

نقش انرژی هیدروژنی در دستیابی به توسعه پایدار

مولود شیوا، بهار ضرابی

سازمان انرژیهای نو ایران

خلاصه

انرژی به عنوان عنصر اصلی فعالیتهای اقتصادی، تولید و ارائه خدمات مطرح می‌باشد، بنابراین توسعه پایدار توسط سیستم‌های تولید انرژی که بازده بالاتر و قیمت و آلاینده‌گی کمتری دارند ایجاد می‌گردد. در این راستا اقتصاد پایدار باعث افزایش تولیدات باصرفه اقتصادی و مشارکت افراد بیشتر در توسعه شده و عدم محدودیت منابع تولید در کوتاه‌مدت و آلاینده‌گی در درازمدت را به همراه دارد. در ابتدا بشر از چوب و زغال‌سنگ برای تولید انرژی استفاده می‌نمود اما با کاهش منابع جنگلی و افزایش درخواست انرژی و بوجود آمدن محدودیت‌های اکو - انرژی (محدودیت‌های اقتصادی و زیست محیطی)، نفت جایگزین چوب و زغال‌سنگ گردید. اما پس از مدتی این منبع انرژی نیز با محدودیت‌های اکو - انرژی از جمله افزایش تورم، بحران‌های منطقه‌ای و آلودگی جهانی مواجه شد. بنابراین بار دیگر سیر تکاملی انرژی باعث حرکت به سمت انرژی پاک‌تر با ماهیت شیمیایی ساده‌تر و بازده بیشتر یعنی گاز طبیعی گردید. با توجه به روند فوق بشر از سمت سوخته‌های جامد (چوب و زغال‌سنگ) به سمت سوخته‌های گازی حرکت نموده و اکنون در عصر انرژی گازی قرار دارد. این عصر از مصرف متان آغاز شده و در نهایت به سوخته‌های بدون کربن (هیدروژن) ختم می‌شود. از دلایل برتری هیدروژن می‌توان به برگشت پذیر بودن چرخه تولید، عدم تولید CO_2 و کاهش اثر گلخانه‌ای و برتری تکنیکی و زیست محیطی آن نسبت به سایر سوخته‌ها که با استفاده از اندیسهای کیفیت، اشتعال و انفجار مورد بررسی قرار گرفته است، اشاره نمود. بنابراین با توجه به نکات مثبت زیست محیطی، اقتصادی و قوانین وضع شده (مالیات بر کربن، برچسب‌های آلاینده‌گی و اجباری شدن تولید ماشین‌های بدون نشر آلاینده) جهان امروز به سمت توسعه پایدار با استفاده از انرژی هیدروژنی سوق داده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: توسعه پایدار، اقتصاد هیدروژن، اثرات زیست محیطی، انرژی

مقدمه

استفاده از انرژی در پیشرفت تمدن امری طبیعی و اساسی است و به عنوان یک پایه برای حیات مطرح می‌باشد. انرژی به عنوان یک عنصر اصلی برای هر فعالیت اقتصادی لازم است و چنانچه افزایش مصرف انرژی در راستای کمک به بالا رفتن مرتبه رشد اقتصادی که باعث ایجاد استانداردهای بالاتر زندگی و کیفیت بهتر زندگی برای جمعیت رو به رشد جهانی باشد، مفید بوده و هر کجا که استفاده از انرژی باعث محدود کردن رشد اقتصادی و کیفیت زندگی گردد، مضر محسوب می‌شود. به عبارت دیگر هنگامی که افزایش استفاده از انرژی همراه با محدودیت‌های "اکولوژی" باشد رشد را محدود می‌کند زیرا در این حالت منابع طبیعی و رشد اقتصادی ناپایدار است.

۱- دیدگاه اکوانرژی

مفهوم اکوانرژی در واقع از مباحث اقتصاد و محیط زیست ناشی می‌شود که سیستم‌های مختلف انرژی را از جهات اقتصادی و محیط زیستی بررسی و مقایسه می‌کند. محدودیت‌های اکوانرژی که در این مقاله بدان اشاره می‌گردد شامل محدودیت‌های زیست محیطی که باعث پایین آمدن استانداردهای زندگی می‌شود، می‌باشد. محدودیت‌های سیاسی که در واقع باعث بحرانی‌های منطقه‌ای می‌شوند نیز به عنوان زیرمجموعه‌ای از محدودیت‌های اکوانرژی به حساب می‌آیند. نیاز قرن بیست و یکم پایدار شدن است. این مفهوم پایداری شامل نرخ پایدار افزایش جمعیت، پایداری مصرف انرژی و اقتصاد پایدار می‌باشد.

توسعه پایدار با اقتصاد پایدار معنی می‌یابد و اقتصاد پایدار باید توسط سیستم‌های انرژی که بازده بیشتر و قیمت پایین‌تر دارند و همچنین پاکیزه هستند یعنی سیستم‌های انرژی که اقتصادی‌تر و قابل رقابت‌تر با سایر انرژیها بوده و افراد بیشتری را به کار گرفته و باعث کاهش اثرات نامطلوب زیست محیطی می‌گردند، تأمین شود.

