

هیدروژن رقیب تازه بنزین در جاده‌های جهان



گروه بین‌الملل: سال‌هاست که صنعت خودرو در جست‌وجوی سوختی است که بتواند وابستگی به بنزین و گازوئیل را کاهش دهد، بدون آنکه محدودیت‌های خودروهای برقی باتری‌محور را به مصرف‌کننده تحمیل کند. در این میان، هیدروژن یکی از جدی‌ترین گزینه‌هایی است که خودروسازان بزرگ جهان روی آن سرمایه‌گذاری کرده‌اند؛ سوختی که در نقطه مصرف، آلایندگی اگروری بسیار ناچیزی دارد و در خودروهای سلول سوختی، عملاً برق مورد نیاز موتور را در داخل خود خودرو تولید می‌کند.

اما یک سؤال مهم همچنان پابرجاست؛ آیا خودروهای هیدروژنی واقعاً آماده جایگزینی بنزین هستند؟ پاسخ در سال ۲۰۲۶ چندان ساده نیست. فناوری خودروهای هیدروژنی به مرحله تولید تجاری رسیده و مدل‌هایی مانند تویوتا میرای و هیوندای نکسو سال‌هاست در خیابان‌های برخی کشورها تردد می‌کنند. حتی نسل جدید نکسو می‌تواند با حدود پنج دقیقه سوخت‌گیری، بردی تا حدود ۸۲۶ کیلومتر داشته باشد.

با این حال، تعداد خودروهای هیدروژنی در مقایسه با خودروهای بنزینی و حتی خودروهای برقی باتری‌محور بسیار ناچیز است. آژانس بین‌المللی انرژی اعلام کرده موجودی خودروهای سلول سوختی جهان در پایان ۲۰۲۵ به نزدیک ۱۳۰ هزار دستگاه رسیده است؛ در حالی که فروش خودروهای برقی باتری‌محور و هیبریدی شارژی در سال ۲۰۲۵ از ۲۰ میلیون دستگاه عبور کرده است. بنابراین هیدروژن امروز یک فناوری واقعی است، اما هنوز یک جایگزین عمومی و گسترده برای بنزین محسوب نمی‌شود.

خودروهای هیدروژنی دقیقاً چگونه کار می‌کنند؟

در واقع، راننده خودروی هیدروژنی با یک موتور الکتریکی رانندگی می‌کند، اما برخلاف خودروی برقی معمولی، برای تأمین انرژی الزاماً نیازی به اتصال خودرو به شبکه برق ندارد.

این ویژگی باعث شده خودروهای سلول سوختی در میانه دو فناوری قرار بگیرند؛ از نظر قوای محرکه برقی هستند، اما از نظر روش تأمین انرژی، به سوخت مایع و جایگاه سوخت شبیه‌ترند.

مزیت بزرگ هیدروژن؛ سوخت‌گیری در چند دقیقه
یکی از مهم‌ترین نقاط قوت هیدروژن در مقایسه با خودروهای برقی باتری‌محور، زمان سوخت‌گیری است.

یک خودروی برقی ممکن است بسته به نوع خودرو، شارژر و ظرفیت باتری از چند ده دقیقه تا چند ساعت برای شارژ کامل یا قابل‌استفاده نیاز داشته باشد. در مقابل، مخزن هیدروژن

کامیون هیدروژنی؛ گزینه‌ای جدی برای حمل‌ونقل سنگین

انرژی اعلام کرده هزینه مالکیت کامیون‌های سلول سوختی در چین در سال ۲۰۲۴ همچنان حدود ۳۵ درصد بالاتر از کامیون‌های دیزلی بوده که عمدتاً به هزینه بالاتر سوخت و زیرساخت هیدروژن مربوط می‌شود.

هیدروژن سبز؛ شرط مهم برای پاک بودن خودرو

یکی از بزرگ‌ترین سوءتفاهم‌ها درباره خودروهای هیدروژنی این است که تصور کنیم هر خودروی هیدروژنی الزاماً یک خودروی کاملاً سبز است. خودرو هنگام حرکت، آب تولید می‌کند؛ اما مسئله اصلی، نحوه تولید خود هیدروژن است.

