نفت و انرژی هسته‌ای: گذشته، حال و آینده

نوشتهٔ فرانس ال توث
ترجمهٔ منوچهر مصطفی‌پور

(بخش دوم)

۴ـ آینده: فرصتها و بی‌اطمینانی

هیئت بین‌الدولی تغییرات آب و هوایی (IPCC2000) در **گزارش ویژه (خود در مورد) سناریوهای انتشار**[۴۳] [گازهای آلاینده] وضع صدسال آینده جهان را از نظر راههای انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان می‌دهد. چگونگی انتشار آلاینده‌ها به میزان زیادی به روشهای گوناگون در توسعه اقتصادی ـ اجتماعی جهان تا پایان سده ۲۱ بستگی دارد. هرچند انتشار گازهای گلخانه‌ای موضوع این مقاله نیست، سناریوهای IPCC چارچوب سودمندی را برای بررسی آیندهٔ بلندمدّت انرژی در ارتباط با نقش احتمالی نفت و انرژی هسته‌ای به‌دست می‌دهد. این سناریوها برپایه تحلیلهای کامل راههای ممکن توسعهٔ اجتماعی ـ اقتصادی با توجّه ویژه به روندهای جمعیّتی، اقتصادی و تکنولوژیکی است. این روندها سیستمهای عرضه و تقاضای انرژی و کاربرد منابع گوناگون انرژی و انتشار آلاینده‌ها را با یك سری از الگوهای جهانی ترسیم کرده‌اند.

مهمترین جنبه‌های توسعهٔ اقتصادی ـ اجتماعی ممکن، در چهار سناریو دسته‌بندی شده است که از ترکیب دو محور به‌دست آمده است. محور نخست احتمالات ممکن آینده را ـ براین پایه که آیا جوامع، بیشتر به جنبه‌های اقتصادی توجّه خواهند کرد یا به جنبه‌های زیست محیطی ـ نشان می‌دهد (سناریوی *A در مقابل *B). محور دوم، روندهای آینده را بر این پایه که آیا گرایش فزاینده به جهانی شدن ادامه می‌یابد یا ناهمگونی و انزوای منطقه‌ای بیشتر خواهد شد، از یکدیگر جدا کرده است (سناریوی ×۱ در مقابل ×۲)، با توجه به این سناریوها چهار حالت ممکن است رخ دهد که عبارتند از: A1, A2, B1, B2. چکیدهٔ این چهار حالت چنین است.

حالت A1 آینده‌ای را نشان می‌دهد که رشد جمعیّت پائین و رشد اقتصادی بالایی دارد که رشد بالای اقتصادی، بیشتر از توسعهٔ سریع تکنولوژیك و ورود تکنولوژیهای نو با کارایی بسیار بالا ناشی می‌شود. یکپارچگی فزاینده اقتصاد جهانی سبب همگرایی مناطق برحسب درآمد سرانه شده است، که این امر از ایجاد ظرفیّت و افزایش ارتباطات اجتماعی و فرهنگی ناشی شده است. در حالت A2 نیز رفاه اقتصادی جوامع افزایش خواهد یافت ولی در جهان کمابیش ناهمگن حالت A2 تأکید زیادی بر حفظ ویژگیهای محلی و خوداتکایی اقتصادی وجود دارد. از آنجا که در برخی مناطق نرخ تولد به کُندی کاهش می‌یابد، نرخ رشد جمعیّت کمابیش بالا خواهد بود. در جهانی با شرایط A2، دستاوردهای توسعهٔ اقتصادی بین مناطق از هم متفاوت خواهد بود و نرخ رشد جهانی بر سر هم تا اندازه‌ای از

سناریوی A1 کمتر است.

در حالت B1 تمایل به جهانی شدن ادامه می‌یابد ولی بخشهای خدماتی و اطلاعاتی اقتصاد اهمیّت بیشتری خواهند داشت که این امر به کاهش سریع تراکم مواد[۴۴] و تأسیس و گسترش سریع تکنولوژیهای پاك و دارای کارآیی منابع[۴۵] منجر خواهد شد. در عبور از مرحلهٔ گذار به ثبات، «سبز شدن»[۴۶] اقتصاد جهانی در دامنهٔ گسترده‌ای رخ می‌دهد. و راه‌حلهای جهانی برای چالشهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی را با خود دارد. حالت B2 ناظر بر رسیدن به توسعهٔ پایدار با راه حلها و نوآوری‌های محلی است. هرچند رشد جمعیّت کاهش خواهد یافت، امّا ناهمگونی منطقه‌ای و میانگین پائین توسعهٔ تکنولوژیك سبب می‌شود که نرخ توسعه پایین باشد. جنبه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی پایدار در سطوح منطقه‌ای و یا محلی نیز وجود خواهد داشت. باید توجّه داشت که م (میان) این ۴ حالت شکلهای دیگری نیز ممکن است ـ براساس نوسانات احتمالی در منابع انرژی، تکنولوژیها و انتشار آلاینده‌ها ـ پدید آید.