در جهان امروز با نرخ افزایش جمعیت بالا، رشد اقتصاد پایدار فقط از طریق دسترسی به سیستم‌های انرژی که بتواند به محدودیت‌های سایر انرژیها فائق آید امکان‌پذیر است و نکته قابل توجه اینجاست که بشر در راه رسیدن به چنین هدفی است، اما نکته منفی پراکنده بودن فعالیت روی این موضوع و مقاومت‌های سیاسی و اقتصادی بسیار زیاد در راه آسان‌سازی این گذر انرژی مفید جهانی است.

گذر از یک انرژی به نوع دیگر آن همواره همراه با یک سابقه تاریخی و مفاهیم جدانشدنی اقتصاد و محیط زیست (اکوانرژی) قابل بررسی است. برای شناخت محدودیت‌های سایر منابع انرژی لازم است تا دو مورد فوق‌الذکر در مورد آنها بررسی گردد.

۱-۱- تاریخچه و محدودیتهای اکوانرژی

اولین بار استفاده از انرژی با استفاده از چوب رونق گرفت و در ابتدا اقتصاد چوب پایدار به نظر می‌رسید چون منابع جنگلی فراوان بودند و جمعیت جهانی نیز نسبتاً کم بود. اما هنگامی که تکنولوژی پیشرفت نمود و درخواست انرژی برای صنعت ذوب آهن و سایر صنایع افزایش یافت، جنگلها رو به نابودی گذاشت و قیمت چوب افزایش یافت. در واقع رشد اقتصادی با توجه به عدم دسترسی بودن منابع و افزایش قیمت محدود گردید.

در این زمان بشر اندیشه دیگری در راستای تکنولوژی استفاده از انرژی با بازده بیشتر را با ارائه زغالسنگ، ابداع نمود. این گذر انرژی باعث پیشرفت‌هایی شد. در این سالها لوکوموتیو و موتورهای جدیدی که بتوانند از این سوخت جدید استفاده نمایند ساخته شد. بنابراین در قرن ۱۹ منبع انرژی دیگری که مؤثرتر از چوب بود معرفی گردید و باعث بوجود آمدن یک رشد اقتصادی که افراد بیشتری از آن بهره می‌بردند گردید. این پیشرفت به همراه بازده اقتصادی بیشتر، محصولات متنوع و نیروی کار بیشتر و قیمت پایین محصولات باعث بوجود آمدن انقلاب صنعتی گردید.

پس از گذشت زمان، انقلاب صنعتی باعث پایین آمدن سطح کیفی زندگی عده زیادی از مردم گردید. محدودیتهای اکوانرژی زغالسنگ به شرح زیر مطرح شد:

۱- محدود شدن رشد اقتصاد

۲- بوجود آمدن ابرقدرتهای اقتصادی

۳- قیمت بالا نسبت به میزان آلاینده‌گی

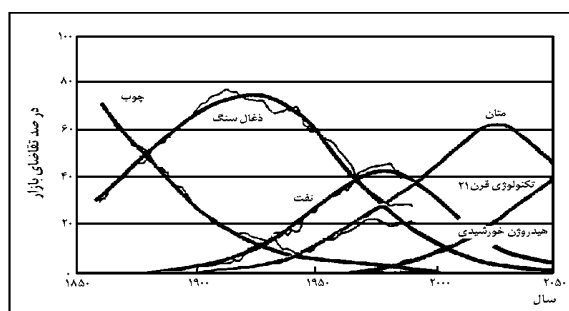
۴- پایین آمدن کارآیی نیروی کار (در اثر آلودگی هوا)

با محدودیتهای فوق مفهوم پایداری اقتصاد زغالسنگ زیر سؤال رفت. بنابراین تکنولوژی جدید یکبار دیگر یک گذر انرژی را تجربه نمود و به سمت سوخت پیشرفته‌تر بعدی متوجه گردید و نفت به عنوان یک سوخت جدید به سمت اقتصادی شدن حرکت کرد.

نفت با ۷۵٪ کربن، تمیزتر و قابل حمل‌تر بوده و بازده بیشتری نسبت به سوختهای قبلی داشت. بنابراین به تدریج جایگزین سوختهای قبلی گردید. بطور کلی استفاده از انرژی در سیستم‌های اقتصادی، در زیر ساخت‌ها و حتی رفتارهای روزمره افراد نفوذ می‌نماید و از این رو تغییر انرژی به کندی صورت می‌گیرد. اگر چه همیشه مزیت‌های اقتصادی بر مقاومت‌های سیاسی غلبه پیدا می‌کند اما تغییر انرژی آخرین اقدامی است که شامل قانون فوق می‌شود.

