



سرمقاله

یاسین خلیلی

دکتری مهندسی نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

آینده گاز: گذار انرژی، هیدروژن و سوخت‌های کم‌کربن

۲. پیوند گاز و هیدروژن: مسیر آینده سوخت‌های پاک
هیدروژن یکی از امیدوارکننده‌ترین حامل‌های انرژی آینده است. با این حال، امروزه بیش از ۷۰ درصد هیدروژن جهان از گاز طبیعی تولید می‌شود. به همین دلیل، گاز نه تنها رقیب هیدروژن نیست، بلکه پایه فعلی توسعه آن محسوب می‌شود.

دو مسیر اصلی تولید هیدروژن از گاز عبارت‌اند از:

۱. هیدروژن آبی^۱: تولید از گاز طبیعی همراه با جذب و ذخیره کربن؛ مناسب برای کاهش قابل توجه انتشار CO₂
۲. هیدروژن فیروزه‌ای^۲: تولید از گاز به روش پیرولیز و تولید کربن جامد؛ روشی با انتشار اندک و ارزش افزوده بالا

زیرساخت گسترده خطوط لوله گاز و فناوری‌های انتقال و ذخیره‌سازی آن می‌توانند با کمترین سرمایه‌گذاری تکمیلی برای انتقال هیدروژن ترکیبی استفاده شوند؛ بنابراین، صنعت گاز عملاً سکوی پرتاب اقتصاد هیدروژنی آینده است.

۳. LNG و نقش آن در بازار جهانی گاز

توسعه بازار گاز طبیعی مایع‌شده^۴ آینده این صنعت را متحول کرده است. LNG امکان انتقال گاز به مسافت‌های طولانی و خارج از چارچوب خطوط لوله را فراهم می‌کند. رشد تقاضا در شرق آسیا و اقیانوسیه، اروپا و آمریکای جنوبی باعث شده است که LNG یکی از سریع‌ترین بخش‌های بازار انرژی جهان باشد.

صنعت انرژی جهان در دهه‌های اخیر با سرعتی بی‌سابقه در حال تغییر است. فشارهای زیست‌محیطی، محدودیت منابع فسیلی، توافق‌های بین‌المللی کاهش انتشار کربن و نیاز روزافزون به انرژی پایدار کشورها را وادار کرده است تا مسیر تازه‌ای در تولید و مصرف انرژی ترسیم کنند. در این میان، گاز طبیعی جایگاهی کلیدی یافته است؛ نه تنها به‌عنوان یک سوخت فسیلی پاک‌تر نسبت به نفت و زغال‌سنگ، بلکه به‌عنوان پلی عملیاتی در گذار انرژی و بستری برای توسعه سوخت‌های نوینی همچون هیدروژن. آینده گاز دیگر صرفاً در حفظ جایگاه فعلی آن خلاصه نمی‌شود، بلکه در ادغام آن با فناوری‌های کم‌کربن و انرژی‌های نو معنا پیدا می‌کند.

۱. گاز طبیعی؛ سوخت انتقالی در مسیر کربن‌زدایی

گاز طبیعی در مقایسه با سایر سوخت‌های فسیلی کمترین میزان انتشار دی‌اکسید کربن را دارد و به همین دلیل «سوخت انتقالی» در مسیر گذار به انرژی‌های پاک شناخته می‌شود. نیروگاه‌های گازی به‌واسطه راندمان بالاتر و انعطاف‌پذیری عملیاتی، مکمل ایده‌آلی برای انرژی‌های تجدیدپذیر هستند؛ زیرا می‌توانند نوسانات تولید برق خورشیدی و بادی را جبران کنند. بسیاری از کشورها، از جمله در اروپا و شرق آسیا، راهبرد انتقال از زغال‌سنگ به گاز را به‌عنوان اولین گام در کاهش انتشار کربن اجرا کرده‌اند. در کنار آن، توسعه فناوری‌هایی مانند کربن‌گیری و ذخیره‌سازی^۱ می‌تواند نقش گاز را برای دهه‌های آینده پایدارتر کند.