امروز بخش عمده هیدروژن جهان همچنان از سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود. آژانس بین‌المللی انرژی می‌گوید تقاضای جهانی هیدروژن در سال ۲۰۲۴ تقریباً به ۱۰۰ میلیون تن

چرا ایران می‌تواند در هیدروژن مزیت داشته باشد؟

که ابتدا تولید، ذخیره‌سازی، انتقال و مصرف صنعتی هیدروژن توسعه پیدا کند و پس از شکل‌گیری زیرساخت، بخش حمل‌ونقل نیز به تدریج وارد این زنجیره شود.

آیا خودروی هیدروژنی در ایران می‌تواند جایگزین خودرو بنزینی شود؟

در شرایط فعلی، بسیار بعید است که خودروی هیدروژنی در ایران جایگزین خودروی بنزینی شود. اولین مشکل، نبود شبکه عمومی جایگاه هیدروژن در مقیاس مورد نیاز است. بدون جایگاه، حتی بهترین خودروی هیدروژنی نیز کاربرد روزمره محدودی خواهد داشت.

دومین مسئله، هزینه ساخت این زیرساخت است. جایگاه

بهترین نقطه شروع ایران کجاست؟

یک یا چند مرکز سوخت‌رسانی هیدروژن می‌تواند توجیه بیشتری داشته باشد. به همین دلیل، تجربه کشورهای پیشرو نیز نشان می‌دهد که آینده هیدروژن احتمالاً بیشتر از مسیر ناوگان‌های تجاری و حمل‌ونقل سنگین خواهد گذشت.

هیدروژن رقیب بنزین است یا مکمل برق؟

شاید دقیق‌ترین توصیف برای آینده هیدروژن این باشد که این فناوری الزاماً قرار نیست جای همه خودروهای بنزینی را بگیرد. در دنیای حمل‌ونقل آینده، رقابت میان بنزین و هیدروژن به‌تنهایی مطرح نیست. رقابت اصلی میان مجموعه‌ای از فناوری‌هاست. خودروهای باتری‌محور در حال حاضر با سرعت بسیار زیادی در حال

یک خودروی سلول سوختی را می‌توان در زمانی نزدیک به سوخت‌گیری یک خودرو معمولی پر کرد. نسل جدید هیوندای نکسو برای سوخت‌گیری هیدروژن حدود پنج دقیقه زمان اعلام می‌کند و برد آن در استاندارد WLTP تا ۸۲۶ کیلومتر است. این خودرو می‌تواند تا ۶۶۹ کیلوگرم هیدروژن ذخیره کند.

تویوتا نیز برای مدل ۲۰۲۶ میرای، برد رسمی EPA معادل ۴۰۲ مایل، یعنی حدود ۶۴۷ کیلومتر، اعلام کرده است. این خودرو ۱۸۲ اسب‌بخار قدرت دارد و انرژی مورد نیاز موتور را از سامانه سلول سوختی تأمین می‌کند.

این اعداد نشان می‌دهند که از نظر فنی، هیدروژن دیگر یک فناوری آزمایشگاهی نیست. خودروهایی با برد بالا و زمان سوخت‌گیری کوتاه هم‌اکنون در بازار وجود دارند.

رسید، اما هیدروژن کم‌انتشار همچنان کمتر از یک درصد تولید جهانی را تشکیل می‌دهد.

اگر هیدروژن با استفاده از گاز طبیعی یا زغال‌سنگ و بدون کنترل مناسب انتشار کربن تولید شود، بخش قابل توجهی از مزیت زیست‌محیطی آن از بین می‌رود.

در مقابل، هیدروژن سبز از طریق الکترولیز آب و با استفاده از برق حاصل از منابع تجدیدپذیر تولید می‌شود. در این حالت، می‌توان زنجیره‌ای بسیار کم‌کربن‌تر از تولید هیدروژن تا حرکت خودرو ایجاد کرد.

بنابراین خودروی هیدروژنی به خودی خود به معنای خودروی بدون کربن نیست؛ کیفیت انرژی مورد استفاده برای تولید هیدروژن نیز اهمیت دارد.

هیدروژن از نظر تجهیزات با یک جایگاه بنزین معمولی تفاوت جدی دارد و نیازمند سرمایه‌گذاری، استانداردهای ایمنی و زنجیره تأمین تخصصی است.