در سالهای استفاده از نفت ماشین‌های حفاری، پالایشگاهها و موتورهای احتراق داخلی به عنوان بخشی از انقلاب نفت توسعه و کاربرد می‌یابند و یک بار دیگر یک گذر انرژی به سمت انرژی ارزانتر با بازده بیشتر که در آن کارآیی افراد بالاتر بوده و قیمت خدمات را می‌کاهد و جمعیت جهان را به سمت یک منبع اقتصادی جدید که کیفیت زندگی را ارتقاء می‌دهد، سوق می‌دهد.

در حالی که از نفت به عنوان انرژی جدید استفاده می‌گردد، سیر تحقیقات برای گذر از سیستم‌های انرژی آلوده‌ساز و مشکل‌سازتر به سمت سوخت‌های پاک‌تر که از نظر شیمیایی ساده‌تر و از نظر اقتصادی پایدارتر باشند ادامه می‌یابد. (در شکل (۱) مشاهده می‌شود که هم‌زمان با به کارگیری نفت استفاده از گاز طبیعی نیز مشاهده می‌شود).



شکل ۱- جایگزینی انرژی‌های جهانی

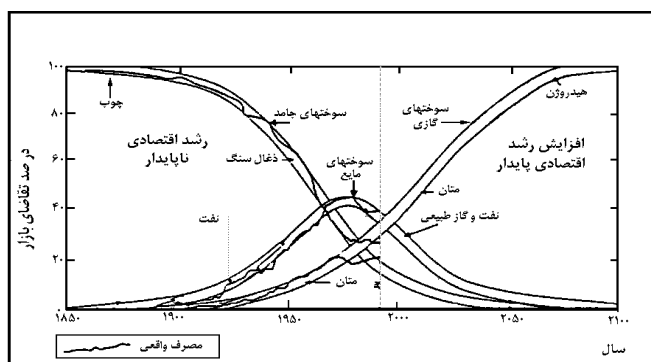
همانند انرژی‌های قبلی با رایج شدن و استفاده زیاد از نفت محدودیت‌های اکوانرژی باعث کاهش سطح زندگی و محدود کردن رشد اقتصادی شد.

محدودیت‌های اکوانرژی نفت در طول چند دهه گذشته به شرح زیر است:

- ۱- افزایش ناگهانی و شدید تورم
- ۲- نیاز به دلارهای نفتی قابل برگشت که باعث انتقال بحران به کشورهای توسعه نیافته گردید.
- ۳- جنگ خلیج فارس و سایر استراتژی‌های سیاسی و جنگی وابسته به نفت که باعث کسر بودجه‌های مکرر کشورها گردید.
- ۴- آلودگی جهانی دریاها و هوای اکثر شهرها به ویژه شهرهای بزرگ

بنابراین محدودیت‌های اکوانرژی نفت باعث یک گذر دیگر انرژی به سمت انرژی پاک‌تر با ماهیت شیمیایی ساده‌تر، بازده بیشتر یعنی گاز طبیعی دارای منابع کمیاب و رو به کاهش است اما در واقع این نفت بود که رو به کاهش داشت و گاز طبیعی با سرعتی که به مراتب بیش از سایر سوختها بود رشد کرد و ثابت گردید که منابع گاز طبیعی اکتشاف شده هماهنگ با سرعت کاربرد وسیعشان، توسعه می‌یابند. در واقع ما از سوخت چوب و زغال سنگ با ۱۰۰٪ کربن و احتراق آلوده و تکنولوژی متمرکز به سمت نفت با ۷۵٪ کربن که مایع است و حمل و نقل ساده‌ای دارد و سپس به سمت گاز طبیعی با ۵۰٪ کربن و احتراق پاک‌تر و تکنولوژی غیربومی و با سرمایه متمرکز حرکت

کرده‌ایم و طبیعی است که جهت توسعه سریع‌تر توجه بیشتری به آن معطوف گردد. در این سالها کاربرد گاز طبیعی برای تولید الکتریسیته در توربین‌های گازی و پیل‌های سوختی، استفاده از آن به عنوان سوخت ماشین‌ها، کاربرد در منازل ترویج شده است. گذر از نفت به گاز طبیعی از سایر گذرهای قبلی اساسی‌تر بود و برای جمعیت جهان پایداری اقتصادی بیشتر و کیفیت بهتر زندگی را به ارمغان آورد. زیرا با توجه به پاکیزگی نسبی و فراوانی گاز طبیعی اقتصاد آن پایدارتر به نظر می‌رسد. گذر از انرژی چوب به زغال‌سنگ و از آن به نفت و از نفت به گاز طبیعی چرخه‌های کوتاه‌مدتی هستند، هرچند که هرکدام از آنها حدود ۶۰ سال به طول انجامیده‌اند اما نسبت به جریان نسلها این زمان را می‌توان کوتاه انگاشت. در واقع در طول زمان از نقطه‌نظر سیاسی، اقتصادی و زیست محیطی یا در واقع دستگاه اکوانرژی، بشر همواره نیازمند یک منبع بزرگتر، ساده‌تر و قابل استفاده در زمانهای طولانی‌تر بوده است و بطور کلی می‌توان این چرخه را گذر از سوختهای جامد به سوی سوختهای گازی نامید. در واقع ما دو نوع سوخت را در نظر می‌گیریم: سوختهای جامد و سوختهای گازی و سوختهای مایع به عنوان یک حد واسط در این روند قرار می‌گیرند. زیرا نفت هرگز بیشتر از ۴۵٪ به بازار جهانی راه نیافته است در حالی که چوب و زغال‌سنگ به عنوان سوخت جامد ۹۰٪ فروش جهانی را داشته‌اند و پیش‌بینی می‌شود که سوختهای گازی نیز به مرز ۹۰٪ نزدیک شوند. (شکل ۲)