این چهار حالت برحسب مهم‌ترین نیروهای اصلی حرکت دهند، آنها کمّی شده‌اند و برای ارزیابی جهان آلاینده در یك سده دیگر در ۶ الگوی جهانی به کار رفته‌اند. این مبحث بر داده‌های هر ۶ الگو قرار دارد. این الگوها عبارتند از: ۱ـ الگوی جامع آسیا ـ اقیانوسیه[۴۷] که از سوی موریتا و دیگران[۴۸] در ۱۹۹۴ به کار رفته است. ۲ـ الگوی انواع استراتژی عرضه انرژی و اثر زیست محیطی کلی آن‌ها[۴۹] که در ۱۹۹۵ از سوی مسنر و استروبگر[۵۰] تهیه شده است. ۳ـ الگوی کوچك ارزیابی آب و هوا[۵۱] که از سوی ادموندز و دیگران[۵۲] در ۱۹۹۶ تهیه شده است. ۴ـ الگوی تثبیت آتمسفری[۵۳] که در ۱۹۹۰ از سوی لاشف و تیرپك[۵۴] تهیه شده است. ۵ـ الگوی برآورد اثر گلخانه‌ای[۵۵] که الکامو و دیگران[۵۶] در ۱۹۹۸ تهیه کرده‌اند و ۶ـ الگوی چند منطقه‌ای برای تخصیص منابع و صنعت[۵۷] که در ۱۹۹۹ از سوی موری و تاکاهاشی[۵۸] تهیه شده است. چارچوب نظری این ۶ الگو از نظر متدلوژی‌ها، تجزیه و تحلیلهای منطقه‌ای و بخشی اقتصاد جهانی، اجزای تکنولوژیك مربوط به سیستم انرژی و غیره تفاوت زیادی با هم دارند (چکیده این ۶ الگو در پیوست چهارم IPCC2000 آمده است). با این که تنوع الگوها به بررسی دامنهٔ وسیعی از گازهای گلخانه‌ای احتمالی آینده کمك می کند ولی مقایسهٔ نتایج الگوها تا حدی مشکل است.

باید توجه داشت که نقش آینده نفت (همانند گاز و ذغال سنگ) در عرضهٔ انرژی جهانی به عوامل گوناگونی بستگی دارد که شامل دانستن میزان منابع در دسترس، هزینه‌های استخراج، دگرگونی تکنولوژیك، تقاضا، سیاست انرژی و محیط زیست و جانشین‌های احتمالی آنها است. در بین این عوامل دانستن میزان در دسترس بودن منابع و دگرگونی تکنولوژی مهمترین عوامل در تحلیل عرضهٔ بلندمدّت انرژی شمرده می‌شود. در بیشتر موارد تعارضاتی از مسئله تعاریف انرژی هسته‌ای، مرزهای تعاریف گوناگون منابع و طبقه‌بندی‌ها از نظر ابعاد اطمینان زمین‌شناسی و قابلیّت بازیافت فنی پدید می آید.

بنابراین بررسی طبقه‌بندی‌های منابع اصلی به زحمتش می‌ارزد. طبقه «موجودیها»[۵۹]، فراگیرترین طبقه است که ذخیره‌های زمین‌شناسی را بدون توجّه به قابلیّت دسترسی یا دانستن موقعیّت جغرافیایی آنها در برمی گیرد. «منابع»، موجودیهایی است که از نظر تکنولوژیکی، با اطمینان مشخصی از موقعیّت آنها، قابل دسترس است، هرچند ممکن است در بهای کنونی قابل دسترس نباشد. «ذخایر» بخش انعطاف‌پذیر منابع است که در هر لحظه از زمان با توجّه به فناوری و بهای جاری آنها تولید آن سودآور است و از موقعیّت جغرافیایی آن دانش و آگاهی دقیقی وجود دارد. روشن است که با پیشرفت فناوری و دگرگونی قیمتها، نسبت منابع و «موجودی»هایی که توصیف شد همانند ذخایر

○ باید توجه داشت که نقش آینده نفت (همانند گاز و ذغال سنگ) در عرضهٔ انرژی جهانی به عوامل گوناگونی بستگی دارد که شامل دانستن میزان منابع در دسترس، هزینه‌های استخراج، دگرگونی تکنولوژیك، تقاضا، سیاست انرژی و محیط زیست و جانشین‌های احتمالی آنها است. در میان این عوامل دانستن میزان در دسترس بودن منابع و دگرگونی تکنولوژی مهمترین عوامل در تحلیل عرضهٔ بلندمدّت انرژی شمرده می‌شود.

○ پیش‌بینی می‌شود که انرژی اتمی و برق آبی تا سال ۲۰۲۰ سهم بازار خود را به ترتیب ۱۱/۶ درصد و ۱۴/۵ درصد از دست بدهند. ذغال سنگ کمابیش سهم ۲۵ سالهٔ خود را حفظ می کند و از ۳۹درصد به ۳۷/۹درصد کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد گاز طبیعی با ۲۶/۵درصد از سهم بازار تا ۲۰۲۰ برندهٔ واقعی باشد و انرژیهای تجدیدشدنی جز برق آبی نزدیك ۴/۵ درصد از سهم بازار تولید برق را در دست خواهد داشت.

دگرگون خواهد شد. از نظر تاریخی، چنین دگرگونی پایهٔ ذخایر را گسترش می‌دهد.

برای نمونه، در صنعت نفت، ذخایر اثبات شده نفت به این صورت تعریف می‌شود: «مقادیری که با توجّه به اطلاعات زمین‌شناسی و مهندسی در سطح اطمینان قابل قبول و با شرایط اقتصادی و عملیاتی کنونی می‌تواند در آینده از مخازن بدست آید» (BP, 2003). پس ذخایر می‌تواند با اکتشاف (جدید یا بهتر)، پیشرفت مهندسی (شرایط اقتصادی و اجرایی بهتر) و بهای بالاتر (شرایط اقتصادی بهتر) افزایش یابد. همچنین ممکن است ذخایر بر اثر تولید پایان یابد و در بهای آن افزایش یابد. در گذشته، پیشرفت علوم زمین، تکنولوژی اکتشاف و تولید، چندین بار تخمینهای پیشین را در مورد ذخایر باطل کرده‌اند، یعنی با بهبود نرخ برداشت از مخازن موجود و توسعهٔ مناسب میدانهایی که پیش از این غیر اقتصادی بوده‌اند یا از نظر فنی قابل دسترسی نبوده‌اند (با توسعه مرزهای ذخایر و انتقال از طبقه منابع به ذخایر). حتی ممکن است تولید منابعی که پیش از این قابل دسترس نبوده‌اند از نظر موارد «غیر متعارف»[۶۰] نفت مهمتر شوند. باید یادآوری کنیم که بحث همیشگی دربارهٔ ذخایر و منابع نفت تنها به نفت «معمولی»[۶۱] مربوط می‌شود، یعنی نفت با کمترین چسبندگی و چگالی بالاتر از ۲۰.[۶۲]

