به‌کارگیری انرژهای نو در چارچوب برنامه استراتژیک و زمان‌بندی شده ملی

دکتر بهرام طاهری*

توجه به انرژی‌های نو در ایران طی چند دهه اخیر بیشتر در حد مطالعه و رصد فعالیت سایر کشورها در این زمینه بوده است، اما در سال‌های اخیر با نصب توربین‌های بادی و نیروگاه خورشیدی استفاده از انرژی‌های نو شکل جدی‌تری به خود گرفته است. اگر چه هنوز شناخت پتانسیل‌های به‌کارگیری از این انرژی‌ها در ایران کامل نیست اما با منطقی شدن قیمت حامل‌های انرژی در ایران امکان استفاده از این انرژی‌ها جدی‌تر از قبل دنبال خواهد شد. اما آنچه ضروری است وجود برنامه‌ای مدون و استراتژیک برای به‌کارگیری منطقی صور مختلف انرژی‌های نو با وجود تنوع و توان بالقوه موجود در کشورمان خواهد بود. رسیدن به سهم مناسب از تأمین انرژی با به‌کارگیری این انرژی‌ها در یک برنامه زمان‌بندی شده دور از انتظار نخواهد بود. در این مقاله ابتدا وضعیت انرژی‌های فسیلی و مصرف آنها در ایران و جهان مرور و در ادامه دسترسی‌پذیری به انرژی‌های نو و مقایسه آنها با منابع انرژی فسیلی دنبال خواهد شد تا بتوان بر اساس آن به چارچوب برنامه‌ای استراتژیک برای توسعه انرژی‌های نو در ایران رسید.

بخش اول

پیش از آنکه به موضوع مبانی تصمیم‌گیری و سیاستگذاری در به‌کارگیری انرژی‌های نو بپردازیم، لازم است مروری کلی بر مبانی انرژی و وضعیت موجود انرژی‌های فسیلی و مصرف آن داشته باشیم.

خورشید اصلی‌ترین منبع تأمین انرژی و انواع مختلف آن است. در این رابطه چرخه ارگانیک طبیعت از عوامل اصلی ذخیره‌سازی و به‌کارگیری انرژی خورشیدی به صورتی کنترل شده است. این امر از توجه به فرمول شیمیایی گلوکز یا قند خون (منبع تأمین انرژی انسان) بیشتر مشخص می‌گردد. اگر از عدد ۶ در فرمول گلوکز $C_6H_{12}O_6$ فاکتور بگیریم، به رابطه شگفت‌انگیز و در عین حال بی‌نهایت ساده (CH_2O) ۶ می‌رسیم. این فرمول بیانگر آن سادگی شگفت‌انگیزی است که خداوند در چرخه کربن و چرخه آب برای ذخیره‌سازی طبیعی انرژی تابشی خورشید توسط عمل فتوسنتز در گیاهان تنظیم نموده است.

گیاهان تنها موجوداتی هستند که انرژی مورد نیاز خود را خودشان تأمین می‌کنند و از این حیث به **Autotroph** یا خود غذاسازها معروفند. دیگر جانوران از طریق تغذیه از گیاهان و یا چرخه‌ای از جانوران که انتهای آن به جانوران گیاهخوار منتهی می‌شود انرژی لازم را برای خود تأمین می‌کنند (**Heterotroph**ها). منشأ تمام انرژی‌های فسیلی فرم‌های کاهش یافته همین انرژی ذخیره شده فتوسنتزی در گیاهان و جانوران است که طی میلیون‌ها سال با تغییر فرم در زیر زمین منابع فسیلی انرژی را برای انسان فراهم آورده است.

واضح است که ضریب تبدیل انرژی تابشی به انرژی ارگانیک در گیاهان صد درصد نیست و انرژی فسیلی که میلیون‌ها سال پس از تبدیل انرژی تابشی به انرژی ارگانیک در اختیار ما قرار می‌گیرد نیز حاوی تمام انرژی ارگانیک تولید شده اولیه نیست. توجه به این مطلب، در رابطه با بررسی جایگاه انرژی خورشیدی به عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع انرژی‌های نو ضروری و کلیدی است.