شکل ۲- گذر سیستمهای انرژی جهانی (بیانگر عصر انرژی‌های گازی)

عصر حاضر "عصر انرژیهای گازی" نامیده می‌شود و مدت زمانی است که از مصرف متان آغاز شده و در نهایت به سوختهای بدون کربن (هیدروژن) که پاکیزه‌ترین و ساده‌ترین سوخت شیمیایی است ختم خواهد شد [۱].

در این عصر برای اولین بار در زمانی طولانی، بشر رشد اقتصاد پایدار را بدون هیچ محدودیتی برای افزایش رشد اقتصادی، بدون بحران‌های جنگی و اقتصادی و بدون آلودگی‌های محیطی، تجربه می‌کند و از این رو جنبه انسانی این عصر نیز قابل توجه می‌باشد. در گذر از متان به هیدروژن بشر با انقلاب اطلاعاتی نیز همراه شده است که همگامی این توسعه اقتصادی و انقلاب اطلاعاتی باعث حل شدن مشکلات تکنولوژیکی و در نتیجه بالا رفتن سطح تحصیلات افراد به اضافه افزایش کیفیت زندگی آنها گردیده است [۳].

۲- مقایسه فنی و زیست محیطی انواع سوختها

در این بخش جهت بررسی انواع سوختها جداول و اندیسهایی معرفی می‌شوند که معیاری برای مقایسه انواع سوختها می‌باشند. جدول (۱) نشان‌دهنده غلظت آلاینده‌های حاصل از احتراق (در شرایط استاندارد) یک کیلوگرم زغال‌سنگ، متان، بنزین و هیدروژن می‌باشد. خواص ترموفیزیکی این سوختها در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۱- کمیت مواد آلاینده در محصولات احتراق

سوخت / Kg مقدار آلاینده بر حسب Kg						سوخت	
Pb(c ₂ H ₅) ₄	آب	غبار و مواد غیر قابل اشتعال	NO _x	SO ₂	CO ₂	فرمول	
۰	۰/۶۳۳	۰/۱	۰/۰۰۸	۰/۰۱۲	۱/۸۹۳	C	A
۰/۰۰۱	۱/۲۵۴	۰	۰/۰۰۷۵	۰/۰۳	۲/۷۵	CH ₄	b
۰	۲/۱۵۴	۰/۸۵	۰/۰۱۱۵	۰/۰۱۰	۳/۰۹	C ₈ H ₁₇	C
۰	۷	۰	۰/۰۱۶	۰	۰	H ₂	D
۶	۵	۴	۳	۲	۱		

جدول ۲- خواص ترموفیزیکی انواع سوخت

سرعت شعله U	دمای احتراق T _c	دما در نقطه Flash T ₀	حجم ویژه	توان حرارتی P _{ci}	حرارت ویژه C _p	سوخت و وزن مولکولی
۰/۴۰	۲۰۰۰	۶۰۹	V ^{'''} = ۰/۸ V ^{''} = ۰/۰۰۶	۷۶۲۰	۰/۳۰	C (12)
۰/۳۵	۱۷۴۵	۶۳۲	V ^{'''} = ۱/۴ V ^{''} = ۰/۰۰۶۲	۱۱۹۰۰	۰/۵۳۱	CH ₄ (16)
۲۵	۳۵۰۰	۵۵۰	V ^{'''} = ۰/۲۳۶ V ^{''} = ۰/۰۱۲	۱۰۴۰۰	۰/۵۳۰	C ₈ H ₁₇ (113)
۲/۶۵	۲۳۳۲	۵۷۱	V ^{'''} = ۱۱/۲ V ^{''} = ۰/۰۳۲۲	۲۵۰۰۰	۳/۴۰۸	H ₂ (2)

۲-۱- اندیسهای کیفیت

براساس اطلاعاتی که در جداول (۱) و (۲) آورده شده است می‌توان اندیسهایی را برای آلودگی، اشتعال پذیری و انبساط پذیری (Expansion) تعریف نمود و سوختهای مختلف را با هم مقایسه نمود.