سومین مشکل، قیمت خود خودرو و تجهیزات سلول سوختی است. اگرچه فناوری در حال پیشرفت است، اما در مقیاس جهانی نیز خودروهای هیدروژنی هنوز از نظر اقتصادی با خودروهای برقی باتری‌محور رقابت آسانی ندارند.

چهارمین مسئله نیز تولید هیدروژن است. اگر هیدروژن مورد نیاز از منابع فسیلی و با انتشار بالا تولید شود، بخش قابل توجهی از مزیت زیست‌محیطی طرح از بین خواهد رفت.

توسعه هستند و زیرساخت شارژ آنها نیز با سرعت بالایی گسترش می‌یابد. در مقابل، هیدروژن مزیت‌هایی مانند سوخت‌گیری سریع و مناسب بودن برای برخی کاربردهای سنگین دارد.

آژانس بین‌المللی انرژی نیز در چشم‌انداز حمل‌ونقل جاده‌ای، سهم هیدروژن را در مقایسه با برق محدودتر می‌داند؛ در یکی از سناریوهای مسیر تحول، سهم هیدروژن از انرژی حمل‌ونقل جاده‌ای در سال ۲۰۵۰ حدود ۱۶ درصد در نظر گرفته شده، در حالی که سهم برق بسیار بالاتر است. این ارقام نشان می‌دهد حتی در سناریوهای بلندمدت، قرار نیست هیدروژن لزوماً همه بازار خودرو را تصاحب کند.

سخن پایانی

ناوگان‌های مشخص است. در نهایت، آینده خودرو احتمالاً تک‌سوختی نخواهد بود. بنزین، برق، گاز، سوخت‌های زیستی و هیدروژن هر کدام ممکن است در بخشی از بازار باقی بمانند. پرسش اصلی برای ایران نیز دیگر این نیست که «هیدروژن جای بنزین را می‌گیرد یا نه»، بلکه این است که کشور چگونه می‌تواند از هیدروژن به‌عنوان یکی از ابزارهای کاهش مصرف سوخت فسیلی و توسعه حمل‌ونقل آینده استفاده کند.

چرا خودروهای هیدروژنی فراگیر نشده‌اند؟

اینجا مهم‌ترین مشکل هیدروژن مشخص می‌شود: خودرو به تنهایی کافی نیست. برای آنکه خودروهای هیدروژنی بتوانند جایگزین بنزینی‌ها شوند، باید شبکه گسترده‌ای از جایگاه‌های عرضه هیدروژن ساخته شود. این جایگاه‌ها به تجهیزات ویژه، مخازن فشار بالا، زیرساخت انتقال و استانداردهای ایمنی خاص نیاز دارند. در حالی که یک خودرو بنزینی می‌تواند در هزاران جایگاه در سراسر یک کشور سوخت‌گیری کند، راننده خودروی هیدروژنی فقط در مناطقی می‌تواند با خیال راحت رانندگی کند که شبکه سوخت‌رسانی هیدروژن در آن توسعه یافته باشد. این مشکل حتی در کشورهای پیشرفته نیز یکی از موانع اصلی توسعه خودروهای هیدروژنی بوده است.

آژانس بین‌المللی انرژی در بررسی‌های خود تأکید کرده که در بخش خودروهای سواری، بازار هیدروژن با محدودیت زیرساخت، تعداد کم مدل‌های تجاری و هزینه بالاتر سوخت و خودرو مواجه است. به همین دلیل، روند توسعه این بخش نسبت به خودروهای برقی باتری‌محور کندتر بوده است.

فاصله سنگین هیدروژن با خودروهای برقی

برای درک بهتر وضعیت بازار، کافی است به مقیاس فروش نگاه کنیم. فروش خودروهای برقی در جهان طی سال ۲۰۲۵ از ۲۰ میلیون دستگاه عبور کرد و سهم آنها از فروش خودروهای جدید به حدود ۲۵ درصد رسید. در مقابل، کل موجودی خودروهای سلول سوختی در جهان، شامل خودروهای سواری، اتوبوس‌ها و کامیون‌ها، در پایان ۲۰۲۵ به حدود ۱۳۰ هزار دستگاه رسید.