شنهای نفتی، قیر طبیعی، شنهای دارای قیر و نفت خام سنگین در مجموع منابع غیر متعارف نفت هستند که به دلایل فنی یا اقتصادی و یا هر دو نمی‌توان با روشهای رایج تولید آنها را بدست آورد. (روگنر[۶۳]، ۱۹۹۷). این منابع بخش بزرگی از ذخایر عظیم هیدروکربنهای پوستهٔ زمین را تشکیل می‌دهند و مورد توجّه تحلیلگران منابع انرژی غیرمتعارف قرار گرفته‌اند. فناوریهای تازه برای استخراج اقتصادی برخی از این منابع، گسترش یافته و در کشورهایی چون کانادا و ونزوئلا تولید آن آغاز شده است. ممکن است در آینده میزان موجودیهای غیرمتعارف و میزان افزایش میدانهای گوناگون نفتی با هم به‌عنوان «ذخایر» تعریف شود که این امر بستگی خواهد داشت به گسترش پیوسته تکنولوژیهای استخراج با هزینه‌های اقتصادی و زیست محیطی قابل قبول (۲۰۰۰، WEA). از این‌رو نقش نفت در سناریوهایی که شرح خواهیم داد تا اندازه زیادی به الگو و پذیرش سناریوی خاص در مورد تغییر تکنولوژی اکتشاف نفت و بخش‌های بالادستی و میزان قابل دسترس نفت ناشی از آن بستگی دارد.

این سناریوها در مورد نقش آینده نفت و انرژی هسته‌ای در سیستم انرژی جهانی چه چیزی را بیان می کنند؟ چهار حالت را به نوبت در نظر می گیریم و الگوی حاصله را با کاربرد همان طرح مرور می کنیم: نخست خیلی کوتاه ویژگی‌های توسعه اقتصادی، بهبود کارآیی انرژی و الکتریکی کردن انرژی نهایی را بیان می کنیم، سپس بر پیش‌بینی‌های آنها در مورد نفت و انرژی هسته‌ای متمرکز می‌شویم. ما از شرح بیشتر خودداری می کنیم تا خواننده به شکل‌ها نگاه کند.

در دنیای جهانی شده و رفاه محور حالت A1، در پایان سده ۲۱ درآمدها به صورت فزاینده رشد می کند. (برای نشان دادن نرمش در توسعهٔ سیستم انرژی، صورتهای گوناگون در حالت A1 گسترش یافته‌اند. بحث ما در این جا بر پایهٔ توسعهٔ متوازن منابع انرژی و فناوری‌ها قرار دارد). تولید سرانه حتی در مناطق آفریقا و آمریکای لاتین که از رفاه کمتری برخوردارند به ۶۰,۰۰۰ دلار می‌رسد و در مناطق OECD90 از ۱۱۰۰۰۰ دلار فراتر می‌رود. این رشد چشمگیر اقتصادی با افزایش مداوم کارآیی انرژی همراه است: تا پایان سده نسبت کل انرژی به تولید ناخالص داخلی به حدود ۵ مگاژول ـ دلار[۶۴] یا کمتر از آن کاهش می‌یابد. ولی سهم برق در کل انرژی نهایی افزایش می‌یابد. انتشار گاز دی‌اکسیدکربن ناشی از مصرف سوخت فسیلی بین سالهای ۲۰۵۰ تا ۲۰۷۰ برای الگوهای ۲ و ۵ کمابیش به ۱۸ گیگاتن (GTC) و برای مدل یك به ۱۶ گیگاتن در سال می‌رسد سپس تا سال ۲۱۰۰ به زیر ۱۴ گیگاتن کاهش می‌یابد.