1. Carbon Capture and Storage (CCS)
2. Blue Hydrogen
3. Turquoise Hydrogen
4. Liquefied Natural Gas (LNG)



در دوران گذار انرژی، LNG به‌عنوان منبعی با آلاینده‌گی کمتر و انعطاف‌پذیری بالا نقش مهمی در امنیت انرژی کشورها ایفا می‌کند. هم‌زمان، شرکت‌های بزرگ انرژی در حال توسعه LNG کم‌کربن با استفاده از فناوری‌های کاهش انتشار از زنجیره تولید تا مصرف هستند.

۴. چالش‌های آینده گاز

با وجود فرصت‌های وسیع، صنعت گاز با چند چالش اساسی روبه‌رو است:

۱. فشار جهانی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای
۲. سرمایه‌گذاری سنگین مورد نیاز برای زیرساخت‌های انتقال هیدروژن
۳. رقابت روزافزون انرژی‌های تجدیدپذیر ارزان‌تر
۴. چالش‌های ژئوپلیتیکی و امنیت انرژی
۵. کاهش حاشیه سود در پروژه‌های LNG با ورود بازیگران جدید
۶. این چالش‌ها نشان می‌دهد که آینده گاز وابسته به نوآوری، دیجیتالی شدن و توسعه فناوری‌های کم‌کربن است.

۵. آینده کربن‌زدایی در ایران و راهکارهای پیشرو

ایران به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین دارندگان ذخایر گاز جهان، در مسیر گذار انرژی با فرصت‌ها و چالش‌های ویژه‌ای مواجه است. ساختار اقتصاد انرژی کشور وابستگی بالایی به سوخت‌های فسیلی دارد و سهم قابل‌توجهی از انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از بخش انرژی، صنایع سنگین و حمل‌ونقل است. با وجود این، ایران ظرفیت‌های فنی و زیرساختی مهمی برای حرکت به سوی کاهش انتشار کربن و شکل‌دهی به یک آینده انرژی پایدار در اختیار دارد.

۵-۱. وضعیت کنونی انتشار و چالش‌ها

چالش‌های کربن‌زدایی در ایران را می‌توان در چند محور کلیدی خلاصه کرد:

۱. شدت انرژی بالا: مصرف انرژی نسبت به تولید اقتصادی در کشور بالاتر از میانگین جهانی است.
۲. اتکای سنگین به گاز طبیعی: هرچند گاز سوخت پاک‌تری نسبت به نفت و زغال‌سنگ است، اما همچنان منبع اصلی انتشار CO₂ محسوب می‌شود.
۳. فلرینگ قابل‌توجه: با وجود پیشرفت‌های سال‌های اخیر، میزان سوزاندن گازهای همراه در برخی میادین

همچنان بالاست و این موضوع سهم چشمگیری در انتشار دارد.

۴. زیرساخت محدود تجدیدپذیرها: سهم انرژی‌های خورشیدی و بادی هنوز بسیار پایین است.

۵. سرمایه‌گذاری ناکافی در فناوری‌های نوین: پروژه‌های CCS، تولید هیدروژن کم‌کربن و بهینه‌سازی شبکه گاز به سرمایه و سیاست جامع نیاز دارند.

۵-۲. فرصت‌های ایران در مسیر کربن‌زدایی

با وجود محدودیت‌ها، ایران چند مزیت رقابتی قابل‌توجه برای حرکت در مسیر کاهش کربن دارد:

۱. گستره و دسترسی به منابع عظیم گاز طبیعی
۲. پتانسیل بسیار بالا در انرژی خورشیدی و بادی
۳. وجود زیرساخت گسترده خطوط لوله گاز
۴. بازار توسعه‌نیافته اما ظرفیت‌دار برای هیدروژن
۵. توان علمی مناسب در دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی

۵-۳. راهکارهای کلیدی کربن‌زدایی در ایران

یک نقشه راه عملی برای آینده کم‌کربن ایران می‌تواند شامل مراحل زیر باشد:

یک نقشه راه عملی برای آینده کم‌کربن ایران می‌تواند شامل مراحل زیر باشد:

۱. توسعه پروژه‌های جمع‌آوری و مدیریت فلرینگ کاهش فلرینگ نه‌تنها انتشار را کم می‌کند، بلکه گاز ارزشمند تلف‌شده را به چرخه مصرف بازمی‌گرداند. فناوری‌های کمپرسورهای بازبافت گاز، ریز شبکه‌های کوچک LNG/CNG و تبدیل گازهای دورافتاده به برق محلی از بهترین گزینه‌ها هستند.

