجیتال بخواهند پتانسیل خود را در عملیات صنعتی تحقق بخشند، باید مورد توجه قرار دهند. این مطالعه برخی از این چالش ها را مرور می کند. برای موفقیت، باید تعادلی عملی بین جامعیت و قابلیت بهره برداری برقرار شود. همچنین باید استانداردهایی به گونه‌ای ایجاد شود که از دوباره کاری ها جلوگیری و امکان ساخت مدولار مدل‌های معنایی را فراهم کند. یک دوقلوی دیجیتال موفق همچنین به همبستگی داده های ساختاریافته با طراحی ها، اندازه گیری ها و شبیه سازی ها و نیز داده های بدون ساختار از گزارش ها و اسناد نیاز دارد. علاوه بر این،

۱ Digital Twin

مسائل زیادی در مورد مدل‌سازی ترکیبی وجود دارد که باید حل شوند، نظیر ارتباط بین علم داده و آمار کاربردی و مدل‌سازی تجربی و شبیه سازی‌های فیزیکی و مهندسی. نتیجه این که دوقلوهای دیجیتال مفید نیازمند ایجاد یک همکاری بین رشته ای دانشمندان کامپیوتر، محققان داده و همکاران مهندسی و عملیاتی آنها است.

شکل۴: معادل همزاد دیجیتال سکوی دریایی

۲- دوقلوی دیجیتال و نفت و گاز

همانطور که ذکر شد، اصطلاح دوقلوی دیجیتال منشأ خود را در صنعت هوافضای آمریکا داشت. در ادبیات وزارت دفاع، یک دوقلوی دیجیتالی به این صورت تعریف می شود: یک شبیه‌سازی یکپارچه چندعاملی، چند مقیاسی و احتمالاتی از یک سیستم ساخته‌شده، که از بهترین مدل‌های موجود، اطلاعات حسگر و داده‌های ورودی استفاده می‌کند. در ادبیات نفت و گاز، سه نوع داده باید در یک دوقلوی دیجیتال به طور همزمان تامین و هماهنگ شوند:

شکل۵: یک چارچوب مفهومی برای یک دوقلو دیجیتال، با مفاهیمی از صنایع نفت و گاز

نخست؛ اندازه گیری سیگنال های یک سیستم و محیط اطراف آن، دوم؛ شرح پیکربندی و ساخت سیستم و نهایتاً، شبیه سازی و تجزیه و تحلیل سیستم. این سه منبع داده ترکیب می شوند تا اطلاعاتی درباره وضعیت سیستم تولید گردد. برای یک پلتفرم نفتی یا کارخانه فرآیندی، پیکربندی تاسیسات در یک سیستم اطلاعات چرخه حیات (LCI) موجود است. این به دوقلوی دیجیتال اجازه می دهد تا از امکانات واقعیت مجازی برای داشتن یک مدل هندسی سه بعدی دقیق بهره برداری کند. اندازه گیری ها از سیستم کنترل و اتوماسیون مرکزی، سیستم های نظارتی و سیستم مدیریت اطلاعات تجربی به دست می آید. اکنون انواع شبیه سازی و تحلیل و آنالیز امکان پذیر است و باید از مسئولین پرسیده شود چه چیزی شبیه سازی شود؟

اگر به یکپارچگی ساختاری علاقه مندند، پس به یک شبیه سازی ساختاری نیاز است. اگر به رفتار فرآیندی علاقه مندند، پس به یک شبیه ساز فرآیند پویا نیاز دارند. اگر به وضعیت تجهیزات دوار علاقه مند هستند، در این صورت به یک ابزار تحلیلی مبتنی بر

شکل۶: ماژولار بودن و قابلیت ارتباط زیرسیستم ها از الزامات بدیهی دوقلوی دیجیتال است

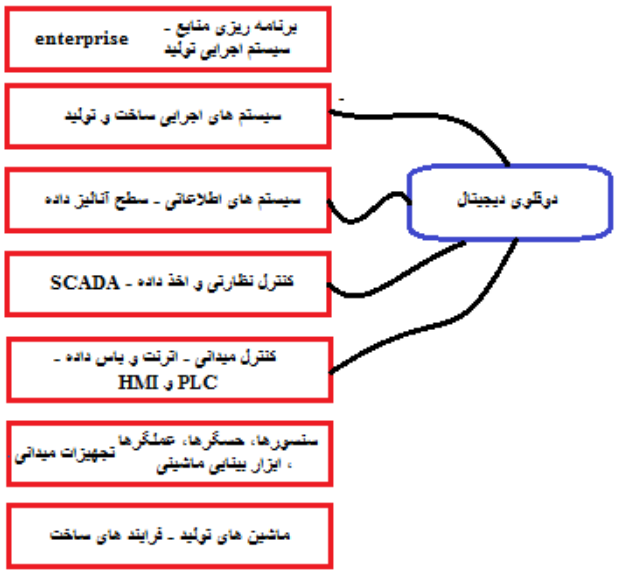
رویدادها و داده‌های ارتعاشی نیاز است.

ارجاعات صریح به دوقلوهای دیجیتال در صنعت نفت و گاز اندک است. در نفت و گاز دوقلوی دیجیتال را به عنوان مدل مجازی و شبیه سازی شده یا یک کپی واقعی از یک دارایی فیزیکی تعریف می کنند. از دید صاحبنظران نفتی، دوقلوی دیجیتال می تواند از تجزیه و تحلیل بلادرنگ برای ارزیابی ریسک پشتیبانی و نظارت یکپارچه و آنلاین دارایی بر اساس منابع داده متفاوت، داده‌های یکپارچه و فیلتر نشده را حاصل نماید. بدیهی است استفاده از داده‌های کنترلی و تله‌متری در شبیه‌سازی و بهینه‌سازی برای پشتیبانی از تصمیم‌های عملیاتی با تاکید بر مقیاس پذیر بودن مورد نیاز است. دوقلوهای دیجیتال در عملکرد ساختاری سکوهای شناور دریایی، سیالات حفاری در چاه و جریان در خط لوله گاز سابقه ی استفاده داشته اند.

دوقلوهای دیجیتال در نفت و گاز، روی دارایی و چرخه عمر آن تمرکز می کند، از مفهوم تا مهندسی، تدارکات و ساخت تا عملیات. داده های تولید شامل وضعیت تجهیزات، مواد و فرآیند کار است و از برچسب‌های RFID[۱]، حسگرها، محرک‌ها، کنترل‌کننده‌ها، سیستم‌های بینایی، سیستم‌های اسکنر و ماشین‌های اندازه‌گیری مختصات جمع‌آوری می‌شود. دو نوع دوقلو را می‌توان متصور بود، ۱) شبیه سازی که شکل و عملکرد محصول را شبیه‌سازی می‌کند، و ۲) دوقلوی فرآیندی که نحوه ساخت یک محصول را شبیه‌سازی می‌نماید. این دوقلوها در پلتفرم نفت و گاز همگرا می شوند. دوقلوی دیجیتال نفتی، انعکاس بلادرنگ یک سیستم فیزیکی نفت و گازی در فضای مجازی است که با داده های تاریخی تعامل داشته و به طور یکپارچه با داده های زمان واقعی تعامل دارد و مدل های خود را به طور مداوم به روز می کند. در مرحله طراحی مفهومی تاسیسات نفتی، یک دوقلوی دیجیتال می‌تواند مرور سریعی از داده‌های مختلف مرتبط با هدف و بازخورد مشتری ارائه دهد و ارتباط بین مشتریان و طراحان را امکان‌پذیر و در نتیجه به طراحان در تعیین شاخصه های عملکرد و طراحی کمک کند. در مرحله طراحی جزئی، دوقلوی دیجیتال آزمایش‌های شبیه‌سازی مکرر را امکان‌پذیر و اطمینان حاصل می‌کند که عملکرد مطلوب برای طراحی محصول و خط تولید به دست می‌آید. در مرحله تأیید، دوقلوی دیجیتال امکان تأیید مجازی جنبه‌های

۱ Radio frequency Identtification

مختلف محصول و فرایند را فراهم می‌کند و در نتیجه هزینه‌های تأیید و آزمایش فیزیکی گسترده را کاهش می‌دهد. از دید صاحبنظران



شکل۷: دوقلوهای دیجیتال در سلسله‌مراتب اتوماسیون

نفتی، دوقلوی دیجیتال در سلسله‌مراتب اتوماسیون بین سطح ۳ و ۴ قرار می‌گیرد، همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است.

دوقلوی دیجیتال داده‌های فیزیکی را از طریق سیستم اسکادا یا پایگاه داده فرآیند به دست می‌آورد، آنچه اکنون اینترنت صنعتی اشیا (IIoT) نامیده می‌شود. این داده ها با داده های طراحی مقایسه و برای شبیه سازی رفتار محصول و فرآیند استفاده می شوند. نتایج حاصل از این آنالیز، به سیستم تجزیه و تحلیل اطلاعات و داده های فرآیند تولید ارسال می شود تا به ارائه توصیه به اپراتورها و مدیریت تبدیل شود.

سازندگان قطعات و پلتفرم های نفت و گاز مانند شیرهای کنترلی، پمپ ها، کمپرسورها و ... همزاد دیجیتال این قطعات را نیز ارائه خواهند کرد و از داده های عملیاتی برای بهبود طراحی و بهینه سازی و نگهداشت و پشتیبانی بهتر سود خواهند جست. این نیاز به شبیه سازی پردازش نفت و گاز، رفتار فرایندی، الکتریکی، مکانیکی و ساختاری تاسیسات دارد.

شکل۸: همزاد دیجیتال دارایی فیزیکی، در مرحله طراحی تا ساخت و تایید، هزینه های صنعت نفت را کاهش می‌دهد.

۳-چالش دوقلوی دیجیتال

دوقلوی دیجیتال تاسیسات نفت و گاز یک سیستم پیچیده است و نیاز به ادغام مجموعه ای از زیرسیستم ها دارد. حداقل هشت چالش وجود دارد که به عنوان پیش نیاز برای تحقق پتانسیل های دوقلوی دیجیتال در صنعت نفت و گاز، باید به آن ها توجه نمود:

- **مدل های کسب و کار، امنیت و محرمانه بودن**

اولین چالش امنیت و محرمانگی است. این محرمانه بودن هم در مقطع در اختیار قرار دادن داده های عملیاتی جامع از تاسیسات و دارایی فیزیکی نفتی خود را نشان می دهد و هم به دارنده ی ابزار دوقلوی دیجیتال این اجازه را می دهد که مودهای بحرانی قطعه، سیستم یا تاسیسات را شناسایی نموده و بیازماید و اطلاعاتی را به صورت شبیه سازی شده داشته باشد که مالک واقعی دارایی و تاسیسات نفتی، از این مود عملیاتی بحرانی بی خبر است!

- **شیوه های کاری**

دوقلوی دیجیتال نباید کسب و کارهای فعلی و روش های عرف جاری را مخدوش کند. بلکه به عنوان یک مکمل و متمم، ارزش افزوده ایجاد کند.

- **دامنه**

دوقلوی دیجیتال همه کاره، احتمالاً هیچ کاری را خوب انجام نمی دهد. لذا دلسوزان برای توسعه و پیشرفت این مفهوم، بهتر است از جزء به کل رفته و مقیاس پذیری و قابلیت یکپارچه سازی و همزمان سازی را در نظر بگیرند. اثرات متقابل بارگذاری ماژولار از آسیب پذیری های جدی است. مقیاس زمانی نیز در اتصال ماژولار زیرسیستم ها موثر است، مثلاً در کمپرسور مقیاس زمانی از مرتبه میلی ثانیه و در فلوی خط لوله یا حجم یک مخزن مقیاس از مرتبه روز یا هفته است.