هنگامی که به جزئیات مصرف انرژی نگاه می کنیم، این

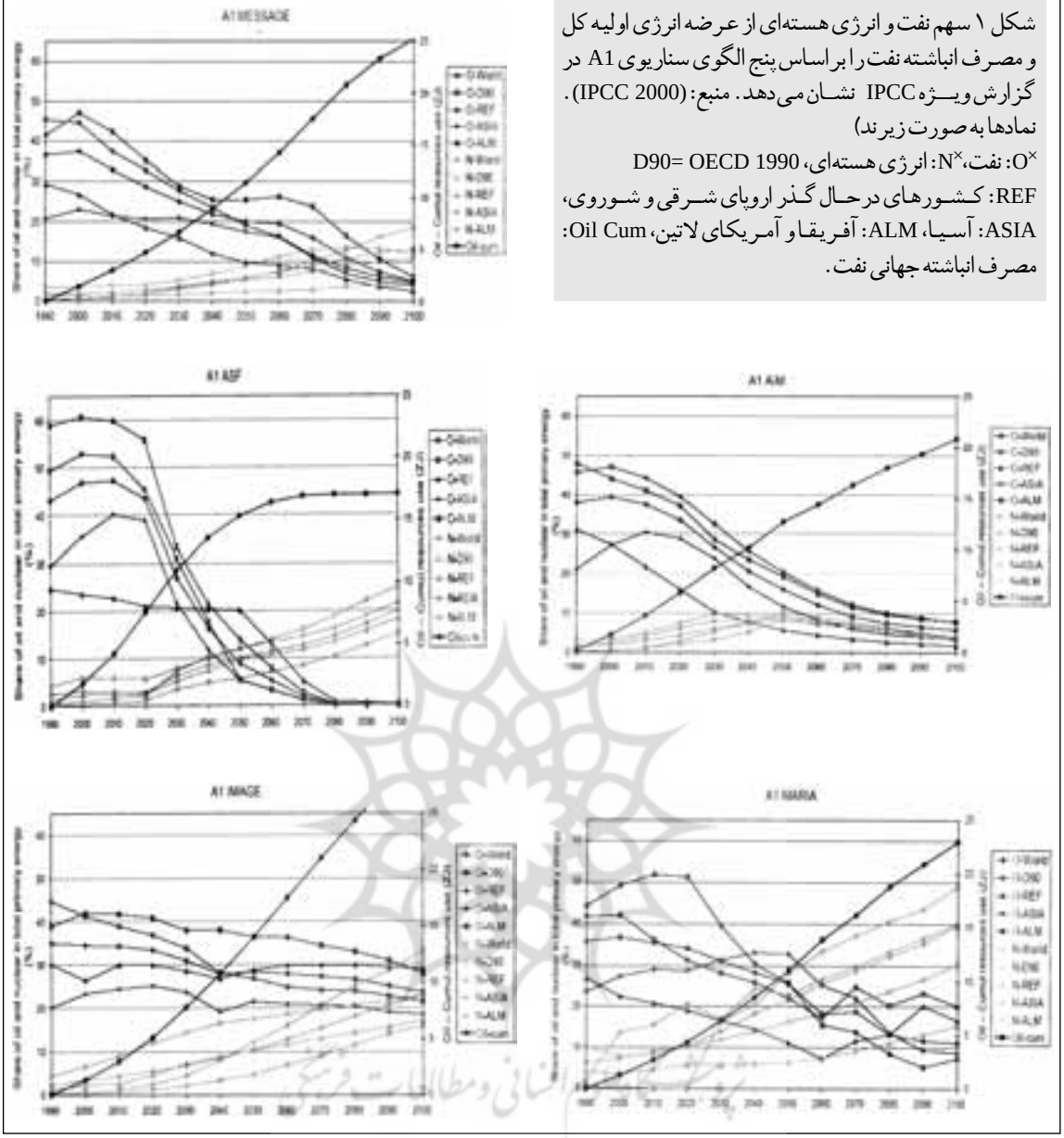
تصویر کمابیش یکنواخت، از سده ۲۱ در برخی موارد دارای اختلاف‌های زیادی می‌شود (شکل ۱) براساس نتایج الگوی ۵، در مناطق گوناگون جهان ۱۸ تا ۳۰ درصد و در تمام جهان ۲۵ درصد از کل انرژی اولیه را نفت تشکیل می‌دهد. سهم نفت براساس الگوی ششم ۲۰ درصد یا کمتر از ۲۰ درصد و براساس الگوهای ۱ و ۲ کمتر از ۱۰ درصد است. مصرف انباشته نفت در جهان در الگوی ۵ به ۳۰ زتاژول[۶۵]، در الگوی ۲ به ۲۵ زتاژول و در الگوهای ۱ و ۶ به اندکی بیش از ۲۰ زتاژول می‌رسد. سهم انرژی هسته‌ای کمتر از ۵ درصد در آغاز سده ۲۱، برپایه الگوی ۵ در مناطق گوناگون به ۱۵ تا ۳۵ درصد و در عرصه جهانی به ۲۲ درصد، براساس الگوی ۶ به ۱۵ تا ۵۰ درصد و در جهان به ۴۰ درصد افزایش می‌یابد (شکل ۱). در برابر، براساس الگوی ۲ سهم انرژی هسته‌ای از کل مصرف انرژی اولیه خیلی کم است آنچنان که در مناطق گوناگون جهان به ۵ تا ۱۸ درصد و در سطح جهان به ۱۳ درصد می‌رسد.

افزایش تولید ناخالص سرانهٔ منطقه‌ای در جهان رفاه محور[۶۶] ولی غیریکپارچهٔ سناریوی A2 کمابیش پایین است. بجز منطقه OECD90 (نزدیک به ۶۰،۰۰۰ دلار درآمد سرانه در ۲۱۰۰)، در دیگر نقاط جهان حتی در میانه سده، درآمد سرانه پائین‌تر از ۱۰،۰۰۰ دلار می‌ماند. خودکفایی در انرژی در تمام مناطق پیوسته افزایش می‌یابد و تا ۲۱۰۰ میزان انرژی در تولید ناخالص داخلی به زیر ۱۵ مگاژول ـ دلار آمریکا کاهش می‌یابد. میزان گسترش برق با توجّه به الگوها و همچنین با توجّه به این سناریو تفاوت می‌کند. سهم برق از کل انرژی نهایی براساس الگوی سوم بسته به مناطق به ۱۵ تا ۷۰ درصد می‌رسد، ولی براساس نتایج الگوی ۲ خیلی پائین‌تر می‌ماند (۳۰ تا ۵۰ درصد) و در الگوی ۴ حتی پائین‌تر هم خواهد بود. (بین ۲۵ تا ۳۸ درصد) نرخ پائین توسعه اقتصادی و نرخ کم تحوّلات تکنولوژیک ناشی از آن، و دورهٔ طولانی نوسازی سرمایه‌ای فیزیکی منجر به افزایش زیاد و مداوم انتشار گاز کربنیک ناشی از کاربرد سوخت فسیلی می‌شود. تصاعد جهانی گاز کربنیک تا ۲۱۰۰ به ۳۰ گیگا تن در هر سال می‌رسد.