۲-۲- اندیسهای آلودگی (براساس آلودگی ایجاد شده در اثر واکنشهای استاندارد)

این اندیسها به صورت زیر تعریف می‌شوند.

$$i_{jk} = \left(1 - \frac{X_{jk}}{P_{ci} (C_p T_0)^{-1}}\right)_j \quad \text{فرمول (۱)}$$

که $J = a \rightarrow d$ نشاندهنده نوع سوخت است

$K = 1 \rightarrow 6$ نشاندهنده نوع آلاینده است

$$i_{C6} = \left(1 - \frac{X_{C6}}{P_{ci} (C_p T_0)^{-1}}\right)_6 = 0/999$$

پارامتر i_{C6}^* بیان کننده نسبت i_{C6} به حداکثر مقدار سوخت است. با توجه به مثال فوق مشاهده می‌شود:

$$i_{C6}^* = \frac{i_{C6}}{1} = \frac{0/999}{1} = 0/999$$

۲-۳- اندیسهای اشتعال پذیری (براساس خطراتی که به وسیله سوخت وقتی که به دمای احتراقش

می‌رسد به وجود می‌آید تعریف شده‌اند) این اندیسها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$i_{JT} = 1 - \left(\frac{T_c - T_0}{T_c}\right)_j \quad \text{فرمول (۲)}$$

۲-۴- اندیسهای انبساط پذیری (براساس افزایش در حجم سوخت وقتی از حالت مایع و یا گاز

تحت فشار به حالت نرمال بر می‌گردد.) این اندیسها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$i_{jV} = 1 - \left(\frac{v''' - v''}{v'''}\right)_j \quad \text{فرمول (۳)}$$

قابل توجه است که همه اندیسهایی که به این ترتیب تعریف می‌شوند مقدارشان کمتر از واحد است. این مقدار براساس بالاترین کیفیت سوخت می‌باشد. مقادیر متعادل شده با استفاده از

$$i^* = i/i \max$$

نسبت مقدار واقعی و مقدار ماکزیمم بدست می‌آید یعنی i^* برای مقایسه بین انواع سوختها از اندیسهای ضربی متعادل شده استفاده می‌شود.

این اندیسها به صورت زیر تعریف می‌شوند و به نام اندیسهای جهانی معروف هستند.

$$i_{G1}^* = \pi i_{jk}^* \quad (\text{با یا بدون } H_2O) \quad \text{فرمول (۴)}$$

$$i_{G2}^* = \pi i_{jv}^* i_{jT}^* i_{c6}^*$$

$$i_{G3}^* = \pi i_{JK}^* \cdot \pi i_{jv}^* i_{jT}^* i_{c6}^*$$

$$i_{G4}^* = \pi i_{jk}^* i_{jT}^* \quad (i_{jK}^* \text{ ندارد})$$

مقادیر عددی اندیسهایی که در بالا آمده در جدول (۳) آورده شده است. با استفاده از این اعداد می‌توان سوختهای مختلف را از لحاظ تکنیکی و زیست محیطی با هیدروژن مقایسه نمود [۴]. (جدول ۳)

جدول ۳- مقایسه انواع سوختها با استفاده از اندیسهای آلودگی، اشتعال پذیری و انبساط پذیری

i_{G4}^*	i_{G3}^*	i_{G2}^*	i_{G1}^*	i_{c6}^*	i_{jv}^*	i_{jT}^*	i_{jK}^*	سوخت
۰/۸۰۰۴	۰/۱۱۵۹ ۰/۱۱۷۶ (ندارد H ₂ O)	۰/۱۲۳۶	۰/۹۳۷۴ ۰/۹۵۱۸ (ندارد H ₂ O)	۱	۰/۱۴۷	۰/۸۴۱	۰/۹۵۴۶ ۰/۹۹۹۷ ۰/۹۹۹۸ ۰/۹۱۴۸	C
۰/۹۲۱۵	۰/۰۷۶۲ ۰/۰۸۱۱ (ندارد H ₂ O)	۰/۰۸۸۰	۰/۸۶۵۵ ۰/۹۲۱۵ (ندارد H ₂ O)	۱	۰/۰۸۸	۱	۰/۹۲۲۵ ۰/۹۹۹۱ ۰/۹۹۹۸ ۱ ۰/۹۳۹۲ ۱	CH ₄
۰/۳۷۹۷	۰/۳۶۶۴ ۰/۳۷۹۶ (ندارد H ₂ O)	۰/۴۳۳۹	۰/۸۳۹۵ ۰/۸۷۴۹ (ندارد H ₂ O)	۰/۹۹۹۹	۱	۰/۴۳۴	۰/۹۰۰۰ ۰/۹۹۹۸ ۰/۹۹۹۷ ۰/۹۷۲۶ ۰/۹۵۹۵ ۱	C ₈ H ₁₇
۰/۶۷۵۱	۰/۰۱۷۵ ۰/۰۳۸۴ (ندارد H ₂ O)	۰/۰۳۸۵	۰/۴۵۴۵ ۰/۹۹۸۷ (ندارد H ₂ O)	۰/۱۷	۰/۰۵۷	۰/۶۷۶	۱ ۱ ۰/۹۹۸۷ ۱ ۰/۴۵۵۱ ۱	H ₂