- **قابلیت استفاده**

دوقلوی دیجیتال یک مفهوم تخصصی است و برای بسط و توسعه کاربردی، نیاز دارد همه گیر و همه فهم شود و دوستدار کاربر باشد. سطح دانشی همه ی اپراتورها و مدیران باید در این زمینه بالا بیاید و مفاهیم دوقلوی دیجیتال و ابزارهای کاربری، ساده و همه فهم شود.

- **یکپارچه سازی**

واقعیت آن است که برای توسعه و کاربردی تر شدن دوقلوی دیجیتال، بهتر است این مفهوم با ابزارهای رایج و عرف مورد استفاده ی مشاوران، تحلیلگران، تولید کنندگان و ارزیابان یکپارچه شود.

- **تعمیر و نگهداری**

دوقلوی دیجیتال هم خود و هم زیرسیستم های اندازه گیری، نگهداشت داده، سرورهای تحلیل و ... همه و همه ابزارهای دقیقی هستند که برای عملکرد صحیح به نگهداشت، پشتیبانی و کالیبراسیون و تدقیق نیاز دارند و این هزینه ی بیشتری را نسبت به قبل به مالک دارایی تحمیل می نماید.

- **اضافه بار محاسباتی، لبه و ابر**

مالک دارایی فیزیکی نفت و گاز، قبل از مفهوم دوقلوی دیجیتال احتمالاً هیچ نیازی به سیستم های پردازشی پیچیده برای انجام بار محاسباتی و پردازش های بر لبه یا با استفاده از معماری ابری نداشته است و ظهور و بروز این مفهوم، این پیش نیازها و هزینه های مرتبط را به ایشان تحمیل می کند.

- **عدم قطعیت**

تصمیم سازان و تصمیم گیران برای اعتماد کامل به نتایج حاصل از دوقلوی دیجیتال، نیاز به اعتبارسنجی مکرر و رفع تدریجی عدم قطعیت ها می باشند. این موضوع گریبانگیر دانشمندان علم داده می باشد.

٤-برنامــه تحقیقاتی برای دوقلوهای دیجیتال

چگونه می توان دوقلوهای دیجیتال را با وجود این چالش ها پایدار، قابل بهره برداری و مفید ساخت؟ محققین معتقدند که راه حل، همکاری بین دانشمندان کامپیوتر، مهندسین کنترل و شبیه سازی، محققین علوم داده متخصصان فنی و کاربر نهایی خواهد بود که در برنامه های تحقیقاتی خود موضوعاتی شامل زیرشاخه های بازنمایی دانش، فناوری های زبان طبیعی، روش های عددی، محاسبات مقیاس پذیر و علم داده را ترکیب کنند. این تحقیقات باید با دانش عمیق حوزه‌ای که در مدل‌های شبیه‌سازی دوقلوهای دیجیتال تعبیه شده است و متعلق به مهندسان تأسیسات، شیمی، نفت، مکانیک، برق و کنترل و مدیران است، به ادبیات مشترک برسد.

یک دوقلوی دیجیتال موفق، به همبستگی داده های ساختاریافته از طراحی، اندازه گیری ها و شبیه سازی ها در کنار داده های بدون ساختار از گزارش ها و اسناد نیاز دارد. این امر مستلزم آن است که داده های بدون ساختار به داده های ساختاریافته تبدیل شوند. در حال حاضر ابزارهای تجاری و دانشگاهی زیادی برای تجزیه و پردازش متن وجود دارد و می تواند برای تجزیه و پردازش متون استفاده شود. با این حال، الگوریتم‌های پردازش زبان طبیعی که بر روی مجموعه داده‌های عمومی آموزش داده می‌شوند، هنگام مواجهه با اصطلاحات نفت و گاز، عملکرد خوبی ندارند.

ارتقاء و بهبود ابزارهای پردازشی و محاسباتی اجتناب ناپذیر است و در مسیر تکامل فناوری است. در نهایت، چالش عدم قطعیت، اعتبارسنجی و علم داده وجود دارد. دوقلوی دیجیتال بر روی مدل ساخته شده است. به نقل از جورج باکس، همه این مدل ها اشتباه هستند، اما برخی مفید هستند. یک دوقلوی دیجیتال دارای مدل های زیادی خواهد بود. برخی بر اساس اصول فیزیکی خواهند بود: شبیه سازی های ساختاری، هندسی و فرآیندی. سایر موارد صرفاً تجربی و مبتنی بر یادگیری ماشین خواهند بود. این مدل‌ها باید در برابر رفتار مشاهده‌شده اعتبارسنجی شده و به گونه‌ای تراز شوند که رفتار معتبر و قابل اطمینان را منعکس کنند. تراز کردن مدل ها با داده های مشاهده شده دشوار است. یافتن اینکه آیا اختلاف به دلیل خطا در داده ها، پارامتر اشتباه، ساختار ضعیف مدل یا نقص واقعی در تاسیسات است، نیاز به درک خوبی از تاسیسات دارد.

یک دوقلوی دیجیتال حاوی ابزارهای ساختاری است که امکان اعتبارسنجی و تنظیم تمام مدل‌های سیستم را فراهم می‌کند. محققین معتقدند که تجزیه و تحلیل ترکیبی متشکل از علم داده با شبیه‌سازی‌های فیزیکی و مهندسی ـ یک حوزه تحقیقاتی ارزشمند و پربار است. یادگیری ماشینی می تواند از محدود شدن توسط قوانین فیزیک رهایی جوید، در حالی که قوانین فیزیک حاوی پارامترهایی هستند که اندازه گیری آنها نامشخص یا پرهزینه است. اینجاست که هوش مصنوعی کمک شایانی به دوقلوی دیجیتال خواهد کرد.

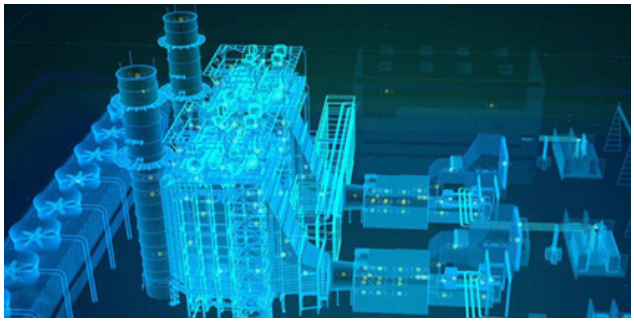
دو مشکل عمده مربوط به علم داده برای دوقلوهای دیجیتال مطرح است. اولین مورد مربوط به دسترسی به داده است. پروژه های علم داده در صنعت در حال حاضر مقیاس پذیر نیستند. هر پیاده سازی جدید باید از ابتدا شروع شود، داده ها را پیدا کند، بررسی کند و در دسترس قرار دهد.

حوزه دوم تحقیق مربوط به استفاده از داده های حسگر در علم داده است. هنگامی که یک دانشمند داده، در مورد جریان داده صحبت می کند، معمولاً منظور او دنباله ای از سوابق رویدادهای مجزا است ـ مانند توییت ها یا اعداد و ارقام معاملات فروش. جریان داده از حسگرهای آنالوگ به طور ویژه متفاوت است. سیگنال اصلی از یک سنسور، پیوسته و مخلوط با نویز است. فرآیند دیجیتالی شدن خود باعث عدم قطعیت و خطا در محاسبه می‌شود. فیلتر کردن و فشرده سازی داده ها، منابع بیشتری برای خطا فراهم می کند. چارچوب‌های رایج علم داده انتظار داده‌ها را در بردارها در زمان‌های مشخص دارند. تولید این، از یک پایگاه داده سری زمانی نیاز به درونیابی دارد. تمام این جزئیات باعث افزایش مشکلات کار علم داده می شود.

شرکت‌های بخش نفت و گاز اکنون با استفاده از پلتفرم‌های تجاری موجود و برنامه‌های کاربردی، دوقلوهای دیجیتالی را نصب می‌کنند. این فرصتی را برای دانشگاهیان فراهم می کند تا با مشکلات مشاهده شده در عملیات و نگهداشت درگیر شوند. این بدان معناست که صنعت به یک برنامه تحقیقاتی نیاز دارد که از طریق پایلوت با عملیات و دوقلوهای دیجیتال امروزی مرتبط باشد.

۵-نتیجه گیری

این مطالعه تلاش کرده است معرفی اجمالی از دوقلوی دیجیتال به عنوان یک ابزار دیجیتال نوظهور در صنعت داشته باشد. این ابزار، یک شبیه ساز پیشرفته را برای محصولات و فرایندها به دست می دهد که در لایه و سطح مناسبی از هرم اتوماسیون صنعتی مستقر شده و با دریافت اولیه و ثانویه و مداوم داده از میدان صنعتی، روند خود تکاملی را برای مدل های خود اتخاذ می کند. برای شبیه سازی دارایی فیزیکی و تاسیسات، ارتباط وثیق لایه ی سنسوری و تحلیل و آنالیز داده مطرح می گردد. چالش های متعددی در مسیر توسعه فناوری نوظهور دوقلوی دیجیتال وجود دارد که با برنامه های تحقیقاتی پیش رو تا حد زیادی قابل رفع است. روند فناوری نشان می دهد فناوری های دیگری مانند هوش مصنوعی و یادگیری ماشین و نیز اینترنت اشیا صنعتی و محاسبات ابری و لبه، به کمک توسعه فناوری نوظهور دیگری مانند دوقلوی دیجیتال آمده است.



گزارش تحلیلی | نظم کنونی انرژی

راهبرد شرکت آرامکو در تحقق اهداف کاهش انتشار ۲۰۵۰

اعظم محمدباقري، شيرين رضايي؛ پژوهشگران موسسه مطالعات بين المللي انرژي

مقدمه

شرکت آرامکو عربستان که از بزرگترین تولیدکنندگان نفت محسوب مي شود، نقش مهمي در حرکت آينده جهان به سمت انتشار صفر خالص دارد. اين شرکت در گزارش هاي مختلف خود تأکيد مي کند که نفت و گاز براي مدت ها در ترکيب انرژي مورد نياز جهان باقي خواهند ماند، چرا که گذار انرژي جهان بسيار پيچيده و زمان بر است. آرامکو در استراتژي رشد خود اعلام کرده است که ظرفيت توليد خود را از ۱۰/۵ ميليون بشکه در روز در ماه مي به ۱۳ ميليون و ۴۰۰ هزار بشکه در روز تا سال ۲۰۲۷ افزايش خواهد داد و تا پايان اين دهه توليد گاز را نيز ۵۰ درصد افزايش خواهد داد. لذا نفت همچنان تجارت اصلي آرامکو در سال هاي پيش رو خواهد بود. اين شرکت همزمان با استراتژي رشد توليد و افزايش درآمد ناشي از صادرات، به موضوع کاهش انتشار گازهاي گلخانه اي نيز به عنوان يکي از عوامل پايداري توجه ويژه کرده و تأثير مسائل اجتماعي و موضوعات زيست محيطي بويژه تغيير اقليم را بر تجارت خود بسيار مؤثر مي داند. آرامکو در گزارش پایداری خود، اعلام کرد که قصد دارد از اعتبارات حاصل از سرمایه گذاری در انرژی های تجدیدپذیر برای تولید برق استفاده فراوانی داشته باشد. بر این اساس در نظر دارد که تا سال ۲۰۳۰، ۱۲ گیگاوات انرژی تجدیدپذیر تولید کند. این هدف در راستای برنامه ملی انرژی تجدیدپذیر عربستان برای افزایش ظرفیت تولید بیش از ۵۸ گیگاوات انرژی خورشیدی و بادی تا پایان دهه است.