*-پارک علم و فناوری دانشگاه تهران

فرم‌های دیگر انرژی از جمله انرژی باد که توسط توربین‌های بادی استحصال می‌گردد نیز چیزی جز ذخیره شدن انرژی خورشیدی در اجرام روی زمین از جمله زمین، کوه‌ها، دریا و هوا نیست. ظرفیت‌های متفاوت حرارتی در این اجرام و چرخش زمین به دور خود و ایجاد روز و شب باعث ایجاد لایه‌های با چگالی‌های گوناگون در هوا شده و رانش توده‌های بزرگ هوا و باد را ایجاد می‌کند. بنابر این منشاء انرژی تجدیدپذیر باد نیز چیزی جز خورشید نیست. منشاء انرژی برقابی نیز بخارشدن آب اقیانوس‌ها و دریاها در اثر تابش خورشید، صعود بخار آب به لایه‌های بالای هوا و حرکت آن به همراه هوا و نزول باران و برف، به هنگام صعود هوا به ارتفاعات و یا عبور لایه‌های گرم و مرطوب هوا بر روی جبهه‌های سرد هوا است. آب‌ها و برف‌های نازل شده بر ارتفاعات که انرژی پتانسیل صعود خود را از گرمای خورشید دریافت کرده‌اند در هنگام جاری شدن بر دشت‌ها و دریاها انرژی پتانسیل خود را از دست می‌دهند. استحصال انرژی برقابی توسط زدن سدها یکی از منابع دیگر انرژی‌های تجدیدپذیر محسوب می‌شود. دیده می‌شود که این انرژی نیز ریشه در انرژی خورشیدی دارد. نوع دیگر انرژی، انرژی زمین گرمایی است که در نواحی آتشفشانی ایران مانند منطقه سبلان در استان اردبیل و دیگر نواحی که لایه‌های ماگما به سطح زمین نزدیک است، در صورت فراهم بودن بعضی دیگر از شرایط قابل دسترسی است. انرژی زیست توده نیز چیزی جز استحصال باقیمانده انرژی ارگانیک اولیه ذخیره شده فتوسنتزی توسط گیاهان از ضایعات موجودات و گیاهان تبدیل شده به زباله در محیط بی‌هوازی به صورت گاز متان نیست.

در رابطه با انرژی هسته‌ای که انرژی حاصل از شکست اتمی اورانیوم است باید گفت حجم ذخایر آن در جهان بسیار محدود و بر اساس آمار سال ۲۰۰۹ سازمان جهانی انرژی اتمی معادل ۱۱/۵ میلیون تن است. از آنجا که ایران دارای معادل بزرگ اورانیوم نیست و سهم آن از منابع جهانی نیز بسیار محدود است نهایتاً پس از اتمام ذخایر اورانیوم (همانطور که ذخایر نفت و گاز آن نیز به اتمام خواهند رسید) باید در بلندمدت به فکر تأمین انرژی خود از منابع دیگر جز منابع نفت و گاز و اورانیوم بوده و برنامه بلندمدتی را بر اساس یک مطالعه دقیق با تصمیم‌گیری چند معیاره (**Multi-Criteria Decision Making**) که در آن تمام اولویت‌ها و تمام عوامل فنی، اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و سیاسی به صورت مثبت و منفی با وزن‌های لازم در قالب مطالعات استراتژیک امکان‌سنجی شده باشند، تدوین نماید.

ذکر جمله‌ای از (**Robert Ebel**) از مرکز مطالعات استراتژیک جهان در رابطه با ملاحظات انرژی امریکا بی‌مورد نیست. او می‌گوید: «ایالات متحده آمریکا در رابطه با تأمین منابع انرژی هسته‌ای خود به میزان قابل ملاحظه‌ای وابسته به روسیه است و من فکر نمی‌کنم که بسیاری از آمریکائیان از این مسئله آگاهی دارند.» دقت در چنین عواملی در تدوین استراتژی کلان ملی انرژی هر کشوری ضروری است و توان کنترل پارامترهای تأثیرگذار از پایه‌های اساسی تدوین چنین استراتژی است. لازم به ذکر است که قیمت

اورانیـــوم بین ۹۰ تا ۱۳۰ دلار بر کیلوگرم متغیر اســت و قیمــت آن تا حدود ۳۰۰ دلار بر کیلوگرم در سال ۲۰۰۷ افزایش یافت.