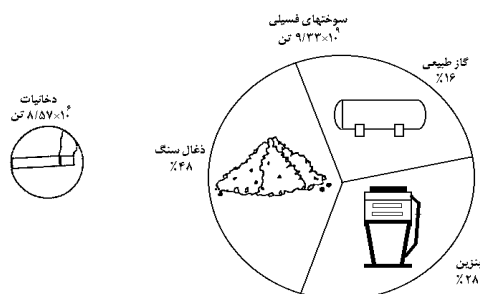
۳- حرکت به سمت هیدروژن

برای بومی سازی و ارتقاء تکنولوژی هیدروژنی و بطورکلی هر تکنولوژی، نیاز به استاندارد است. امروزه سازمانهای استاندارد بین‌المللی جهت تکمیل و ارائه استانداردهای هیدروژنی فعالیت می‌نمایند. شاید با توجه به بازار آزاد فروش جهانی به نظر برسد که چنانچه هیدروژن دارای مزایایی است باید بتواند جایگاه خود را در بازار پیدا کند. اما واقعیت این است که چنانچه سیاست‌گذارها بر پایه از بین بردن محدودیتهای اکوانرژی باشد، آنگاه اقتصاد پایدار هیدروژن مفهوم می‌یابد. زیرا قیمت‌های فعلی بدون در نظر گرفتن قیمت تخریب محیط زیست محاسبه می‌شوند.

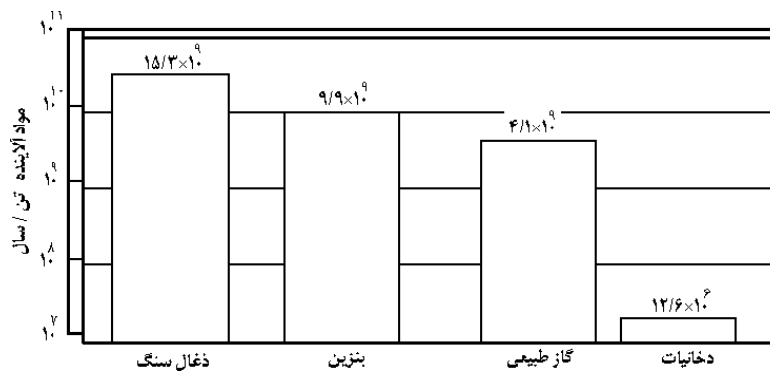
در ابتدا برخی شرکتهای نفت، گاز طبیعی و حتی زغال‌سنگ با حرکت به سمت هیدروژن مخالفت نمودند اما قوانین محدودکننده‌ای که برای سوختهای فسیلی تنظیم شده باعث توجه به هیدروژن شده است.

چند مورد از قوانین محدودکننده به شرح زیر است:

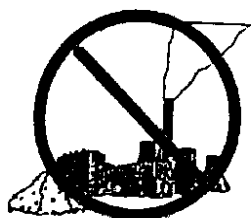
۱- با تحقیقات انجام شده دو نوع منبع آلوده‌کننده و خطرناک برای انسان، محیط زیست و زمین‌شناسایی شده است. تنباکو و سوختهای فسیلی که هر دو بسته به میزان درصد مصرفشان آلودگی و مواد خطرناک و سرطان‌زا تولید می‌نمایند. یکی از قوانین محدودکننده سوختهای فسیلی این است که در سالهای آتی برچسب‌های هشداردهنده مشابه برچسب‌های اعلام خطر سیگار جهت کلیه کاربران سوختهای فسیلی به کار رود. (شکل ۳ و ۴ و ۵)



شکل ۳- مصرف سالانه زغال‌سنگ، بنزین و گاز طبیعی و دخانیات (۱۹۹۵)



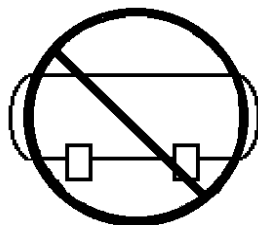
شکل ۴- تولید آلاینده در سال



نیروگاههای سوخت فسیلی



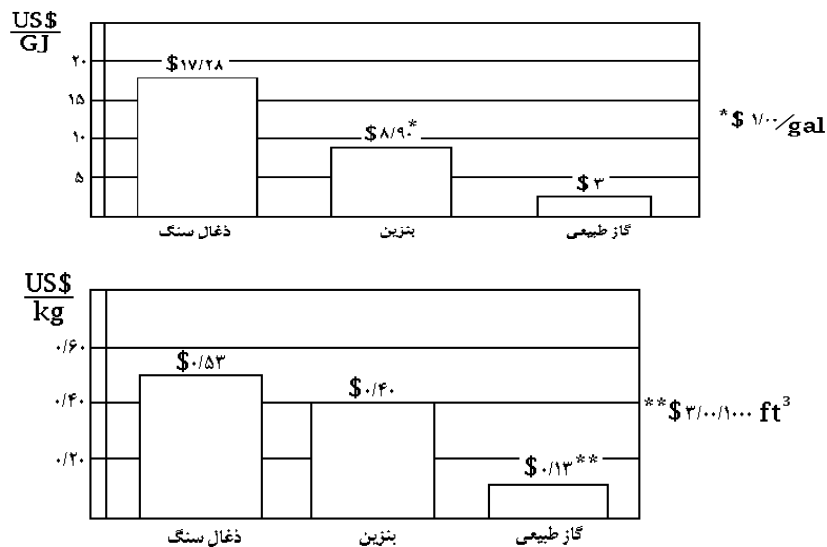
بنزین



گاز طبیعی

شکل ۵- برچسب آلاینده (نشانه‌دهنده خطرناک بودن برای بشر و محیط زیست)