.در این گزارش اهداف و اقدامات این شرکت در مسیر انتشار صفر خالص با توجه به گزارش پايداري منتشر شده سال ۲۰۲۲ آن، بررسي مي شود.

رویکرد پایداری شرکت آرامکو

آرامکو به عنوان يکي از بزرگترين شرکت هاي يکپارچه انرژي، استفاده از شيوه هاي پايداري را در بلند مدت ضروري دانسته و چشم انداز رابطه بين خود و ذينفعان را در چشم انداز پايداري خود با لحاظ اثرات مسائل اجتماعي و زيست محيطي بر تجارت در نظر مي گيرد. از آنجا که آرامکو هدف خود را تعادل سودآوری، حفاظت از محيط زيست و رشد و رونق جامعه اي که در آن فعاليت می کند، قرار داده است، لذا عوامل پايداری برای آن به طور فزاينده ای بسيار مهم شده و در تلاش است تا با لحاظ نمودن تغيير اقليم در برنامه پايداري خود، نقش مؤثري در گذار انرژي جهان ايفا کند و با ارائه راه حل هاي مؤثر و مطمئن به کاهش انتشار گازهاي گلخانه اي مبادرت ورزد. اين شرکت در گزارش توسعه پايدار و به منظور شناسايي معيارها و شاخص هاي عملکرد مناسب، بيش از ۱۵۰ موضوع زيست‌محيطی، اجتماعی و حاکميتی را مورد بررسي و ارزيابی قرار داده است تا اهميت نسبي آنها را براي سهامداران کليدي خود مشخص کند. حوزه هاي کلی اين گزارش شامل ۱ـ تغيير اقليم و گذار انرژي ۲ـ ايمني عمليات و توسعه منابع انسانی ۳ـ به حداقل رساندن اثرات زيست‌محيطی و ۴ـ ارتقاي ارزش‌های اجتماعی مي باشد.

آرامکو و هدف انتشـار کربن صفر خالص

گزارش پايداري شرکت آرامکو پس از اعلام اهداف جاه طلبانه اين شرکت برای به صفر رساندن انتشار گازهای گلخانه ای در دامنه ۱ و ۲ تأسيسات تجاری تحت مالکيت کامل و عملياتی خود تا سال ۲۰۵۰ منتشر شده است و اطلاعات زيادي را در مورد تلاش‌های آرامکو برای حمايت از تحول در حوزه انرژی در مقياس بزرگ‌تر و اهدافي را که به دنبال دستيابی به آن تا سال ۲۰۳۵ است ارائه می‌کند. چندين دهه مديريت ذخاير و سرمايه گذاری های فناورانه معنادار، زيربنای عمليات توليد کم هزينه و کارآمد آرامکو است که به اين شرکت کمک کرده تا ارزش منابع عربستان را به حداکثر برساند. در نتيجه اين شرکت هدف جاه طلبانه خود را برای رسيدن به انتشار صفر خالص انتشار تا سال ۲۰۵۰ و حذف فلر تا سال ۲۰۳۰ قرار داده است. اين بخش مهمی از تمرکز شرکت بر خلق ارزش و تکميل هدف پادشاهی عربستان برای تحقق انتشار خالص صفر تا سال ۲۰۶۰ است که به عنوان بخشی از ابتکار سبز عربستان اعلام شده است.

استراتژي آرامکو در راستاي هدفي است که وليعهد عربستان براي خود در بيست و ششمين کنفرانس تغييرات آب و هوايی سازمان ملل در نظر گرفته است و گفته است که کشورش به عنوان بزرگ‌ترين صادر کننده نفت دنيا قصد دارد «تا سال ۲۰۶۰ به انتشار خالص کربن صفر برسد». بر اين اساس چشم انداز آرامکو دستيابی به نقطه عملياتی صفر خالص در انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۵۰ است و گزارش توسعه پايدار خود را گواهی بر عزم خود بر برآورده کردن تقاضای فزاينده جهان برای تأمين انرژی ايمن، قابل اطمينان و مقرون‌به‌صرفه مي داند. لذا در پروژه‌های عملياتی خود در دهه‌های آينده، به دنبال سرمايه‌گذاری بلندمدت و حرکت به سمت استفاده از منابع انرژی تجديدپذير با استفاده از بهترين فناوری‌های روز دنيا خواهد بود.

مفهوم اقتصاد چرخشي كربن كه بر كاهش، استفاده مجدد، بازيافت و حذف گازهای گلخانه‌ای تمركز دارد، مهم ترين رويكردي است كه شركت آرامكو در تحقق اهداف انتشار صفر خالص خود از آن بهره خواهد جست، بطوري كه مرزهاي بهره وري و كاهش كربن را از طريق پيشرفت در فناوري هاي پاك در پيش مي گيرد و با استفاده مجدد و بازيافت كربن به خلق ارزش اقتصادي براي ذينفعان دست خواهد يافت. در اين مسير اولويت در پيشرفت و بكارگيري فناوري هايي است كه بتواند مقادير انتشار را جذب كند. همچنين بر بهره گيري از ابتكارات و راه حل هاي مبتني بر طبيعت تأكيد كرده و در حال انجام اقداماتي در زمينه رسوب كربن است. كاهش بيش از ۵۰ ميليون تن معادل دی اكسيد كربن سالانه تا سال ۲۰۳۵، هم در بخش بالادستی و هم در بخش پايين دستی از مهمترين اهداف آرامكو است كه از مسير های ذيل تحقق خواهد يافت:

- سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر با هدف کاهش ۱۴ میلیون‌تنی انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال
- سرمایه‌گذاری در جذب، استفاده و ذخیره سازي كربن با هدف کاهش ۱۱ میلیون‌تنی انتشار در سال
- بهبود بهره‌وری انرژی با هدف کاهش ۱۱ میلیون‌تنی انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال
- محدود کردن متان و مشعل سوزی با هدف کاهش ۱ میلیون‌تنی انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال
- جبران كربن (Offset) به منظور کاهش ۱۶ میلیون‌تنی انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال

در سال ۲۰۲۱، آرامكو توسعه ميدان گاز غيرمتعارف جفوره را آغاز كرد كه نشان دهنده عزم شركت در تلاش برای توسعه يكپارچه گاز و حمايت از هدف عربستان برای توليد نيمی از برق خود از گاز و نيمی ديگر از انرژی های تجديدپذير است. گاز توليد شده از جفوره انرژی پاک تری را به بخش انرژی داخلی عرضه خواهد كرد و خوراک هيدروژن آبی و توليد آمونياک را فراهم خواهد نمود. آرامكو همچنين در پروژه PV خورشيدی سودير كه اولين پروژه تحت برنامه انرژی تجديدپذير PIF[1] و قادر به توليد ۱/۵ گيگاوات انرژی تجديدپذير پس از بهره برداری كامل است، سرمايه گذاری كرد. سرمايه گذاری سودير، اولين مشاركت آرامكو در برنامه انرژي پاك عربستان است. آرامكو يكی از اعضای OGCI[2] است و با همتايان و شركت های در طول اين زنجيره ارزش به ارائه راه حل های ملموس تغيير آب و هوا می پردازد. در سپتامبر ۲۰۲۱ آرامكو و ساير اعضای OGCI با تسريع اقدامات جمعی و سرمايه گذاری در فناوری های جديد برای كمک به كربن زدايی جامعه و تحقق سريع تر اقتصاد چرخشی كربن توافق كردند.

برنامه مديريت انتشار گازهاي گلخانه اي آرامكو، انتشارات دامنه ۱ و ۲ را مطابق با دستورالعمل های پروتكل گازهاي گلخانه ای پايش می كند. يک معيار مهم برای آرامكو شدت كربن از عمليات بالادستی است و از طريق انجام عمليات كارآمد، مديريت با بهترين كلاس ذخاير شركت، مهندسی خوب و استقرار مناسب فناوری ها اتفاق می افتد. آرامكو متعهد به كاهش گاز مشعل در سراسر فرايند تجارت خود با سرمايه گذاری در سيستم های بازيافت فلر شده است و برنامه هايی برای بهبود يكپارچه دارايی ها، كارايی انرژی، نشتی يابی و تعميرات آنها دارد. به عنوان يكی از امضا كنندگان برنامه ابتكار صفر فلر تا سال ۲۰۳۰[3] بانک جهانی، آرامكو بهترين عملكرد را داشته و دانش خود را با همتايان خود به اشتراک می گذارد كه اين كار اثر مثبت گسترده اي تا كنون داشته است. همچنين به منظور حفظ شدت كربن پايين در بخش بالادست، آرامكو در حال توسعه يک هاب جمع آوری و ذخيره سازی كربن به منظور جداسازی دايمی دی اكسيد كربن و ذخيره سازی آن در زير زمين می باشد.

نكات محوری

آرامكو قصد دارد تا توليد سوخت فسيلي را در دهه آينده افزايش دهد و همزمان نيز افزايش انتشار گازهاي گلخانه اي خود را از طريق اقداماتي مانند جذب و ذخيره سازي كربن كنترل كند. اينكه اين شركت موضوع تغيير اقليم و حركت در مسير انتشار خالص صفر را در برنامه های خود گنجانده است، بسيار اهميت دارد. چرا كه در صورت عدم تمايل به كاهش انتشار تا ۱۳ سال آينده، چنين چشم اندازی از توليد نفت آن می تواند تلاش ها در جهت مبارزه با تغيير اقليم را با چالش مواجه كند. چشم انداز افزايش توليد نفت آرامكو با توجه به افزايش اخير قيمت نفت دور از انتظار نيست و در كوتاه مدت می تواند افزايش انتشار گازهای گلخانه ای را به دنبال داشته باشد و لذا تعهدات عربستان در رسيدن به انتشار خالص صفر تا سال ۲۰۶۰ را تضعيف كند. علاوه بر اين گزارش بلومبرگ با اشاره به گزارش پايداری آرامكو، بيان می كند كه معيار حمايت هر شركت از توافقنامه پاريس، كاهش قابل توجه انتشار گازهاي گلخانه اي آن تا سال ۲۰۳۵ است. در حالی كه برخی تضادها در اين گزارش به چشم ميخورد، بويژه آنجا كه بيان می كند انتشار مطلق گازهاي گلخانه اي در سال ۲۰۳۵ تقريبا مشابه با سطح سال ۲۰۲۱ خواهد بود. به اين معني كه انتشار گازهاي گلخانه اي به ازاي هر واحد سوخت فسيلي استخراج شده ممكن است كاهش يابد اما براي برآورده نمودن اهداف آب و هوايي پاريس كافي نيست و ساير شركت هاي نفتي به دنبال برنامه ريزي براي كاهش انتشار بسيار سريع تر هستند. چنين ديدگاهی دور از انتظار نيست زيرا خطی مشی اصلی آرامكو مانند هر شركت ديگری رشد توليد و افزايش درآمد است و از اينرو تأكيد می كند كه با توجه به سناريوهای موجود، تقاضا برای انرژی افزايش می يابد و با ارائه انرژي ايمن، قابل اطمينان و مقرون به صرفه بويژه به عنوان يك توليدكننده با قيمت ارزان و شدت كربن پايين در عمليات بالادستي در صنعت، نقش مهمي در تأمين اين تقاضاي فزاينده خواهد داشت.