واضح اســت که جایگاه منابع فسیلی و اورانیوم در موارد تولیدات پتروشیمی، محصولات دیگر و تولیدات صلح‌آمیز هسته‌ای نه تنها در ایران بلکه در تمام جهان به قوت خود باقی خواهد ماند و این منابع اهمیت خود را به عنوان سوخت به تدریج و به دلایل عدیده و از جمله محدودیت منابع، علل زیست‌محیطی، سیاسی، اجتماعی و اقتصادی از دست داده و در نیازهای دیگر به کار گرفته خواهند شد.

برای آنکه به جمع‌بندی مناسبی در رابطه با چارچوب‌های منطقی تدوین استراتژی تأمین انرژی کشور در بلندمدت و بر اساس یک سیستم تصمیم‌گیری چند معیاری برسیم لازم اســت به پتانســیل‌ها و نکات مثبت و منفی هر یک از انواع انرژی در ابعاد مختلف ملی و بین‌المللی آن توجه کنیم. در این رابطه نگاهی به پتانسیل تأمین منابع انرژی در ایران و جهان بسیار مناسب خواهد بود. در رابطه با نفت ذخایر اثبات شده در سطح جهانی و سهم درصدی هر کشور به تفکیک در ابتدای سال ۲۰۱۰ به قرار زیر بوده است:

رتبه	نام کشور	حجم ذخایر نفت بر حسب میلیارد بشکه	درصد نسبت به حجم کل ذخایر جهانی
۱	عربستان سعودی	۲۶۴/۶	۱۹
۲	کانادا	۱۷۵/۲	۱۲/۵۸
۳	ایران	۱۳۷/۶	۹/۸۸
۴	عراق	۱۱۵	۸/۲۶
۵	کویت	۱۰۴	۷/۴۷
۶	امارات متحده عربی	۹۷/۸	۷/۰۲
۷	ونزوئلا	۹۷/۸	۷/۰۲
۸	روسیه	۷۴/۲	۵/۳۳
۹	لیبی	۴۷	۳/۳۸
۱۰	نیجریه	۳۷/۵	۲/۶۹
۱۱	قزاقزستان	۳۰	۲/۱۵
۱۲	قطر	۲۵/۴	۱/۸۲
۱۳	چین	۲۰/۴	۱/۴۶
۱۴	آمریکا	۱۹/۱	۱/۳۷
۱۵	آنگولا	۱۳/۵	۰/۹۷
۱۶	الجزایر	۱۳/۴	۰/۹۶
۱۷	برزیل	۱۳/۲	۰/۹۵
۱۸	مکزیک	۱۲/۴	۰/۸۹
۱۹	آذربایجان	۷	۰/۵
۲۰	سودان	۶/۸	۰/۴۹
۲۱	نروژ	۶/۷	۰/۴۸
۲۳	هند	۵/۸	۰/۴۲
۲۶	مصر	۴/۳	۰/۳۱
۳۰	انگلستان	۳/۱	۰/۲۲
	جهان	۱۳۹۲/۵	۱۰۰

مشاهده می‌شود که جایگاه ایران به مزیت نسبی شدید ایران در تملک این منبع فسیلی انرژی اشاره دارد. رتبه سوم جایگاه بسیار قدرتمندی را برای ایران در بازار نفت بین‌المللی و همچنین تأمین انرژی از این منبع ایجاد می‌کند. مجدداً لازم می‌دانم توجه خوانندگان محترم را به منشــاء ایجاد انرژی‌های فســیلی که ناشی از ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی توســط گیاهان و طی فرآیند فتوســنتز اســت جلب نمایم و امیدوارم تا پایان این ســری مقالات این مطلب کماکان مد نظر خوانندگان قرار داشته باشد.

اکنون نگاهی به وضعیت مخازن اثبات شده جهانی گاز و رتبه هر یک از کشورها در این رابطه می‌اندازیم. مجدداً مشــاهده می‌شود که ایران با رتبه دوم جهانی و مالکیت مزید بر ۱۵/۵۷ درصد ذخایر جهانی در ابتدای سال ۲۰۱۰ موقعیتی استراتژیک را در این میدان به خود اختصاص داده است.