واردات نفت در عرضهٔ انرژی اولیه جهان، براساس سه الگوی برگزیده شده سه راه گوناگون را نشان می‌دهد (شکل ۲). براساس مدل ۲ در بیشتر مناطق جهان سهم نفت از تمام انرژی اولیه در سطح بالایی باقی می‌ماند (۴۰ درصد از عرضه کل انرژی اولیهٔ جهانی). امّا تا پایان سده ۲۱ سهم نفت در همه مناطق با کاهش سریع به زیر ۵ درصد می‌رسد. براساس الگوی ۴ کاهش سهم نفت زودتر آغاز می‌شود و تا ۲۰۷۰ در تمام مناطق جهان به زیر ۱۰ درصد می‌رسد. در برابر مدل ۳ نشان می‌دهد که سهم نفت در انرژی مصرفی از آغاز این سده به تندی کاهش می‌یابد. امّا در دهه‌های بعد همچنان نقش چشمگیری دارد. مصرف انباشته نفت در سطح جهان نیز در این الگوها بسیار متفاوت است؛ در الگوی ۳ تنها در حدود ۱۱ زتاژول، در الگوی ۴ بیش از ۱۷ زتاژول و در الگوی ۲ در حدود ۱۹ زتاژول. سهم انرژی هسته‌ای در کل انرژی جهان نیز در سه الگو متفاوت است (شکل ۲). براساس الگوی ۲ در نیمهٔ دوم سده ۲۱، سهم انرژی هسته‌ای افزایش می‌یابد و به ۵ تا ۱۰ درصد از کل انرژی می‌رسد. الگوی ۳ نشان می‌دهد که سهم انرژی هسته‌ای در کشورهای درحال گذار شوروی و اروپای شرقی در نیمهٔ نخست این سده افزایش ولی در نیمهٔ دوم کاهش می‌یابد، درحالی که در منطقه OECD90 در حدود ۸ درصد ثابت می‌ماند. تنها در آسیا، آفریقا و منطقهٔ آمریکای لاتین سهم انرژی هسته‌ای تا ۲۱۰۰ با نرخ پیوسته، هرچند پائین، افزایش می‌یابد و به حدود ۱۵ درصد می‌رسد. در برابر، براساس الگوی ۴ سهم انرژی هسته‌ای در تمام جهان در این سده افزایش می‌یابد و بسته به هر منطقه به ۹ تا ۱۸ درصد می‌رسد.

در سناریوی B1 که اقتصاد جهانی شده و جنبه‌های زیست محیطی خیلی مهم است، درآمد سرانه در تمام جهان به صورت فزاینده افزایش می‌یابد ولی با نرخ رشدی کمتر از نرخ رشد سناریوی A1. در این سناریو مسیرهای درآمدی در الگوهای گوناگون با دو سناریوی پیشین تفاوت زیادی دارند. خودکفایی انرژی در سراسر سده ۲۱ با سرعت بهبود

○ از چند دههٔ پیش، رقابت نفت و انرژی هسته‌ای در تولید برق و نیز در بازارهای مصرف نهایی آغاز شد. رقابت مستقیم در بخش نیرو به دلایل گوناگون پس از شوکهای نفتی در دههٔ ۱۹۷۰ به سرعت رنگ باخت. نخستین دلیل آن سیاستهایی بود که در بیشتر کشورهای وارد کننده برای کاهش وابستگی به این منبع نامطمئن از نظر عرضه در پیش گرفته شد.



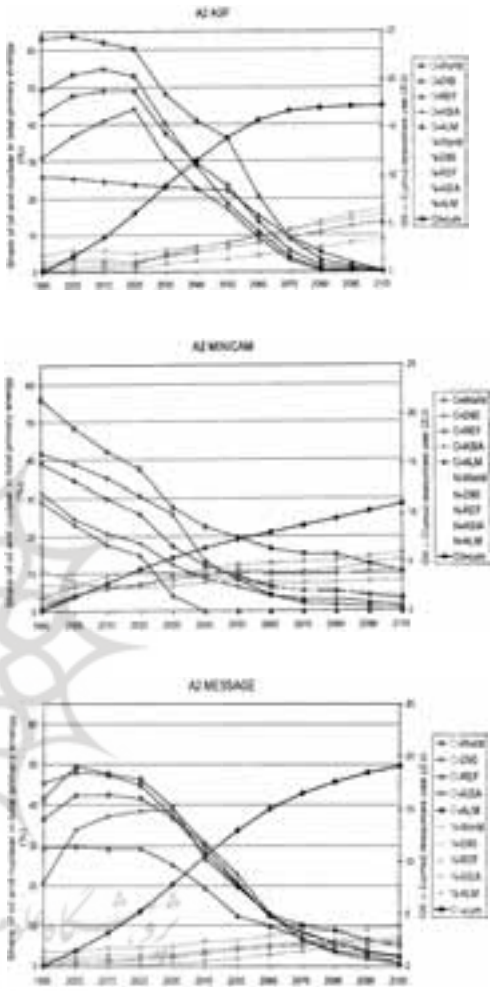
شکل ۱ سهم نفت و انرژی هسته‌ای از عرضه انرژی اولیه کل و مصرف انباشته نفت را براساس پنج الگوی سناریوی A1 در گزارش ویـژه IPCC نشـان می‌دهد. منبع: (IPCC 2000). نمادها به صورت زیرند)
$O^{\times}$: نفت، $N^{\times}$: انرژی هسته‌ای، D90= OECD 1990
REF: کـشورهای درحـال گـذر اروپای شـرقی و شـوروی، ASIA: آسـیا، ALM: آفـریقـا و آمـریکای لاتین، Oil Cum: مصرف انباشته جهانی نفت.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

می‌یابد و تا ۲۰۸۰ مـیـزان انرژی در تمـام جـهـان به زیر ۵ مگاژول ـ دلار از تولید ناخالص داخلی می‌رسد. این الگوها به گونه‌ای همـسـان پیش‌بینی می کنند کـه سهم برق از کل انرژی نهایی در جهان پیوسته افزایش داشته باشد و بسته به منطقـه به حـدود ۳۸ تا ۵۸ درصـد برسـد. با این حـال در این سناریو مـیـزان انتشـار کربن در الگوهای گـوناگون تفـاوت چشمگیری دارد.