همچنين هدف كاهش انتشار آرامكو تنها دامنه ۱ و ۲ را شامل می شود، در حالی كه انتشار دامنه ۳ بسيار مهم است و اكثر شركت هاي نفتي بين المللي اين داده ها را انتشار مي دهند، زيرا اغلب بيش از ۸۰ درصد كل انتشار آنها را تشكيل مي دهد. بر اساس برآورد بلومبرگ انتشار محدوده ۳ آرامكو احتمالا از ۱/۶ ميليارد تن نيز فراتر خواهد بود. كه اگر درست باشد بيش از ۳ درصد انتشار

۱ The Public Investment Fund's
۲ Oil and Gas Climate Initiative
۳ initiative 2030 Zero Routine Flaring by

گازهاي گلخانه اي جهاني است. در اين زمينه آرامكو اعتقاد دارد كه هر چند نقش مهمی در همكاري با تأمين كنندگان و مشتريان خود براي كاهش انتشار در كل زنجيره ارزش محصولات خود دارد، اما تمركزش بر اندازه گيري، گزارش دهي و مديريت انتشارات تحت كنترل خود است.

جمع بندی و نتیجه گیری

همزمان با اوج گرفتن مؤلفه های گذار انرژی در جهان و مباحث تغییر اقلیم، سیاست انرژی در بسیاری از کشورها و در زمره آنها شرکت های نفت و گاز تغییر بسیاری کرده است. پیش از این برخورداری از سوخت های فسیلی علاوه بر یک موهبت، بیانگر قدرت ژئوپلتیک کشورهای دارنده آنها بود. لیکن در دنیای انرژی های پاک قواعد بازی و بازیگران آن تغییر کرده اند. در این میان کشورها و شرکت هایی که در بازی سوخت های فسیلی بودند، برای ماندن باید سیستم انرژی خود و مدل های کسب و کار خود را تغییر دهند. در این پارادایم جدید، انرژی های تجدیدپذیر نقش مهمی در کاهش وابستگی به سوخت های فسیلی و مبارزه با تغییر اقلیم دارند. از اینرو عربستان سعی کرده است که به عنوان یک بازیگر اصلی در خاورمیانه برای مشارکت بین المللی در این سیستم جدید ظاهر شود و شرکت آرامکو به عنوان یکی از بزرگترین تولیدکنندگان نفت در خاورمیانه، از این قاعده تبعیت کرده و با سرمایه گذاری در انرژی های تجدیدپذیر در حال تغییر مدل کسب و کار خود است و بطور فزاینده ای در حال سرمایه گذاری در این حوزه، به منظور تضمین امنیت انرژی و تأمین آن در دهه های آتی است. با این رویکرد، استفاده از انرژی های تجدیدپذیر برای مصارف داخلی و بویژه تولید برق و در نتیجه آزاد شدن نفت و گاز برای صادرات بیشتر، آن هم در این زمان که تقاضای نفت و قیمت آن در محدوده بالایی قرار دارند، استراتژی هوشمندانه ای است که می تواند پایه های قدرت این شرکت را با هدف توسعه پایدار پیوند بزند.

تردیدی نیست که تحول در سیستم انرژی جهان به شدت بر کشور ما که با مشکلات بسیاری بویژه در صحنه بین المللی به لحاظ تحریم های ظالمانه رو به رو است، اثرات جدی خواهد گذاشت زیرا که ورود جدی به عرصه انرژی های تجدیدپذیر نیاز به سرمایه گذاری قابل توجهی دارد. در این شرایط که افزایش قیمت نفت و افزایش تقاضای آن می توانست درآمد صادراتی هنگفتی را برای کشور و شرکت ملی نفت به دنبال داشته باشد، تحریم ها نه تنها فرصت های بسیاری را از ما سلب کرده است، بلکه این وضعیت موجب شده است که بسیاری از پروژه های حیاتی و با اولویت بسیار بالای شرکت ملی نفت به دلیل تحریم و عدم وجود سرمایه کافی متوقف بماند. لذا اگر چه کشور ما از موهبت منابع انرژی تجدیدپذیر نیز برخوردار است، اما به دلیل هزینه بالای توسعه این منابع، سرمایه گذاری در این زمینه در حدی که باید باشد نبوده است.

منابع:

1.Energy Security for a sustainable world, Saudi Aramco Annual Report 2021

2.Aramco sustainability report details next steps towards operational net-zero ambition, DHAHRAN, June 15, 2022

3.www.bloomberg.com."Aramco's Net-Zero Plan Will Have Net-Zero Impact Before 2035", June 21,2022

4.Ahmad A. Al-Sa'adi , Aramco's circular approach to climate change, April 08, 2021

تحلیل و بررسی راهبرد صنعت هیدروژن امارات متحده عربی

قاسم توتونچی – پژوهشگر موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی

۱- مقدمه ای بر هیدروژن

هیدروژن یک حامل انرژی پاک محسوب می‌گردد که تبدیل به شاخصه‌ای از رشد اقتصادی شده است و درعین‌حال، ملاحظات محیط زیستی سیاره را تا حد زیادی پوشش می‌دهد. اقلیم سیاره‌ی زمین، به‌سرعت در حال تغییر است و علائم هشداردهنده‌ی آن به انتشارهای مرتبط با انسان دلالت دارد. در تلاش برای کند کردن یا توقف این تغییر اقلیم، کشورهای جهان در تلاش هستند با اقبال به انرژی‌های پاک و تجدید پذیر، انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهند. انرژی تجدید پذیری که در بسیاری موارد در مقایسه با رقیب هیدروکربوری آلاینده‌ی خود، می‌تواند مقرون‌به‌صرفه نیز باشد؛ هرچند همواره محدودیت‌های جدی وجود دارد. درگذشته از هیدروژن صرفاً برای تولید آمونیاک و متانول در سنتز شیمیایی و نیز کاهش میزان گوگرد در پالایشگاه‌های نفت استفاده می‌شد. اما با پدید آمدن امکان تولید هیدروژن کم‌کربن، گزینه‌های دیگری برای کاربرد آن مطرح گردید. هیدروژن خیلی زود جایگاه ویژه‌ای برای دستیابی به انرژی پاک یافت و انرژی تجدید پذیر در قالب تولید هیدروژن و ذخیره‌سازی و انتقال آن شکل گرفت، به‌گونه‌ای که کشورهای دارای منابع تولید تجدید پذیر، انرژی ذخیره‌شده‌ی پاک را در قالب تبادل هیدروژن به کشورهای متقاضی منتقل می‌نمایند. هیدروژن آبی از گاز طبیعی مجهز به جذب کربن و هیدروژن سبز ناشی از الکترولیز آب با استفاده از برق تجدید پذیر، منابع پاک و لایزالی برای تأمین انرژی صنایع سنگین مانند سیمان و فولاد فراهم می‌کنند که درعین‌حال، پاک بوده و حداقل رد پای کربن را به‌جای می‌گذارد. این صنایع به‌طور مستقیم و بدون واسطه‌ی هیدروژن، قابلیت استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر بادی یا خورشیدی با ماهیت ذاتی وابستگی به زمان و فصل و شرایط محیطی را نداشتند. هیدروژن در مقایسه با باتری، که انرژی الکتریکی را در خود ذخیره می‌کند، از بعد مقایسه‌ی مقیاس ذخیره‌سازی و سهولت انتقال و جابجایی زبانزد است. پیل‌های سوختی مبتنی بر هیدروژن اکنون رقیب جدی برای موتورهای فسیلی و حتی الکتریکی محسوب شده و برای جابجایی‌های کوتاه‌مدت اما بسیار سنگین، مانند کاربردهایی مانند لیفتراک، گزینه‌ی ایده آل به نظر می‌رسد. درعین‌حال توسعه فناوری خودروهای سبک مبتنی بر هیدروژن دور از انتظار نیست و مراحل رشد خود را طی می‌کند. کربن‌زدایی از حمل‌ونقل‌های دریایی و هوایی با استفاده از آمونیاک، سلول‌های سوختی هیدروژنی و تولید گازهای سنتزی از هیدروژن سبز نیز از کاربردهای پاک هیدروژن محسوب می‌شود.

هیدروژن انرژی ویژه یا ژول برحسب کیلوگرم بسیار بالایی دارد؛ اما میزان ژول برحسب حجم آن زیاد نیست. این ویژگی در کاربردهای ثابت نگران‌کننده نیست؛ اما هنگامی‌که صحبت از جابجایی هیدروژن به میان می‌آید و یا هیدروژن قرار است در یک ماژول متحرک نیازمند انرژی مورداستفاده واقع شود، چگالی اندک آن به‌عنوان چالش مطرح می‌شود. راهکارهایی برای فشرده‌سازی و یا مایع سازی هیدروژن مطرح‌شده است که چندان معقول نیست و به انرژی نسبتا زیادی نیاز دارد، اما روش‌هایی مانند استفاده از هیبریدها و هیدروژناسیون مواد آلی به‌عنوان یک حامل مایع و آمونیاک، حمل هیدروژن را در قیاس با سوخت‌های عمومی مانند نفتگاز و بنزین قابل‌مقایسه می‌نماید. پایداری تولید هیدروژن سبز به‌عنوان یک منبع قابل‌برنامه‌ریزی نیز از چالش‌های حوزه هیدروژن می‌باشد.

۲-راهبرد امارات در صنعت هیدروژن

دراین‌بین امارات متحده‌ی عربی، یکی از نزدیک‌ترین و شبیه‌ترین رقبای ایران در صنعت نفت و انرژی، سناریوهای مختلفی را در صنعت هیدروژن خودارزیابی و پیاده‌سازی نموده است. امارات متحده‌ی عربی، سه سناریو بر اساس میزان تقاضا به هیدروژن به میزان کم، متوسط و زیاد را مدنظر دارد. درعین‌حال، در سیاست داخلی این کشور سه رویکرد احتمالی مطرح است. رویکرد نخست با عنوان باغ محصور، یک بازار حداکثری بزرگ و امن داخلی درزمینه ی هیدروژن را مطرح می‌کند که در آن بهره برداری حداکثری از هیدروژن در داخل آن کشور توسعه می یابد. در رویکرد دوم، موازنه‌ای بین هزینه

شکل ۱ : صنعت هیدروژن راهکاری برای کاهش انتشار کربن در عین تأمین انرژی پایدار

و فایده در صنعت هیدروژن مطرح می‌گردد و برخی مزایای منتخب سناریوی باغ محصور را برآورده می‌کند. رویکرد سوم نیز معطوف به تصدی حداقلی دولت در مدیریت بازار داخلی و توجه صرف به صادرات هیدروژن است.

در مسیر راهبردی صادرات هیدروژن از امارات، ملاک‌ها و معیارهایی نظیر حجم و نوع هیدروژن و سرمایه‌گذاری موردنیاز و یافتن بازارهای هدف مطرح می‌باشند. در همین راستا بررسی‌های جامعی در زمینهٔ های تأثیرات اقتصادی، اجتماعی، محیط زیستی و انطباق سیاست خارجی امارات نیز صورت گرفته است. بر اساس این بررسی‌ها، چهار سناریو برای آینده‌ی صادرات هیدروژن امارات مدنظر هست. نخست تبدیل‌شدن امارات به تولیدکننده‌ی برتر و هاب هیدروژن منطقه که سناریوی جاه‌طلبانه و بلندپروازانه ای است. در سناریوی دوم، امارات به یک خوشه محوری تولید هیدروژن در حد منطقه اکتفا کرده و درگیر رقابت مخرب با دیگر اعضای شورای همکاری خلیج‌فارس نمی‌گردد. در سناریو سوم، سطح رقابتی کاهش‌یافته و مشابه مقیاس دیگر کشورهای حوزه‌ی خلیج‌فارس صرفاً تولید هیدروژن دنبال گردد. سناریو چهارم به‌شدت محافظه‌کارانه بوده و مخاطرات شکست سرمایه‌گذاری روی هیدروژن در امارات را دنبال می‌کند و تمرکز آن بر فرصت‌های ناب سرمایه‌گذاری مطمئن روی هیدروژن می‌باشد(موسوم به سناریوی میوه در دسترس).