رتبه	کشور	حجم ذخایر گاز بر حسب کیلومتر مکعب	درصد نسبت به کل ذخایر جهان
۱	روسیه	۴۷۵۷۰	۲۵/۰۲
۲	ایران	۲۹۶۱۰	۱۵/۵۷
۳	قطر	۲۵۴۷۰	۱۳/۳۹
۴	ترکمنستان	۷۵۰۴	۳/۹۵
۵	عربستان صعودی	۷۴۶۱	۳/۹۲
۶	آمریکا	۶۹۲۸	۳/۶۴
۷	امارات متحده عربی	۶۰۷۱	۳/۱۹
۸	نیجریه	۵۲۴۶	۲/۷۶
۹	ونزوئلا	۴۹۸۳	۲/۶۲
۱۰	الجزایر	۴۵۰۲	۲/۳۷
۱۱	عراق	۳۱۷۰	۱/۶۷
۱۲	استرالیا	۳۱۱۵	۱/۶۴
۱۳	چین	۳۰۳۰	۱/۵۹
۱۴	اندونزی	۳۰۰۱	۱/۵۸
۱۵	قزاقستان	۲۴۰۷	۱/۲۷
۱۶	مالزی	۲۳۵۰	۱/۲۴
۱۷	نروژ	۲۳۱۳	۱/۲۲
۱۸	ازبکستان	۱۸۴۱	۰/۹۷
۱۹	کویت	۱۷۹۸	۰/۹۵
۲۰	کانادا	۱۷۵۴	۰/۹۲
۲۱	مصر	۱۶۵۶	۰/۸۷
۲۲	لیبی	۱۵۳۹	۰/۸۱
۲۵	هند	۱۰۷۵	۰/۵۷
۲۶	آذربایجان	۸۵۰	۰/۴۵
۳۵	برزیل	۳۶۴	۰/۱۹
۳۶	مکزیک	۳۶۰	۰/۱۹
۳۹	انگلستان	۲۹۲	۰/۱۵
۶۳	کره جنوبی	۵۰	۰/۰۳
۷۶	ژاپن	۲۱	۰/۰۱
	جهان	۱۹۰۱۶۳	۱۰۰

اکنون نگاهی به ذخایر اورانیوم جهان می‌اندازیم. آخرین آمار موجود متعلق به سال ۲۰۰۷ اســت که از طریق انجمن جهانــی هســته‌ای (**World Nuclear Association**) منتشر شده است:

رتبه جهانی	نام کشور	وزن ذخایر بر حسب تن	درصد نسبت به کل ذخایر جهان
۱	استرالیا	۱۲۴۳۰۰۰	۲۲/۷۳
۲	قزاقستان	۸۱۷۰۰۰	۱۴/۹۴
۳	روسیه	۵۴۶۰۰۰	۹/۹۸
۴	آفریقای جنوبی	۴۳۵۰۰۰	۷/۹۵
۵	کانادا	۴۲۳۰۰۰	۷/۷۳
۶	آمریکا	۳۴۲۰۰۰	۶/۲۵
۷	برزیل	۲۷۸۰۰۰	۵/۰۸
۸	نامیبیا	۲۷۵۰۰۰	۵/۰۳
۹	نیجریه	۲۷۴۰۰۰	۵/۰۱
۱۰	اوکراین	۲۰۰۰۰۰	۳/۶۶
۱۱	اردن	۱۱۲۰۰۰	۲/۰۵
۱۲	ازبکستان	۱۱۱۰۰۰	۲/۰۳
۱۳	هند	۷۳۰۰۰	۱/۳۳
۱۴	چین	۶۸۰۰۰	۱/۲۴
۱۵	مغولستان	۶۲۰۰۰	۱۳/۱
	بقیه کشورها	۲۱۰۰۰۰	۸۴/۳