این اختلاف به روشنی نشان می‌دهد که هیدروژن فعلاً رقیب مستقیم خودروهای برقی باتری‌محور در بازار انبوه نیست.

حتی وضعیت فروش برخی مدل‌های معروف هیدروژنی نیز این مسئله را تأیید می‌کند. برای نمونه، فروش جهانی تویوتا میرای در سال ۲۰۲۴ کمتر از ۲ هزار دستگاه گزارش شده بود.

در نتیجه، اگر قرار باشد امروز درباره جایگزینی بنزین با هیدروژن تصمیم‌گیری شود، پاسخ برای خودروهای شخصی این است که چنین جایگزینی هنوز در مقیاس گسترده اقتصادی و زیرساختی امکان‌پذیر نیست.

آیا هیدروژن می‌تواند جای بنزین را بگیرد؟

اگر منظور از جایگزینی هیدروژن با بنزین، حذف گسترده بنزین از خودروهای سواری در کوتاه‌مدت باشد، پاسخ منفی است. هیدروژن در حال حاضر از نظر تعداد خودرو، قیمت، زیرساخت و حجم بازار فاصله بسیار زیادی با بنزین دارد. حتی در کشورهایی که بیشترین سرمایه‌گذاری را در این حوزه انجام داده‌اند، خودروهای هیدروژنی هنوز بخش بسیار کوچکی از ناوگان را تشکیل می‌دهند. اما اگر منظور، جایگزینی بخشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش‌هایی باشد که برقی‌سازی باتری‌محور دشوارتر است، شرایط کاملاً متفاوت می‌شود.

کامیون‌های سنگین، اتوبوس‌های بین‌شهری، برخی خودروهای ناوگان عمومی و حتی برخی کاربردهای صنعتی می‌توانند بازارهای مناسب‌تری برای هیدروژن باشند. در واقع، احتمال دارد آینده صنعت خودرو به جای انتخاب یک فناوری واحد، ترکیبی از چند فناوری باشد؛ خودروهای برقی باتری‌محور برای بسیاری از خودروهای شهری و سواری، خودروهای هیبریدی برای برخی کاربردها و هیدروژن برای بخشی از حمل‌ونقل سنگین و مسیرهای طولانی.

هیدروژن برای ما چقدر قابل استفاده است؟

اما وقتی بحث به ایران می‌رسد، مسئله شکل متفاوتی پیدا می‌کند. ایران از یک طرف یکی از بزرگ‌ترین دارندگان منابع نفت و گاز جهان است و سال‌ها زیرساخت‌های گسترده‌ای برای تولید و مصرف سوخت‌های فسیلی ایجاد کرده است. از طرف دیگر، کشور ظرفیت قابل توجهی در انرژی خورشیدی و بادی دارد و همین مسئله می‌تواند در صورت سرمایه‌گذاری مناسب، زمینه تولید هیدروژن کم‌کربن را فراهم کند.

یک مطالعه علمی منتشرشده در سال ۲۰۲۶ درباره مسیرهای ورود هیدروژن کم‌کربن به نظام انرژی ایران، ظرفیت سرمایه‌گذاری حدود ۱۲ تا ۱۵ میلیارد دلار برای توسعه ۲۴ تا ۳۲ گیگاوات ظرفیت مرتبط با مسیرهای هیدروژنی را در سناریوهای مورد بررسی مطرح کرده است. این اعداد به معنای وجود چنین ظرفیتی بالفعل در ایران نیست؛ بلکه نشان می‌دهد از منظر مطالعات انرژی، هیدروژن می‌تواند در بلندمدت بخشی از مسیر تحول انرژی کشور باشد.

خودروهای هیدروژنی امروز دیگر که رؤیای علمی تخیلی نیستند. خودروهایی مانند تویوتا میرای و هیوندای نکسو با برد چندصد کیلومتری و سوخت‌گیری چنددقیقه‌ای، ثابت کرده‌اند که فناوری سلول سوختی از نظر فنی می‌تواند یک خودروی واقعی و قابل استفاده بسازد. اما میان امکان فنی و جایگزینی گسترده بنزین فاصله زیادی وجود دارد. در سال ۲۰۲۶، هیدروژن هنوز برای جایگزینی عمومی بنزین در