نتیجه‌ی بررسی‌های سناریوها و سطوح مختلف مطرح‌شده، امارات را بر آن داشته تا میزان تقاضا به هیدروژن را متوسط به بالا مفروض داشته و سیاست خود را بر اساس تولیدکننده‌ی برتر و هاب بین‌المللی آن استوار نماید، که یک سیاست پر ریسک، به‌دور از هر محافظه‌کاری و مبتنی بر جاه‌طلبی با تکیه‌بر توانمندی‌های فنی و منافع زیاد اقتصادی خواهد بود. امارات گمان دارد بر اساس این سناریو تا افق ۲۰۵۰، به میزان ۳۲ میلیارد درهم به درآمد ناخالص داخلی این کشور افزوده شود و به میزان ۱۲۰/۰۰۰ نفر اشتغال‌زایی رخ‌داده و به میزان ۸۴ روز انتشار کربن ناشی نفت امارات را نیز پوشش داده و جبران نماید. اهداف و نتایجی که بزرگ و قابل توجه هستند.

در این مسیر توصیه‌ها و نکات زیر مطرح می‌باشد:

- توسعه زیرساخت‌هایی مانند تولید سوخت سبز سنتزی و مصنوعی مبتنی بر هیدروژن سبز
- توسعه الکترولیز آب دریا در مواجهه با چالش نبود آب شیرین
- پایلوت های اثبات کننده‌ی پاک بودن تولید هیدروژن
- توسعه مشارکتی خط لوله مشترک شورای همکاری خلیج‌فارس به اروپا و آسیای شرقی جهت انتقال هیدروژن
- همسویی نهادهای کلیدی داخلی امارات بر عرضه و مصرف هیدروژن سبز و آبی
- مشوق‌های مالی برای تولید هیدروژن
- تعریف تحقیق و توسعه اختصاصی درزمینه ی تخصصی هیدروژن
- تبدیل ۵۰% خودروهای برقی سنگین مبتنی بر سلول سوختی هیدروژنی تا ۲۰۵۰
- احداث ۱۰۰ جایگاه عرضه هیدروژن در امارات تا ۲۰۵۰

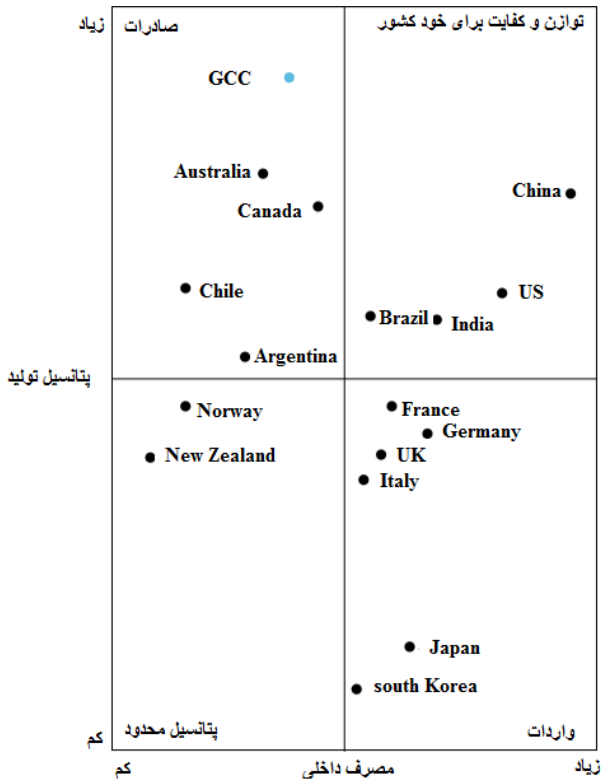
با این مسیر راهبردی و تأکید بر نکات و پیش‌نیازهای اشاره‌شده در

این مسیر، امارات قصد جدی خود جهت مشارکت در برنامه‌ی جهانی انتشار صفر کربن را دنبال می‌کند. اماراتی‌ها به‌عنوان یکی از اولین کشورهایی که معاهده‌ی پاریس را قبول و امضا نمودند، می‌دانند که با اتکا به تکالیف این معاهده، هدف محدودسازی افزایش دمای زمین به میزان ۱/۵ درجه بالاتر از سطح قبل از صنعتی شدن، محقق نشده و این میزان تا ۳/۲ درجه سانتی‌گراد محتمل است. آن‌ها می‌دانند فقط هنگامی هدف ۱/۵ درجه محقق می‌شود که در بازه‌ی زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰، هرساله ۷/۶ % از انتشار کربن و گازهای گلخانه‌ای کاهش یابد. امارات با تکیه به صنعت هیدروژن آتی خود، به کمک‌های تعیین‌شده‌ی ملی اقبال داشته و در سال ۲۰۲۰ داوطلبانه متعهد شده به میزان ۲۳/۵% انتشار گاز گلخانه‌ای خود را تا سال ۲۰۳۰ کاهش دهد، که این رقم معادل کاهش انتشار حدود ۷۰ میلیون تن کربن می‌باشد. امارات متحده‌ی عربی به‌موازات برنامه‌ی هیدروژنی خود، متعهد شده ۱۴ گیگاوات ظرفیت برق پاک جدید ایجاد نموده و ۳۰ میلیون نهال مانگرو برای بهبود شرایط اقلیمی و جلوگیری از افزایش سطح دریا بکارد. امارات از سال ۲۰۱۲ با تعریف اقتصاد سبز و توسعه‌ی پایدار، تبدیل امارات به یکی از برترین کشورهای جهان درزمینهٔ ی اقتصاد و اقلیم را آغاز کرد و در سال ۲۰۲۱ انطباق قابل قبولی از پیشرفت این برنامه را به ثبت رسانید. این کشور برای هزینه کرد در سه دهه در زمینهٔ انرژی تجدید پذیر و پاک، ۶۰۰ میلیارد درهم سرمایه‌گذاری را در سال ۲۰۱۷ در کابینه‌ی خود مصوب نموده است که نشان از عزم جدی این کشور در توسعه‌ی پایدار و مقاوم در برابر تغییر اقلیم همراه با مزایای اقتصادی دارد. این‌که بیشتر انتشار کربن ناشی از بخش انرژی است و صنعت هیدروژن امارات می‌تواند آن را متأثر کند، ارتباط غیرمستقیم این صنعت بر سیاست‌های اقتصادی – اقلیمی امارات را مشخص می‌نماید. اشراف امارات بر تحولات جهانی هیدروژن با اتکا بر روابط سیاسی و بین‌المللی خود مثال‌زدنی است. اماراتی‌ها کاملاً اشراف دارند که استرالیا، یکی از بزرگ‌ترین صادرکنندگان ذغال سنگ، هدف صادرات هیدروژن را دنبال می‌کند و رقیب اصلی امارات است. آن‌ها می‌دانند ژاپنی‌ها تولید را مدنظر ندارند، ولی سرمایه‌گذاری زیادی روی مصرف هیدروژن داشته و عرضه را دنبال می‌کنند، پس بازار هدف خوبی برای صادرات هیدروژن امارات می‌باشند. امارات در ۲۰۲۱ نخستین پارک هیدروژن خورشیدی خود را راه‌اندازی نمود تا بر سهم ۸۵% انرژی مصرفی امارات در تولید و انتشار گاز گلخانه‌ای اثر بگذارد. هدف‌گذاری تولید ۷۵% برق امارات تا ۲۰۵۰ از انرژی پاک ترسیم‌شده و ابوظبی هم به کمک دوبی شتافته است. ادراک ابوظبی با کمک زیمنس آلمان، تولید هیدروژن سبز در امارات را دنبال می‌کند. امارات یکی از کشورهای تولیدکننده نفت است که درعین‌حال پیگیری‌های جدی از سازمان ملل در قیمت‌گذاری مصرف سوخت متناسب با میزان انتشار کربن آن را دنبال می‌کند. اینکه این کشور خود تولیدکننده‌ی نفت، به‌عنوان یک سوخت در دسترس و نسبتاً فراوان و ارزان، می‌باشد و درعین‌حال توجه ویژه‌ای به هیدروژن سبز معطوف داشته است، قابل‌تأمل است. امارات در تلاش است هزینه‌ی تمام‌شده‌ی نفت منتشرکننده‌ی کربن برای مصرف‌کننده افزایش یابد تا مزیت‌های اقتصادی – اقلیمی هیدروژن سبز خود را نمایان‌تر کند. در این کشور تولید هر سه ویرایش هیدروژن (خاکستری، ناشی از استفاده از هیدروکربن بدون CCUS، هیدروژن آبی، ناشی از استفاده از هیدروکربن مجهز به CCUS، و هیدروژن سبز، متکی بر انرژی برق پاک و الکترولیز آب دریا)، در حال انجام است و به مزایا و معایب هر یک اشراف دارند. امارات نخستین سیستم CCUS خود در الریاضه را برای جذب کربن از صنعت فولاد به بهره‌برداری رسانید و بر اساس این تجربه، هیدروژن آبی برای امارات بسیار در دسترس است. همچنین امارات هیدروژن فیروزه‌ای، ناشی از پیرو لیز متان، که در پایان آن کربن به‌صورت جامد در دسترس خواهد بود را در دستور کار دارد. درعین‌حال جدی‌ترین اقدام امارات پارک خورشیدی هیدروژن سبز در مقیاس مگاوات است که جدی‌ترین پایلوت در خاورمیانه و شمال آفریقا محسوب می‌شود. امارات به هیدروژن زرد، که از الکترولیز آب دریا باانرژی هسته‌ای به دست می‌آید، اقبالی ندارد.