مقایسه ارزش انرژی حامل‌های مختلف انرژی نیز مقایسه ارزشمندی خواهد بود:
برای مثال یک بشکه نفت که معادل ۴۲ گالن آمریکایی و یا ۱۵۸/۹۸۷۳ لیتر نفت است. وقتی که به عنوان ســوخت مورد اســتفاده قرار گیرد (بر اساس محاسبات **IRS** آمریکا) معادل ۵/۸(۱۰)[۶] بی تی یو (**BTU**) در ۵۹ درجه فارنهایت انرژی تولید می‌کند. این انرژی برابر اســت با ۶/۱۱۷۸۶۳۲(۱۰)[۹] ژول یا ۱/۶ مگاژول و یا **MWh** ۱/۷(مگاوات ساعت).
در مقایسه حدود ۵۸۰۰ فوت مکعب گاز طبیعی (تقریباً ۱۶۴ متر مکعب) ارزش انرژی معادل یک بشکه نفت را دارد. البته باید توجه داشت که هم گاز و هم نفت دارای درجه بندی‌های متفاوتی هستند و این اعداد مقایسه‌ای بین مقادیر متوسط را در اختیار ما قرار می‌دهند.
اســتفاده از این مقادیر نکته بســیار جالبی را در ارزش معادل نفت منابع گاز طبیعی ایران آشکار می‌سازد. ارزش معادل نفت منابع گاز طبیعی ایران تقریباً برابر ۱۸۰/۵ میلیارد بشکه نفت اســت که مجموع ارزش ذخایر سوخت فسیلی ایران را معادل ۳۵۵/۷ میلیارد بشکه می‌ســازد که ایران را در رده اول جهانی منابع انرژی‌های فسیلی قرار می‌دهد. در مقایسه ارزش معادل نفت منابع گاز طبیعی عربستان صعودی ۴۵/۵ میلیارد بشکه نفت است که مجموع ارزش سوخت‌های فسیلی این کشور را به ۳۱۰/۱ میلیارد بشکه و پایین‌تر از ایران قرار می‌دهد.
در مقاله شماره آینده ارتباط بسیار معنی‌دار این رتبه ایران را با پتانسیل تابشی کشور مشاهده خواهیم نمود.اکنون مقایسه مختصری هم بین نفت و سوخت هسته‌ای انجام می‌دهیم:
در مراجع سازمان جهانی انرژی اتمی (**IAEA**) یک تن اورانیوم معادل ۱۶۰۰۰– ۱۰۰۰۰ تن نفت ارزیابی شــده اســت. علت عدم ارائه یک عدد دقیق میزان تغییراتی است که در راندمان بهره‌وری انرژی در انواع مختلف رآکتورهای آب سبک (**LWR**) و یا رآکتورهای آب ســنگین (**HWR**) وجود دارد. البته باید توجه داشــت که فقط حدود ۴ الی ۵ درصد اورانیوم استفاده شده دچار شکست هسته‌ای خواهد شد (معمولاً ۳/۳ درصد از اورانیوم ۲۳۵ و ۱/۷ درصــد از پلوتونیوم ایجاد شــده) یعنی در واقع فقط یــک تن از هر ۲۰ تن اورانیوم سوخت نیروگاهی مصرف خواهد شد. البته این به مفهوم استفاده تقریباً ۲۰۰ تن از اورانیوم طبیعی جهت ایجاد حدود ۲۰ تن اورانیوم غنی شده است که یک تن آن در نیروگاه دچار شکست هسته‌ای خواهد شــد. اگر بازیابی اورانیوم از سوخت مصرف شده هسته‌ای را در نظر بگیریم نسبت فوق باید به ۲۰ الی ۲۵ ضرب شوند. یعنی یک تن اورانیوم غنی شده می‌تواند تا ارزش معادل ۴۰۰/۰۰۰– ۲۵۰/۰۰۰ تن نفت را دارا باشــد و با احتساب ضریب تبدیل ۷/۲ بشکه به ازای هر تن نفت، به ارزش معادل ۲/۸۸۰/۰۰۰ – ۱/۸۰۰/۰۰۰ بشکه به ازای هر تن اورانیوم غنی شده می‌رسیم. البته این امر با فرض راندمان یکسان در چرخه بخار نیروگاه‌های سوخت فسیلی و نیروگاه‌های هسته‌ای است. حال آنکه به طور معمول سیکل بخار نیروگاه‌های هسته‌ای با راندمانی که اندکی بهتر از نیروگاه‌های سوخت فسیلی است طراحی و ساخته می‌شوند.
در شــماره آینده به دسترسی پذیری انرژی‌های نو و مقایسه آنها با منابع انرژی فسیلی و هسته‌ای خواهیم پرداخت.