۲- قانون محدودکننده دیگر سوختهای فسیلی، مالیات بر کربن (Carbon Tax) است این مالیات در واقع مقداری از هزینه‌های محیطی را که این آلودگی‌ها به بشر تحمیل می‌کنند تعدیل می‌سازد. (شکل ۶)

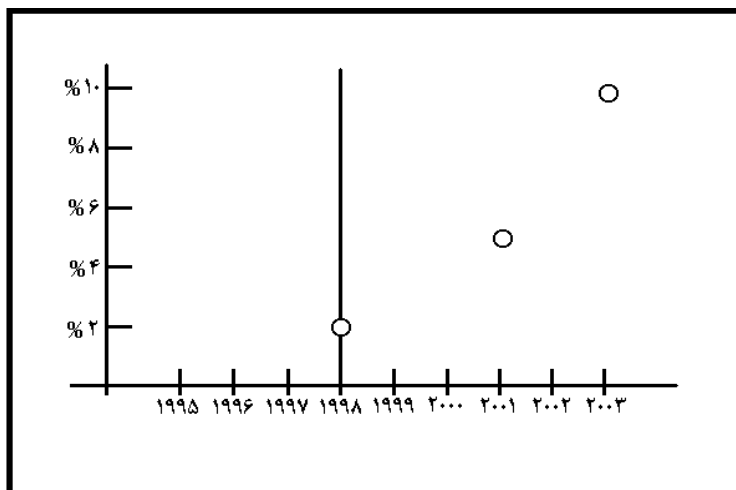


شکل ۶- مالیات بر کربن براساس تخریبهای محیط زیست ناشی از سوزاندن زغال سنگ، بنزین و گاز طبیعی

۳- قانون ZEV (Zero Emission Vehicles) که براساس این قانون بسیاری از کمپانیهای ماشین سازی موظف شده‌اند تا سال ۲۰۰۳، ۱۰٪ ماشین‌های خود را با آلودگی صفر تولید نمایند. (شکل ۷)

سال	ماشینهای تولید شده مطابق قانون Z.E.V
۱۹۹۸	٪۲
۲۰۰۱	٪۵
۲۰۰۳	٪۱۰





شکل ۷- قانون Z.E.V (تولید ماشینهای بدون نشر آلاینده)

۴- قیمت گذاری پایدار

نکته اساسی این است که در یک سیستم انرژی پایدار و اقتصاد پایدار منتج از آن بایستی قیمت گذاری به نحوی باشد که موارد مطروحه زیر را پوشش دهد:

فاز اول: هزینه های اولیه

فاز دوم: هزینه های عملیاتی در طول عمر + قیمت های اولیه = قیمت طول عمر

فاز نهایی: قیمت طول عمر = قیمت گذاری پایدار

+ هزینه تخریب های محیطی

+ جریمه پایان یافتن منابع

+ هزینه نشر تشعشعات

- تشویق جهت تجدیدپذیری منابع

با توجه به مطلب فوق و اهمیت قیمت گذاری صحیح چنانچه تنها قیمت اولیه و قیمت

تخریب محیط زیست را محاسبه نمائیم قیمت هیدروژن نیز کاملاً منطقی می گردد. این موضوع در

جدول (۴) ارائه شده است [۱] و [۲].

جدول ۴- قیمت انواع سوخت با توجه به نوع مصرف

قیمت واقعی (\$/GJ) C=A+B	ضرر به محیط (\$/GJ) B	قیمت نهایی (\$/GJ) A	محل کاربرد	سوخت
۱۵/۳۴	۱۱/۵۰	۳/۸۴	خصوصی	
۱۳/۷۰	۱۱/۵۰	۲/۲۰	صنعت	

۱۳/۶۳	۱۱/۵۰	۲/۱۳	الکتریسیته	زغال سنگ
—	—	—	حمل و نقل	
۲۲/۸۸	۹/۷۱	۱۳/۱۷	خصوصی	بنزین
۱۷/۵۴	۹/۷۱	۷/۸۳	صنعت	
۱۵/۳۵	۹/۷۱	۵/۶۴	الکتریسیته	
۲۰/۰۵	۹/۷۱	۱۰/۳۴	حمل و نقل	
۱۳/۱۶	۴/۷۱	۸/۴۵	خصوصی	متان
۹/۸۰	۴/۷۱	۵/۰۹	صنعت	
۹/۸۳	۴/۷۱	۵/۱۲	الکتریسیته	
—	—	—	حمل و نقل	
۱۵ (۱)	۰	۱۵ (۱)	خصوصی	هیدروژن خورشیدی
۱۲ (۲)	۰	۱۲ (۲)		
۱۵ (۱)	۰	۱۵ (۱)	صنعت	
۱۲ (۲)	۰	۱۲ (۲)		
۱۵ (۱)	۰	۱۵ (۱)	الکتریسیته	
۸/۱۴ (۳)	۰	۸/۱۴ (۳)		
۱۱/۴ (۴)	۰	۱۱/۴ (۴)	حمل و نقل	
۵/۳۶ (۵)	۰	۵/۳۶ (۵)		