۳-چالش‌هـا و فرصت‌های امارات در صنعت هیدروژن

هم‌اکنون ۵۵ درصد هیدروژن جهان صرف تولید آمونیاک، ۲۵% در پالایشگاه‌ها و ۱۰% صرف تولید متانول می‌شود و ۱۰% سایر مصارف را پوشش می‌دهد. پالایشگاه‌های امارات حدود ۷۰% گوگرد نفت خام را حذف می‌کنند و در این مهم، به هیدروژن نیاز جدی دارند. اماراتی‌ها دریافته‌اند که هزینه تولید برق تجدید پذیر خورشیدی از ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ یعنی کمتر از یک دهه، به میزان ۸۲% کاهش داشته است و این نویدبخش مزیت اقتصادی برق پاک و ارزان در آینده خواهد بود، اما نگه‌داشتن و ذخیره کردن این برق پاک جز با راهکارهای مبتنی بر هیدروژن میسر نیست. اماراتی‌ها چندین بار در جهان رکورد ارزان‌ترین برق خورشیدی را شکسته‌اند و به نام خود ثبت کرده‌اند. در الظفره و در سال ۲۰۲۰، ابوظبی توانست هر کیلووات ساعت برق خورشیدی را با کمتر از ۱/۳۵ سنت دلار با مقیاس ۲ گیگاوات تولید کند. نیروگاه حرارت متمرکز خورشیدی دوبی، به رقم ۷/۳ سنت دلار برای هر کیلووات ساعت برق پاک رسیده است. این ارقام و هزینه‌ها، اخبار بسیار خوبی است، مشروط بر آنکه هیدروژن گپ و شکاف ذخیره‌سازی، انتقال و تجارت آن را پر کند. امارات، ژاپن و برونئی یک مثلث طلایی دیگر را برای توسعه صنعت هیدروژن در یک زنجیره جهانی ایجاد کرده‌اند که متمرکز بر مایع سازی غیرمستقیم هیدروژن است. آن‌ها مایع سازی پرهزینه برودتی را دنبال نمی‌کنند و با استفاده از تولوئن، متیل سیکلوهگزان را تولید می‌کنند که در دما و فشار محیط مایع است. به یاد داشته باشیم فرایند مایع سازی برودتی هیدروژن و فرایند فشرده‌سازی آن، به ترتیب ۴۰ و ۲۰ درصد انرژی هیدروژن را به خود اختصاص می‌دهد. مخازن نگهداری هیدروژن نیز یک چالش بزرگ است به‌گونه‌ای که در ۵۰۰۰ پوند در اینچ، وزن مخازن حاوی هیدروژن، ۶۵ برابر بیش از هیدروژن موجود در مخزن خواهد بود. تبدیل هیدروژن به آمونیاک و مایع سازی عملی آن، ۵۰% مزیت افزوده به همراه خواهد داشت. یکی دیگر از چالش‌های امارات در توسعه صنعت هیدروژن، مبحث ایمنی است که استانداردهای کشورهای مقصد و هدف در آن، با یکدیگر متفاوت بوده و جهان در سردرگمی نسبی در میزان محافظه‌کاری در استفاده از هیدروژن به سر می‌برد. به‌گونه‌ای که سفارش‌های مختلفی از میزان خلوص ۹۹/۹۷ تا ۹۹/۹۹۹

و یا ویرایش‌های رنگ دار یا بودار هیدروژن برای امارات از جانب کشورهای متقاضی صادرشده است، که هر یک استانداردها و ضوابط ایمنی کشور متبوع خود را دنبال می‌کند. یکی از مشکلات امارات با بازار اروپا، گواهینامه‌ی اثبات‌کننده‌ی تولید کم‌کربن است، که در غیر این صورت اروپایی‌ها اقبالی به هیدروژن امارات ندارند. درهرحال امارات به‌عنوان یک عضو مهم شورای همکاری خلیج‌فارس، پتانسیل بالایی در بازار جهانی هیدروژن برای خود ترسیم ساخته است. در شکل ۲ کشورهای جهان بر اساس میزان پتانسیل عرضه هیدروژن نشان داده‌شده‌اند.



شکل۲: میزان پتانسیل کشورها در عرضه و تقاضای هیدروژن

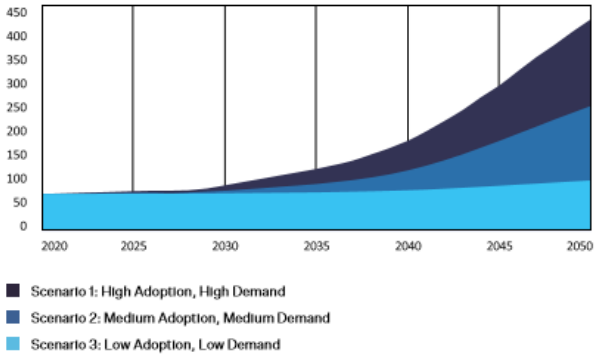
٤- ذی‌ربطان امارات در صنعت هیدروژن

امارات در مسیر راهبردی هیدروژن خود، رقبای جدی دارد. مثلاً عربستان سعودی بااطلاع از آسیب‌پذیری ذاتی اقتصاد خود به درآمدهای نفتی، مشارکت در بازار هیدروژن را آغاز کرده و نخستین محموله ۴۰ تنی هیدروژن آبی خود را به ژاپن ارسال داشته است. در پروژه شهر جدید نئوم عربستان، ۴ گیگاوات برق پاک باهدف هیدروژن سبز تدوین گردیده است. عربستان بر آن است که مسیر تجارت هیدروژن خود را در رقابت با امارات در کرانه‌های دریای سرخ بنا گذارد و چند هزار مایل از فاصله خود تا بازار اروپا را در رقابت با امارات بکاهد.

رقیب جدی دیگر امارات در صنعت هیدروژن، استرالیا است. استرالیا در شمال غربی خود زمین‌هایی با وسعت ۵ برابر مساحت امارات را به برق پاک و هیدروژن سبز اختصاص داده و فاصله‌ی نسبی کمتری تا ژاپن و کره دارد. چین به‌رغم راهبرد انرژی جدی درزمینهٔ هیدروژن، و با توجه به اقلیم مناسب در تبت و مغولستان داخلی، به دلیل حجم بالای مصرف هیدروژن در داخل، رقیبی برای امارات محسوب نمی‌شود، درعین‌حال بازار مطلوبی هم به نظر نمی‌رسد. از سوی دیگر، اروپا بازار مستعد هیدروژن امارات است و اروپایی‌ها، مایل به سرمایه‌گذاری و انتقال فناوری به امارات برای تولید نیابتی هیدروژن هستند. آمریکا، با توجه به بعد مسافت و منابع داخلی، کمترین تأثیر را در بازار امارات خواهد داشت. تنها احتمال، رویکرد جدید هیدروژن سبز ارزان آمریکا است که قیمت نهایی تجارت هیدروژن امارات را دستخوش رقابت خواهد نمود. کانادا، برزیل، شیلی و مکزیک هم با توجه به بعد مسافت و محدودیت در منابع داخلی، تأثیر چندانی در صنعت هیدروژن امارات نخواهند داشت، مگر آنکه برگ برنده فناورانه مطرح باشد.

۵-جمع‌بندی، تحلیل و نظریه کارشناسی

همان‌گونه که ذکر شد، امارات تخمین آینده‌ی هیدروژن در جهان و میزان تقاضای آن را متوسط – زیاد مفروض داشته و بر همین اساس سناریو پردازی نموده است. در شکل زیر، تقاضای هیدروژن در سه سطح احتمالی تا افق ۲۰۵۰ ترسیم گردیده است.



شکل۳: میزان تقاضا به هیدروژن در سه سناریوی احتمالی تا افق ۲۰۵۰

دراین‌بین قیمت‌گذاری احتمالی انتشار کربن و تعرفه‌ی انتشار، تمرکز بر سناریوی انتشار خالص صفر، توسعه و تحقیق گسترده درزمینهٔ هیدروژن، برنامه‌های ملی و بین‌المللی برای اتخاذ هیدروژن به‌عنوان یک سوخت پاک بر امکان‌پذیری تقاضای حداکثری، مطابق با سناریوی امارات، صحه می‌گذارد.

درهرحال آینده‌ی صنعت هیدروژن امارات، بیش از هر منبع داخلی، متأثر از عوامل خارجی و بین‌المللی است و باید دید این سرمایه‌گذاری امارات، در طول زمان و اقبال جهانی به هیدروژن چگونه به سوددهی خواهد رسید. اینکه سطح مصرف هیدروژن در جهان به میزان فعلی برای تولید متانول و آمونیاک و گوگردزدایی پالایشگاه‌ها بسنده کند، برای صنعت هیدروژن امارات با سناریوی جاه طلبانه ترسیم‌شده، شکست محسوب می شود.

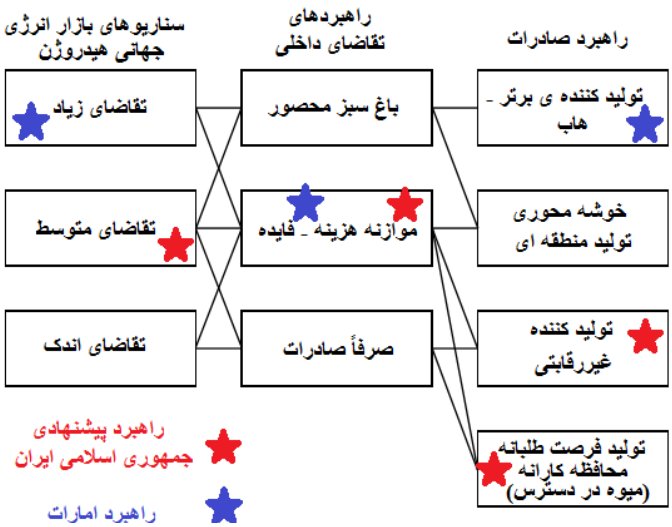
دراین‌بین جمهوری اسلامی ایران با توجه به منابع عظیم گاز برای تولید هیدروژن آبی مشروط بر توسعه فناوری‌های CCS و CCUS، منابع عظیم سرزمینی برای مزارع فعال تولید برق خورشیدی و بادی در مجاورت دریاها برای تولید هیدروژن سبز، اقبال نظام به انرژی هسته‌ای و امکان تولید هیدروژن زرد، بایستی راهبرد خود در مشارکت در بازار بین‌المللی هیدروژن، که نیازمند تغییرات فناورانه جدی در کسب‌وکار است را اتخاذ نموده و الگوی سناریو پردازی نظیر

شکل۴: امارات بر اساس سناریو تقاضای حداکثری جهانی، راهبرد هاب و تولیدکننده‌ی برتر را اتخاذ نموده و از راهبردهایی مانند خوشه محوری توزیع منطقه‌ای، تولیدکننده محدود غیر رقابتی و سناریوهای محافظه‌کارانه (میوه در دسترس) اجتناب می‌کند.

آنچه که امارات در میزان تقاضای جهانی(زیاد – متوسط – کم)، سناریوهای تصدی‌گری دولتی (باغ محصور – موازنه هزینه فایده – خصوصی‌سازی) و تعیین نقش خود در یکی از چهار لایه (تولیدکننده برتر و هاب، تولیدکننده خوشه‌ای محوری، تولیدکننده غیررقابتی یا فعالیت فرصت طلبانه (میوه در دسترس) را انجام داده و چهارچوب منطقی و قابل‌استفاده‌ای با توجه به مطالعات صورت گرفته برای بومی‌سازی راهبرد ایران تدوین نماید. شاید اتکاء به میزان متوسط تقاضای بازار جهانی، تصدی محافظه‌کارانه‌ی دولتی و اکتفا به یک تولیدکننده غیررقابتی اما فعال در صنعت هیدروژن برای ایران، به‌عنوان یک کشور تولیدکننده‌ی نفت، مناسب باشد. به هر حال هر سناریوی هیدروژنی ایران، بهتر از انفعال و سکون در این بازار جهانی خواهد بود. در شکل ۵، راهبرد امارات و راهبرد پیشنهادی ایران در صنعت هیدروژن نشان داده شده است.