براسـاس الگوی ۳ در چند دههٔ آینده، سـهم نفت در عرضهٔ کل انرژی کاهش می‌یابد امّا پس از ۲۰۴۰ بین ۱۵ و ۳۲ درصـد ثابت می‌ماند (شکل ۳). در الگوی ۵ نقش نفت در تأمـین کل انرژی اولیـه خـوشـبینانه است، ولی الگوی ۲ بیانگر کاهش پیوسته سهم نفت در جهان، به جز آسیا، است و از ۲۰۰۰ تا ۲۱۰۰ به ۵ تا ۸درصـد می‌رسـد. مـصـرف انباشته نفت بین ۱۹۹۰ و ۲۱۰۰ به میزان چشمگیری پائین می‌مـــاند: بین ۱۶ زتاژول در الگوی ۳ و ۲۰ زتاژول در الگوی ۵ ولی پویایی الگوها تفـــاوت زیادی دارد. در این سناریو سهم منطقـه‌ای انرژی هسـتـه‌ای تا سـال ۲۱۰۰ در الگوی ۱ افـزایش اندکی بین ۵ تا ۸درصـد در هر منطقـه از جهان دارد. در الگوی ۲ افزایش متوسط (۸ تا ۱۳درصد)، و در الگوی ۶ ویژه در نیمهٔ دوم سده ۲۰ افزایش زیادی دارد و

شکل ۲ سهم نفت و انرژی هسته‌ای از عرضهٔ انرژی اولیهٔ کل و مصرف انباشته نفت را بر اساس سه الگوی سناریوی A2 در گزارش ویژه IPCC نشان می‌دهد. منبع: (IPCC2000).



تا سال ۲۱۰۰ به ۲۰ تا ۲۸ درصد می‌رسد (شکل ۳).

سناریوی B2 ترکیب منطقه‌گرایی و محوریّت محیط زیست را ترسیم می‌کند که در آن نابرابری توزیع درآمد بین مناطق گوناگون جهان از همهٔ سناریوهای دیگر بیشتر است، درحالی که تولید سرانه در منطقه OECD90 به حدود ۶۰۰۰۰ دلار افزایش می‌یابد. در منطقهٔ آفریقا و آمریکای لاتین درآمد سرانه حتی ۱۰۰ سال پس از این زیر ۱۵۰۰۰ دلار باقی می‌ماند. هرچند در همهٔ مناطق نرخ بهبود خودکفایی انرژی پایین است. میزان انرژی اولیه کل به ازای

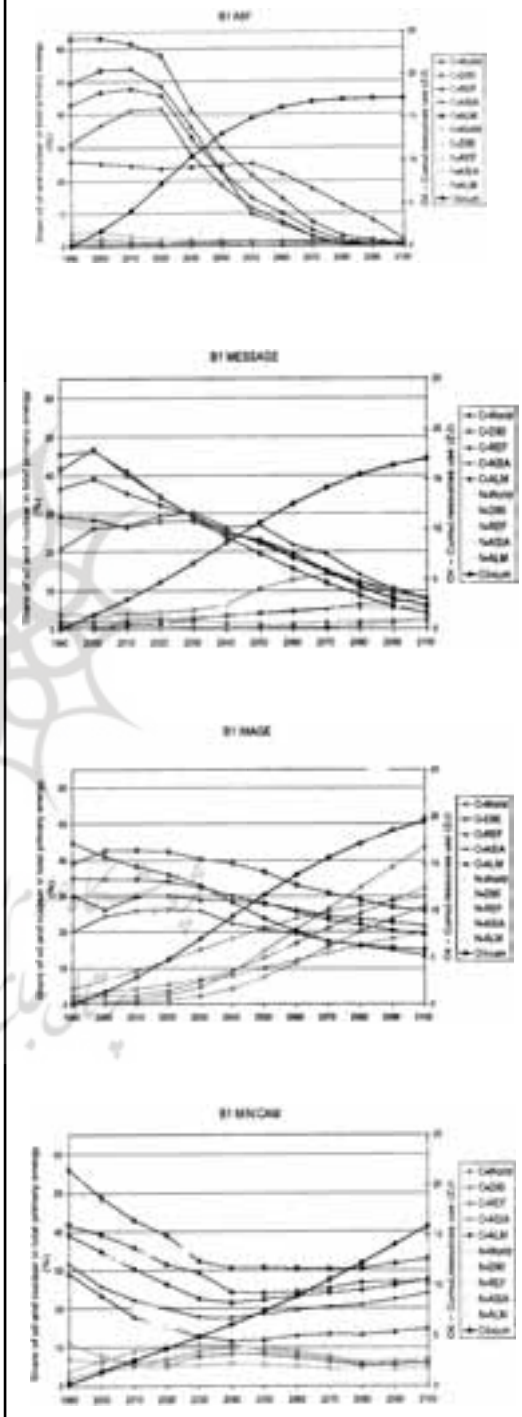
○ عواملی چند در گزینش سوخت بخشهای گوناگون نقش دارند مانند سلیقه‌های فردی، مقرّرات زیست محیطی، شرایط جغرافیایی و سطح تکنولوژیها. شگفت‌آور نیست که در کشورهای گوناگون بین سهم انرژی هسته‌ای در تولید برق و سهم برق از انرژی رابطه‌ای روشن وجود ندارد که رقابت غیر مستقیم بین نفت و انرژی هسته‌ای را نشان دهد.

یك واحد از تولید ناخالص ۲۱۰۰ به زیر ۵ مگاژول ـ دلار می‌رسد. سهم برق از کل انرژی نهایی در هر یك از الگوها متفاوت است. درحالی که براساس الگوی ۲ سهم برق در تمام جهان ۴۰ تا ۵۰ درصد است، در الگوی ۶ حتی در منطقهٔ OECD90 زیر ۲۵ درصد و در اقتصادهای درحال گذار آسیا زیر ۱۵ درصد می‌ماند. انتشار دی‌اکسیدکربن از مصرف سوخت فسیلی پیوسته افزایش می‌یابد و به ۱۴ گیگاتن می‌رسد.