- (۱) احتراق با شعله آشکار
 (۲) احتراق کاتالیستی
 (۳) پیل سوختی
 (۴) هیدروژن مایع
 (۵) پیل سوختی (موتورهای برقی)

۵- نتیجه گیری

با توجه به دیدگاه اکوانرژی به این نتیجه می‌رسیم که جهان امروز به سمت سوخت‌های گازی و بویژه کاملترین آنها یعنی هیدروژن سوق داده می‌شود. سوخت هیدروژنی در مقایسه با سایر سوختها باعث انقلاب گردید، زیرا خواص فوق‌العاده‌ای از جمله بازده بالا، بهره‌گیری از منبع تجدیدشونده و سازگار با محیط زیست دارد و محدودیتهای اکوانرژی را در درازمدت نیز به همراه نخواهد داشت.

علاوه بر مزایای مذکور با توجه به جداول این مقاله نتایج زیر بدست می‌آید.

۱- تنها مواد آلاینده در محصول احتراق هیدروژن NO_x و آب هستند که میزان آب تولیدی از آن مجدداً در یک چرخه به هیدروژن قابل تبدیل است و در مقایسه با سایر سوختها که آلاینده‌های NO_x , SO_2 , CO_2 غبار و ترکیبات سربی را تولید می‌نمایند یک سوخت پاکیزه بشمار می‌آید.

۲- با توجه به اندیسه‌های کیفیت ارائه شده مشاهده می‌شود که هیدروژن با $i^*_{G1} = ۰/۹۹۸۷$ از نقطه نظر عدم آلاینده‌گی در مقام اول قرار دارد و این در حالی است که بنزین با $i^*_{G2} = ۰/۸۷۴۹$ آلاینده‌ترین سوخت می‌باشد.

۳- از نقطه نظر اشتعال‌پذیری، سوخته‌های فسیلی ایمنی بیشتری دارند. اما این مسئله با سرعت انتشار کمتر شعله هیدروژن جبران می‌گردد.

۴- تنها نکته‌ای که تا امروز باعث کند شدن حرکت به سمت هیدروژن بوده است مسئله قیمت‌گذاری ناصحیح حامل‌های انرژی است و چنانچه با توجه به مباحث مطرح شده در این مقاله قیمت‌گذاری پایدار و یا حتی تنها هزینه‌های زیست محیطی سایر سوخته‌ها به هزینه تمام شده آنها اضافه گردد، قیمت هیدروژن نیز توجیه منطقی پیدا خواهد کرد.

بنابراین حرکت به سمت هیدروژن در آغاز تمدن خود قرار دارد و رسیدن به اقتصاد و توسعه پایدار هیدروژن بسته به سیاست‌گذاری‌های کلان دارد که در نهایت باعث رسیدن بشر به توسعه پایدار و بهبود کیفیت زندگی خواهد شد.

فهرست علائم

C_p	: گرمای ویژه در فشار ثابت ($K Cal Kg^{-1} ^0C^{-1}$)
i_{jk}	: اندیس آلودگی
i_{jt}	: اندیس اشتعال‌پذیری
i_{iv}	: اندیس انبساط‌پذیری
i_G	: اندیس جهانی
P_{ci}	: پایین‌ترین توان حرارتی سوخت ($K Cal Kg^{-1}$)
T_c	: دمای احتراق (0C)
T_{crit}	: دمای بحرانی (0C)
T_0	: دمای اشتعال سوخته‌ها در شرایط استاندارد (0C)
U	: سرعت شعله
V'''	: حجم ویژه گاز یا بخار در شرایط نرمال (m^3Kg^{-1})
V''	: حجم ویژه مایعات در شرایط بحرانی (m^3Kg^{-1})
X_{jk}	: غلظت جرمی آلاینده در فومهای احتراق (سوخت $Kg Kg^{-1}$)

مراجع

- 1- Robert A. HEFNER III, "Toward Sustainable Economic Growth: The Age of Energy Gases". The GHK Company, Oklahoma City, Ok 73118, U.S.A, 1995.
- 2- David Hart, "The Hydrogen Economy", Norwegian Hydrogen workshop, 2000.
- 3- C. Marchetti and N.Nakicenovic,

“The Dynamics of Energy Systems and the logistic Substitution Model”,
International Institute of Applied Systems Analysis (IIASA), 1998.

4- G. Nicoletti,

“The Hydrogen option for Energy: A Review of Technical,
Environmental and Economic Aspects”, Universita Della Calabria, Italy,
1998.