منبع :

Dubai Future Foundation



شکل۵: راهبرد امارات و الگوی پیشنهادی جهت کشور ایران؛ باتوجه به تقاضای جهانی، راهبرد داخلی، راهبرد صادراتی

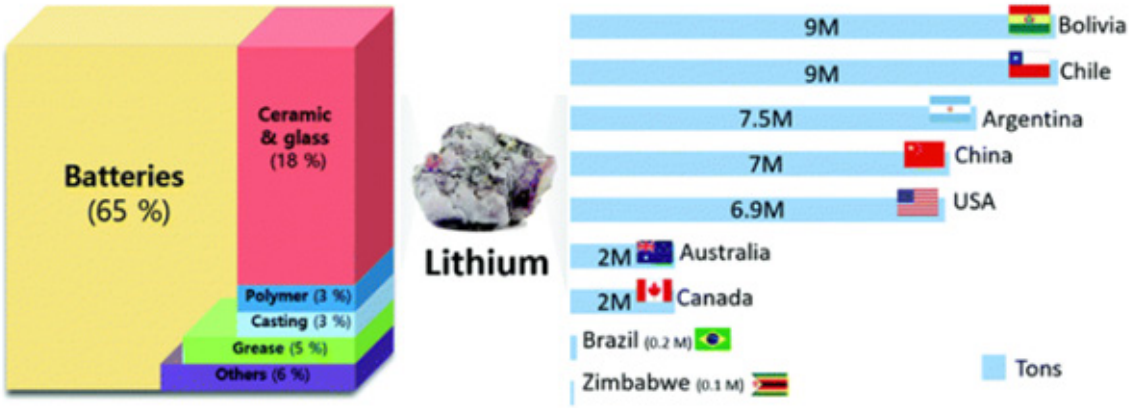
تحلیلی بر بازیافت لیتیوم به‌عنوان فلزی کمیاب برای توسعه حمل‌ونقل الکتریکی و ذخیره‌سازی برق

قاسم توتونچی – پژوهشگر موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی

۱-مقدمه‌ای بر لیتیوم

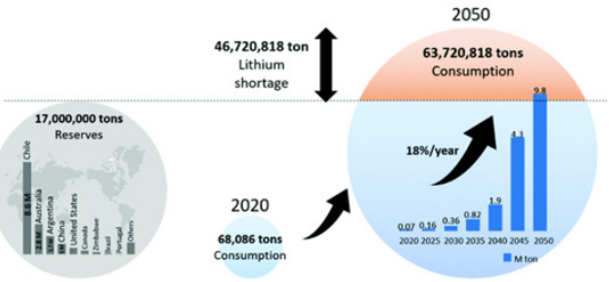
تقاضای جهانی لیتیوم خصوصاً کاربرد آن در باتری به‌عنوان ذخیره‌ساز انرژی در خودروهای برقی به‌طور فزاینده‌ای رشد داشته و آن در ۸ سال گذشته، دو برابر شده و تجارت سالانه‌ی آن بالغبر ۴۰ میلیارد دلار گردیده است. برخی اعتقاددارند تصمیمات سیاسی مداخله گرایانه در افغانستان، بولیوی و شیلی، مرتبط با منابع عظیم لیتیوم در این کشورهاست. لیتیوم از شوراب‌ها و منابع معدنی استخراج می‌شود؛ اما استخراج آن دشوار، پرهزینه و اندک است. همه‌ی محرک‌ها، فناوری انرژی را به‌سوی بازیافت مجدد و بازیافت لیتیوم از باتری‌های مستعمل سوق می‌دهد که فرایندی شامل پیش‌تصفیه و استحصال می‌باشد. استحصال خود به سه روش پیرومتالورژی، هیدرومتالورژی و الکتروشیمیایی تقسیم‌بندی می‌شود. هزینه، راندمان، آلودگی محیطی، صرفه اقتصادی و ... بین این روش‌ها مزایا و معایبی ایجاد نموده، اما به‌هرحال کمتر از ۱% لیتیوم باتری‌های مستعمل بازیافت می‌گردد که رقم بسیار اندکی است. باید توجه داشت بیش از ۶۰% مصرف لیتیوم در باتری‌های کوچک و بزرگ در وسایل نقلیه و مصرف‌کننده‌ها و ذخیره‌سازهای انرژی الکتریکی است. در شکل ۱ کشورهای دارای منابع عظیم لیتیوم و نیز مصرف لیتیوم در بخش‌های مختلف نمایش داده‌شده است.

درعین‌حال که لیتیوم در سرامیک، پلیمر، صنایع شیشه و گریس کاربرد دارد، به دلیل ویژگی‌های سه‌گانه: ۱) سبک‌ترین فلز، ۲) بالاترین ظرفیت انرژی، ۳) بالاترین پتانسیل الکتروشیمیایی در



شکل ۱ : کشورهای غنی از لیتیوم و موارد مصرف آن

بین فلزات، عمده‌ی مصارف آن متوجه باتری‌ها شده است.
آرژانتین، بولیوی و شیلی ۷۰ درصد منابع لیتیوم جهان را در اختیار دارند. البته تولید لیتیوم لزوماً در انحصار این سه کشور نیست و استرالیا بزرگ‌ترین تولیدکننده لیتیوم است و چین، شیلی و آرژانتین هم سهم زیادی در تولید آن دارند.
قیمت کربنات لیتیوم از ۶۵۰۰ دلار در هر تن در سال ۲۰۱۵ اکنون به ۱۷/۰۰۰ دلار رسیده و واقعیت این است که تولید لیتیوم و عرضه آن کمتر از تقاضای آن است. در این خصوص باید دانست هر گوشی تلفن همراه، تبلت و رایانه همراه به ترتیب ۲، ۶ و ۲۰ گرم لیتیوم نیاز دارد. اما هنگامی‌که از خودرو برقی صحبت به میان می‌آید، این میزان به ۲۰ کیلوگرم و هنگامی‌که یک ذخیره‌ساز انرژی سبز مدنظر قرار می‌گیرد، این میزان تا ۷۰۰ کیلوگرم افزایش می‌یابد. آنچه بر نگرانی ها می‌افزاید وضعیت فعلی نیست؛ چراکه مصرف لیتیوم در جهان در سال ۲۰۲۰ کمتر از ۷۰ هزار تن بوده و در مقایسه با میزان ذخایر اثبات‌شده(۱۷ میلیون تن در جهان) ناچیز است، اما افق ۲۰۵۰ بیان می‌کند مصرف لیتیوم تا ۶۳ میلیون تن افزایش خواهد داشت که در آن صورت، فقدان جدی لیتیوم محسوس خواهد بود(شکل ۲).



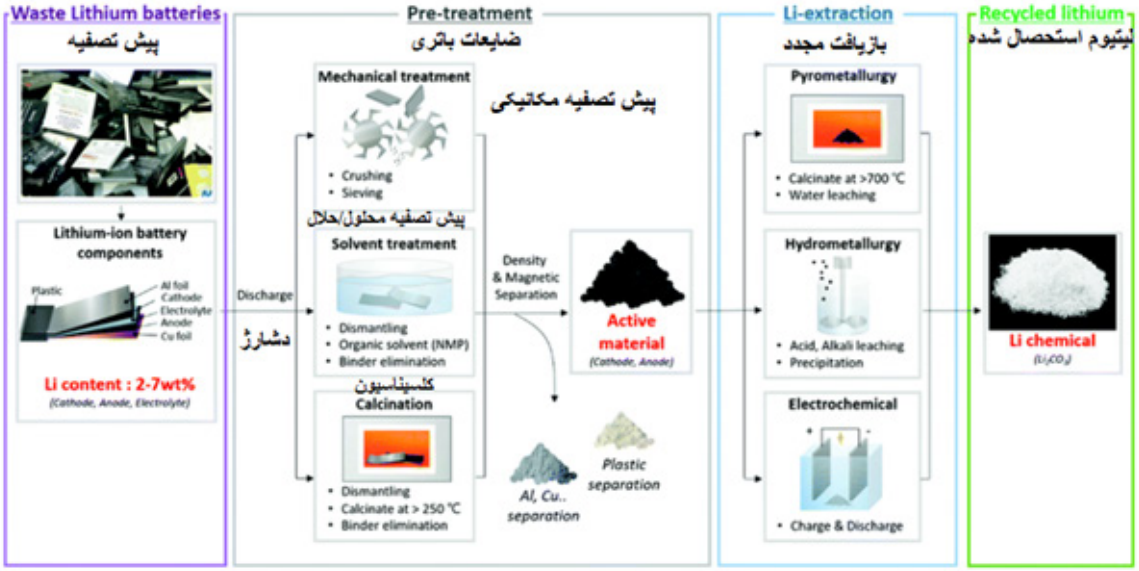
شکل۲: منابع و مصارف لیتیوم در طول زمان

۲- بازیافت لیتیوم از باتری مســتعمل

باتری‌های لیتیومی، هم در کاتد و هم در الکترولیت از ترکیبات و نمک‌های لیتیوم بهره می‌برند و از ۱ تا ۳ سال در دستگاه‌های کوچک و ۵ تا ۱۰ سال در وسایل بزرگ‌تر عمر می‌کنند. اما به‌هرحال عمر آن‌ها از باتری‌های سرب – اسید و نیکل – کادمیوم کمتر است. متأسفانه اقبال زیادی به جمع‌آوری باتری‌های مستعمل نیست و در استرالیا، اروپا و آمریکا بین ۲ تا ۵ درصد باتری‌های مستعمل و عموماً در محلی صرفاً باهدف عدم آلوده سازی محیطی جمع‌آوری می‌شوند. در فرایند بازیافت، که تحقیقات در این زمینه از ۱۹۹۰ آغازشده، بیشتر توجه به کبالت که به‌مراتب گران‌تر از لیتیوم است معطوف است. درعین‌حال با فرایند پیش‌تصفیه، شامل جداسازی پوسته‌های پلاستیکی و پلیمری، شرایط برای استحصال متالورژی یا الکتروشیمیایی لیتیوم از باتری فراهم می‌گردد.
گام نخست تخلیه کامل انرژی باتری‌ها می‌باشد. شارژ باقیمانده می‌تواند در بدترین شرایط و اتصال ناخواسته، منجر به آتش‌سوزی و نشت گازهای سمی شود. پس لازم است ابتدا از خالی شدن کامل شارژ باتری‌های مستعمل اطمینان حاصل کرد که با غوطه‌ورسازی در محلول‌های رسانا حاصل می‌شود. گام بعد خرد کردن فیزیکی است و در ادامه‌ی آن، روش‌های مبتنی بر ماشین‌های دوار و استفاده از خواص مغناطیسی، فیزیکی و چگالی مواد، سبب می‌گردد غربالگری پلیمر، پلاستیک، فویل آلومینیومی و قطعات مسی صورت پذیرد. استفاده از محلول‌های نمکی و حلال‌های مناسب، فرایند پیش‌تصفیه را بهبود می‌بخشد. همچنین کلسیناسیون سبب جدایش مواد آلی و کربن می‌گردد. در برخی از این مراحل، متناسب با فنّاوری ساخت باتری، حرارت و دمای مناسب فرایند، جدایش را افزون خواهد ساخت.
هدف اصلی استحصال و پسماند باتری ها در حال حاضر، کبالت، نیکل و منگنز است که بازیافت ساده‌تر و مقرون‌به‌صرفه‌ای دارند. درعین‌حال سه روش برای استحصال مجدد لیتیوم در قالب کربنات یا فسفات مطابق شکل ۳ وجود دارد.