۲. حرکت به سوی تولید هیدروژن کم‌کربن

سه مسیر قابل‌اتکا:

- هیدروژن آبی با استفاده از گاز طبیعی + CCS
 - هیدروژن فیروزه‌ای از طریق پیرولیز متان
 - هیدروژن سبز با بهره‌گیری از انرژی خورشیدی گسترده مناطق مرکزی و جنوب ایران
- وجود شبکه گاز کشور امکان مخلوط‌سازی هیدروژن یا توسعه تدریجی شبکه اختصاصی آن را فراهم می‌کند.

۳. استقرار فناوری‌های کربن‌گیری و ذخیره‌سازی

۷. جمع‌بندی

آینده صنعت گاز، آینده‌ای ترکیبی است؛ ترکیبی از گاز طبیعی به‌عنوان سوخت انتقالی، هیدروژن به‌عنوان حامل انرژی پاک و فناوری‌های کم‌کربن که این گذار را ممکن می‌سازند. دنیای انرژی به سمت سامانه‌ای انعطاف‌پذیر، پاک و متنوع حرکت می‌کند و گاز در قلب این تحول قرار دارد. حرکت ایران به‌سوی یک آینده کم‌کربن نه‌تنها یک ضرورت زیست‌محیطی، بلکه یک فرصت اقتصادی برای توسعه صنایع نو، کاهش اتلاف انرژی و افزایش رقابت‌پذیری جهانی است. ترکیب هوشمندانه گاز طبیعی با فناوری‌های نوین، توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و اصلاحات ساختاری در مصرف انرژی می‌تواند مسیر کربن‌زدایی پایدار و مبتنی بر مزیت‌های ملی را برای کشور ترسیم کند.

آدرس پست الکترونیک: yassinkhalili.pe@aut.ac.ir

میادین تخلیه‌شده نفت و گاز ایران ظرفیت مناسبی برای ذخیره CO₂ دارند. استفاده از CCS در صنایع انرژی‌بر مانند پتروشیمی، فولاد و نیروگاه‌ها از مؤثرترین راهکارهاست.

۴. افزایش سهم تجدیدپذیرها با تمرکز بر خورشیدی

ایران می‌تواند در مناطق یزد، کرمان، خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان و مناطق جنوب یک شبکه خورشیدی گسترده ایجاد کند. ترکیب گاز + خورشیدی به‌عنوان «سیستم انرژی ترکیبی» می‌تواند هم به امنیت انرژی و هم به کاهش انتشار کمک کند.

۵. بهینه‌سازی مصرف و ارتقای راندمان

راهکارهای مؤثر:

- ایجاگزینی تجهیزات فرسوده در شبکه گاز
- ارتقای راندمان نیروگاه‌های گازی به سیکل ترکیبی
- مدیریت هوشمند مصرف خانگی و صنعتی
- بهبود استانداردهای انرژی در ساختمان‌ها و خودروها

۶. دیجیتالی‌سازی شبکه گاز

به‌کارگیری فناوری‌هایی مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا^۱ و سیستم‌های پیش‌نشت گاز می‌تواند هم امنیت شبکه و هم راندمان کلی را افزایش دهد.

۶. چشم‌انداز آینده

با توجه به روند فعلی، می‌توان چند واقعیت مهم درباره آینده گاز ترسیم کرد:

۱. گاز طبیعی تا چند دهه آینده همچنان یکی از منابع اصلی انرژی جهان خواهد بود.
۲. نقش گاز از یک سوخت فسیلی به رکن اصلی زنجیره تولید هیدروژن و سوخت‌های کم‌کربن تغییر خواهد کرد.
۳. ادغام گاز با فناوری‌های CCS، انرژی‌های تجدیدپذیر و دیجیتالی‌سازی شبکه‌ها، بهره‌وری و پایداری آن را افزایش می‌دهد.
۴. کشورهایی که از امروز در توسعه زیرساخت‌های مرتبط با هیدروژن و LNG کم‌کربن سرمایه‌گذاری کنند، بازیگران کلیدی آینده بازار انرژی خواهند بود.