سهم نفت از کل انرژی در این سناریو نیز براساس الگوهای ۱ و ۲ در تمام سده ۲۱ کاهش می‌یابد ولی در الگوی ۶ در دو دههٔ واپسین افزایش چشمگیری می‌یابد (شکل ۴). سهم انرژی هسته‌ای در پی رشد خیلی پایین تا سال ۲۱۰۰، براساس الگوی ۱ بین ۵ تا ۸ درصد و براساس الگوی ۲ بین ۸ تا ۱۲ درصد است. الگوی ۶ نشان می‌دهد که سهم انرژی هسته‌ای پس از ۲۰۴۰ رشد سریعی خواهد داشت و تا سال ۲۱۰۰ در تمام جهان به ۲۰ تا ۲۵ درصد از عرضهٔ انرژی اولیه می‌رسد.

چه آثار مهمی از این سناریوها و الگوهای گوناگون می‌توان به دست آورد؟ تمام الگوها در تمام سناریوها به‌جز دو مورد نشان می‌دهند که سهم نفت از کل مصرف انرژی اولیه پیوسته کاهش می‌یابد. اولین استثناء در الگوی ۳ با سناریوی B1 است که نشان می‌دهد سهم نفت پس از کاهش در چهار دههٔ نخست این سده افزایش می‌یابد و در ۲۰۵۰ با ۱۲ تا ۳۰ درصد مهم‌ترین بخش انرژی را در موازنه انرژی منطقه‌ای تشکیل می‌دهد و حتی پس از آن اندکی افزایش می‌یابد. در الگوی ۶ با سناریوی B2 نیز می‌توان تا اندازه‌ای

شکل ۳ سهم نفت و انرژی هسته‌ای از عرضه انرژی اولیه کل و مصرف انباشته نفت را بر اساس چهار الگوی سناریوی B1 در گزارش ویژه IPCC نشان می‌دهد. منبع: (IPCC2000).



موردی همسان را دید، ولی در پایان این سده (حدود سال ۲۰۸۰) و با نرخی پائین‌تر (حدود ۱۵ درصد). این الگوی عمومی تنوع زیادی دارد. به نظر می‌رسد نفت در جهان اقتصاد محور ولی غیر یکپارچه سناریوی A2، نقش کمی خواهد داشت. هر سه الگوی ۲، ۳ و ۴ نشان می‌دهند که سهم نفت از مصرف کل انرژی اولیه رفته رفته تا ۲۱۰۰ به زیر ۵ درصد می‌رسد. این الگوها در ترسیم سناریوهای جهانی سازی از یکدیگر جدا هستند. الگوهای ۵ و ۶ با سناریوی A1 سهم نفت را در توازن انرژی منطقه‌ای کمابیش زیاد و بین ۱۰ تا ۳۰ درصد پیش‌بینی می کنند. الگوهای ۳ و ۵ با سناریوی B1 نیز به همین‌سان بین ۱۵ تا ۳۰ درصد پیش‌بینی می کنند. در برابر در همان شرایط توسعهٔ اقتصادی ـ اجتماعی، انتظار می‌رود سهم نفت در سناریوی A1 الگوهای ۱ و ۲ و سناریوی B1 الگوهای ۲ و ۴ به زیر ۱۰ درصد کاهش یابد.

الگوها و حالت‌های پیش‌بینی نقش احتمالی انرژی هسته‌ای در سده کنونی بسیار متنوع هستند. همگن‌ترین پیش‌بینی مربوط است به سناریوی A2: براساس برآمد سه الگو انتظار می‌رود سهم انرژی هسته‌ای در تمام جهان بین ۵ تا ۱۸ درصد باشد. در سناریوی محیط زیست محور و غیر یکپارچهٔ منطقه‌ای B2 سهم انرژی هسته‌ای تا ۲۱۰۰ افزایش محدود و کُندی دارد؛ در حدود ۵ درصد (الگوی ۱)، ۱۰ درصد (الگوی ۲) و ۲۰ درصد (الگوی ۶) پراکنده‌ترین نتایج الگوهای مربوط به نقش انرژی هسته‌ای را می‌توان در سناریوی اقتصاد جهانی شدهٔ A1 مشاهده کرد: براساس الگوی ۱ سهم منطقه‌ای انرژی هسته‌ای هرگز به ۱۰ درصد نمی‌رسد، در الگوی ۲ بین ۸ تا ۱۸ درصد ثبت می‌شود، در الگوی ۵ به ۱۸ تا ۳۳ درصد می‌رسد و در الگوی ۶ به ۱۵ تا ۵۰ درصد افزایش می‌یابد.

لازم است به پاره‌ای محدودیّت‌های الگوها اشاره کنیم. برای نمونه الگوی ۱ در سناریوهای متفاوت A2 و B1 در تمام جهان الگوی مصرف یکسانی را از منابع انباشته شده پیش‌بینی می کند (۱۷ زتاژول). با وجود تفاوتهای زیاد موقتی و منطقه‌ای، در الگوی ۲ نیز روند مشابهی را در مورد مصرف نفت می‌توان دید. سهم انرژی هسته‌ای در موازنه انرژی اولیهٔ منطقه‌ای در هیچ یك از الگوهای گوناگون از ۱۵ درصد فراتر نمی‌رود. در برابر الگوهای ۶ و ۵ نقش انرژی هسته‌ای را در این سده چشمگیر می‌دانند. براساس این الگوها سهم انرژی هسته‌ای در سناریوهای گوناگون بویژه A1 و B1 به ۳۰ تا ۴۰ درصد افزایش یابد. افزون بر این همان گونه که از تفاوت سهم منطقه‌ای انرژی هسته‌ای در سناریوهای گوناگون پیداست، نقش انرژی هسته‌ای به ویژگیهای عمومی

سناریوها در این الگوها خیلی حساس است.