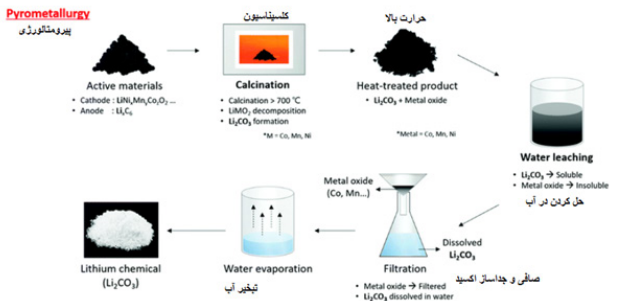
۳- پیرومتالورژی

پیرومتالورژی بر حرارت دادن بالای خروجی پیش‌تصفیه شده به‌منظور تبخیر مواد آلی باقی‌مانده و واکنش کاتد – آند استوار می‌باشد. محصول این فرآیند حرارتی مخلوطی از اکسید فلزات و کربنات



شکل۳: مراحل پیش‌تصفیه و راهکارهای سه‌گانه استحصال و بازیافت

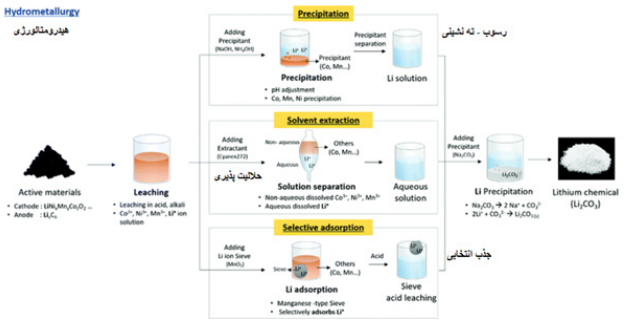
لیتیوم است که فقط ماده دوم در آب محلول است. لذا با عبور مخلوط از صافی مناسب، محلول آبی کربنات لیتیوم به‌دست‌آمده و با تبخیر آب، هدف حاصل می‌شود. در شکل ۴ این فرایند ترسیم‌شده است. انتشار گازهای سمی و نیاز به مقادیر زیاد حلال، از معایب این روش می‌باشد.



شکل۴: مراحل پیرومتالورژی

٤-هیدرومتالورژی

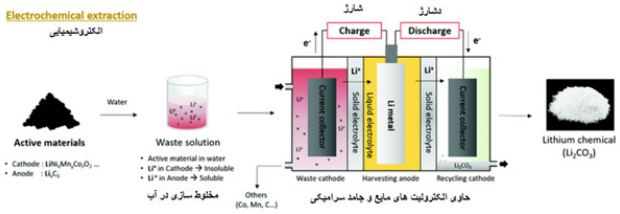
در روش هیدرومتالورژی، با استفاده از اسید و آب‌اکسیژنه، در حرارت بالا، خروجی پیش‌تصفیه شستشو داده می شود که نتیجه‌ی آن، رسوب کربنات لیتیوم می‌باشد. این روش بسیار فراگیر و ساده است و اگر از اسیدهای ضعیف‌تر استفاده شود، گازهای سمی کمتری به همراه خواهد داشت. آب‌اکسیژنه ارزان و غیر سمی است. از واکنش حرارتی ردوکس در این رویکرد استفاده می‌شود. ته‌نشینی یکی از مبانی اساسی این روش است و از ویژگی تفاوت ته‌نشینی و حل‌پذیری ترکیبات در اسیدیته و دمای مختلف بهره می‌برد. استفاده از حلال نیز با ایجاد حلالیت در مواد قطبی و عدم حلالیت در مواد غیر قطبی، سبب جدایش فلزاتی مانند کبالت و لیتیوم می‌شود. فرایندهای جذب انتخابی که بر اساس استفاده از جاذب‌های معدنی با گزینش و غربالگری لیتیوم عمل می‌کنند، نیز به کار بسته می‌شوند. در شکل ۵ فرایند هیدرو متالورژی نمایش داده‌شده است.



شکل۵: فرایند هیدرو متالورژی

۵-روش الکتروشیمیایی

در روش الکتروشیمیایی، مواد خروجی پیش‌تصفیه در آب مخلوط شده که برخی ترکیبات لیتیوم در آب حل‌شده و برخی حل نمی‌شوند.



شکل۶: فرایند بازیافت لیتیوم با روش الکتروشیمیایی

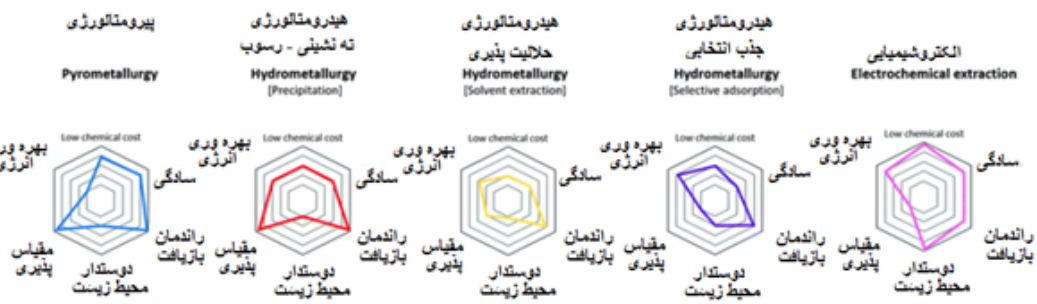
در این مقطع با تعریف الکترولیت سرامیکی جامد متناسب و اعمال شارژ و دشارژ به مجموعه الکتروشیمیایی و بهره‌گیری از واکنش تکامل اکسیژن(OER) و کاهش اکسیژن(ORR)، فلز لیتیوم حاصل می‌شود. میزان ولتاژ موردنیاز بستگی به میزان بازی شدن مخلوط پودری در آب دارد. شکل ۶ این فرایند را به تصویر کشیده است.

درروش الکتروشیمیایی، می‌توان به‌صورت نرمال ۷۵ تا ۹۰ درصد لیتیوم موجود در پودر پیش‌تصفیه شده را بدون اضافه کردن مواد خاص یا حرارت بالا صرفاً با استفاده از شارژ و دشارژ استحصال نمود. در تلاش‌های ویژه با سرامیک‌های الکترولیت جامد خاص، خلوص ۹۹/۹ % لیتیوم حاصل‌شده گزارش‌شده است. اما مشکل اینجاست که راهکاری برای تجاری‌سازی این روش یافته نشده و تلاش‌ها در مقیاس آزمایشگاهی است.

٦-مقایســه، تحلیل، نتیجه‌گیری و نظریه کارشناسی

روش‌ها و رویکردهای مختلف بازیابی و استحصال مجدد لیتیوم از باتری‌های مستعمل، در شکل ۷ مورد مقایسه از بعد سادگی، مقیاس‌پذیری، دوستدار بودن محیط‌زیست، مصرف انرژی و راندمان بازیافت واقع‌شده‌اند.

در حال حاضر و در دوره‌ی باتری برای همه‌چیز(Battery Of Things یا BOT) شرکت‌های فعالی با استفاده از روش‌های متالورژی اعم از پیرو و هیدرو، استحصال لیتیوم را از باتری‌های مستعمل صورت می‌دهند که متأسفانه بر اساس گزارش UNEP میزان بازیافت باتری مستعمل و عدم دورریز آن در اروپا حدود ۵% و میزان بازیافت لیتیوم حدود ۱% می‌باشد. توصیه می‌شود تحقیق و توسعه برای بازیافت لیتیوم تغذیه‌شده برای تولید شیشه، سرامیک، گریس و ... نیز صورت پذیرد. شاید استحصال لیتیوم از ۳۵% مصارف غیر باتری لیتیوم، نتیجه و بازدهی بهتری به دنبال داشته باشد. همچنین



شکل۷: مقایسه‌ی راهکارها و رویکردهای استحصال لیتیوم

شکل۸: ابعاد و تنوع و اشکال مختلف باتری، پیش‌تصفیه و بازیافت آن را دشوار می‌کند

پیشنهاد می‌گردد قبل از مرحله‌ی پیش‌تصفیه، یک طبقه‌بندی و خوشه‌بندی ضایعات باتری صورت پذیرد. شکل‌ها و ابعاد مختلف باتری‌های وسایل مختلف، سبب دشواری در فرایند خواهد شد.

یادآور می‌گردد هدف اصلی از توسعه‌ی باتری‌های مبتنی بر لیتیوم، خودروهای برقی، برقی سازی منعطف و هوشمند و استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر و حذف آلاینده‌های کربنی و کاهش شدت مصرف انرژی است و هدف از هر بازیافتی، منفعت و بهره‌ی اقتصادی است. چنانچه فرایند بازیافت لیتیوم، مطابق با آنچه تاکنون حاصل‌شده است، بسیار انرژی بر، همراه با استفاده از مواد خاص و انتشار گازها و سیالات سمی بوده و همراه با هزینه گزاف باشد، متأسفانه اهداف استحصال و بازیافت محقق نشده و تا زمانی که استخراج لیتیوم از بازیافت آن ارزان‌تر باشد و ذخایر قطعی فلز در دسترس باشد، بازیافت این فلز رونقی نخواهد یافت. استفاده از دمای بالا و مصرف اسیدها و بازها و مواد خاص، هزینه بازیافت را بالابرده و اکنون فقدان یک روش فناورانه ی غیر بدیهی، با مصرف انرژی بسیار کم، بازدهی بالا، بدون آسیب به محیطزیست، ساده و سهل و در مقیاس بالا، محسوس است و به جرات می‌توان گفت سرمایه‌گذاری دانش‌بنیان روی یافتن این فناوری، شاید آینده‌ی انرژی را تغییر دهد. تا آن زمان حداقل وظیفه نخبگان حوزه فناوری به سیاست‌گذاران حوزه انرژی، یادآوری مکرر کمبود منابع لیتیوم و لزوم اتخاذ رویکردهای بهتر در ذخیره‌سازی انرژی تجدید پذیر یا مشابه جایگزین آن در حمل‌ونقل و وسایط نقلیه برقی است. شاید با کمتر شدن لیتیوم و افزایش قیمت آن، اهمیت هیدروژن دوچندان شود؛ مشروط بر آنکه فناوری بازیافت لیتیوم انقلاب و تحول بزرگی به خود نبیند.

در کشور عزیز ما ایران، تلاش‌های متعددی در دهه‌ی اخیر در سطوح مختلف دانشگاهی درزمینه استحصال لیتیوم از باتری‌های مستعمل صورت گرفته که عمدتاً به‌مرور سوابق، روش‌شناسی و مطالعات تئوری بسنده نموده‌اند. در خصوص راهبرد و رهیافت مناسب برای کشور، حداقل پیشنهادهای زیر مطرح می‌باشد:

- سرمایه‌گذاری دانش‌بنیان رقابتی، ترکیبی و چندراه کاره و یافتن فناوری کلیدی و نوظهور استحصال و بازیافت ارزان، بهره‌ور و کارا، مقیاس‌پذیر، دوستدار محیطزیست، ساده و سهل و کم‌مصرف انرژی فلز لیتیوم (و دیگر فلزات گران‌بها و کمیاب موجود در باتری‌های مستعمل) می‌تواند جمهوری اسلامی ایران را در جایگاه راهبران کلیدی حوزه انرژی در دوره BOT تعریف نماید. این رخداد مبارک، علاوه بر منافع ملی، تأثیر شگرف بر آینده‌ی انرژی جهان داشته و گلوگاهی سخت در مسیر انرژی تجدید پذیر پاک و ذخیره‌سازی آن را مرتفع خواهد کرد.
- به‌عنوان راهبرد فنی- اقتصادی و در تعامل با شرکت‌های بازیافت لیتیوم، انجام مراحل اولیه پیش‌تصفیه با حداقل سرمایه‌گذاری و پایین‌ترین سطوح فناوری قابل انجام بوده و ارسال خوراک به شرکت‌های پیشرو در فناوری استحصال با خلوص بالا را به دلیل کم شدن حجم و جرم محموله، اقتصادی و میسر می‌کند.
- فرهنگ‌سازی عدم تلقی باتری مستعمل به‌عنوان زباله‌ی عمومی در کشور ضروری است.

منبع :

https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2021/ma/d1ma00216c

EnerTech

Professional Monthly Journal of Energy Technologies (EnerTech)

Institute For International Energy Studies

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