جدا از موضوع یك سده آتی باید دید که برای دو دههٔ آینده چه انتظاری می‌توانیم داشته باشیم؟ میزان سهم برق از کل انرژی نهایی و تقاضای پیوسته نیروی برق به میزان زیادی بستگی به گستردگی شبکه برق دارد. برق‌رسانی به مناطق نامتصل به شبکه بستگی به عملکرد اقتصادی و زیست محیطی برق توزیع شده در برابر هزینه‌های تولید متمرکز و هزینه‌های انتقال دارد. همچنین تقاضای برق در شهرهای بزرگ به سرمایه‌گذاریهای زیادی برای تولید چند برابر برق نیازمند است (بیش از ۱۵۶۰ گیگاوات تا ۲۰۲۰). بی‌گمان همهٔ تکنولوژیها و سوختها مانند انرژی هسته‌ای و نفت مورد نیاز ما است. سود تولید برق از نفت این است که نیاز به هزینهٔ پائینی دارد و میزان رقابتی بودن آن بستگی زیادی به هزینه‌های استخراج دارد. با بهای جاری بازار، شاید نتوان تا زمانی که زیرساختهای عرضهٔ سوخت‌های جانشین نفت فراهم نشده باشد، گزینهٔ ارزانتری پیدا کرد. هرچند این حالت در همه جا برقرار نیست. در مجموع می‌توان انتظار داشت که در بیشتر کشورهای درحال توسعه کاربرد نفت برای تولید برق افزایش یابد.

برپایه پیش‌بینی سال ۲۰۰۴ آژانس بین‌المللی انرژی کاهش کاربرد نفت در کشورهای OECD ادامه می‌یابد و تا ۲۰۲۰ به ۳/۵ درصد یا برابر ۹۷ میلیون تن (Mote) می‌رسد. افزایش پیش‌بینی شده ۱۷۷ میلیون تنی یا ۷/۱ درصدی سهم نفت در بازار تولید برق کشورهای درحال توسعه، کاهش مصرف نفت در کشورهای OECD را جبران نمی‌کند و در سطح جهانی، مصرف نفت تا سال ۲۰۲۰ تنها حدود ۵ درصد افزایش می‌یابد. در ۲۰۲۰ نزدیك به ۳۰۵ میلیون تن (Mote) از محصولات نفتی صرف تولید برق خواهد شد (اندکی بالاتر از ۲۸۸ میلیون تن فعلی). پیش‌بینی می‌شود که انرژی اتمی و برق آبی تا سال ۲۰۲۰ سهم بازار خود را به ترتیب ۱۱/۶ درصد و ۱۴/۵ درصد از دست بدهند. ذغال سنگ کمابیش سهم ۲۵ سالهٔ خود را حفظ می‌کند و از ۳۹ درصد به ۳۷/۹ درصد کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد گاز طبیعی با ۲۶/۵ درصد از سهم بازار تا ۲۰۲۰ برندهٔ واقعی باشد و انرژیهای تجدیدشدنی به جز برق آبی نزدیك ۴/۵ درصد از سهم بازار تولید برق را در دست خواهد داشت.

۵ـ چکیده و بهره سخن

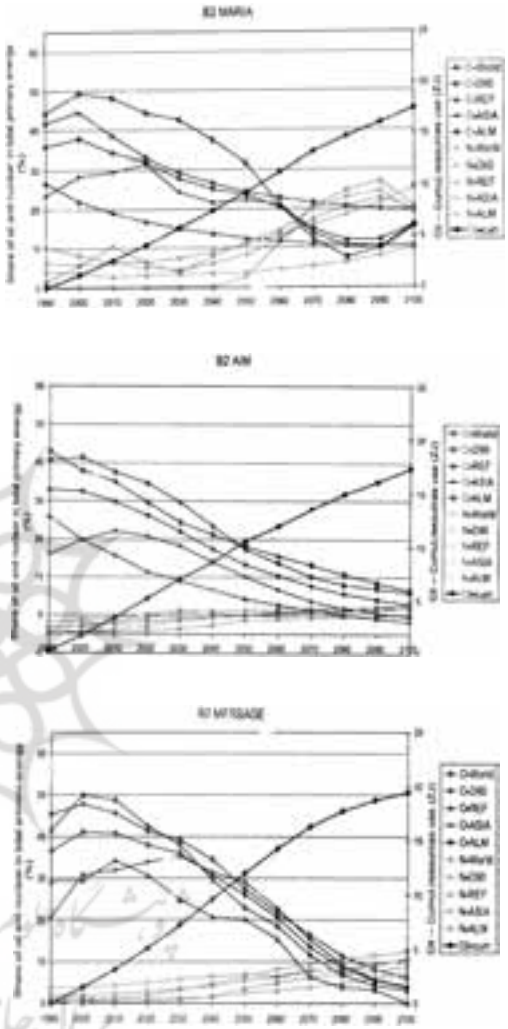
از چند دههٔ پیش، رقابت نفت و انرژی هسته‌ای در تولید برق و نیز در بازارهای مصرف نهایی آغاز شد. رقابت مستقیم در بخش نیرو به دلایل گوناگون پس از شوکهای نفتی در دههٔ ۱۹۷۰ به سرعت رنگ باخت. نخستین دلیل آن سیاستهایی بود که در بیشتر کشورهای وارد کننده برای کاهش وابستگی به این منبع نامطمئن از نظر عرضه در پیش گرفته شد. دومین دلیل آن ظهور تکنولوژی سیکل ترکیبی بود که با توجه به آلودگی هوا، راه را برای کاربرد گاز طبیعی هموار کرد. سرانجام، تکامل تکنولوژی هسته‌ای نیز سبب شد که سهمی از بازار انرژی برای تولید برق به انرژی هسته‌ای برسد. این فرایند برخی پیامدهای مثبت نیز داشت. کاهش منابع نفت به بی‌ثباتی بهای آن دامن می‌زند، که برای تولید برق چندان خوشایند نیست. این امر نقش انرژی هسته‌ای را در سبد انرژی همچون یك عامل تکامل یافته، قابل تجارت و سودآور تقویت کرد.

بحث رقابت غیر مستقیم بسیار پیچیده است. زیرا عواملی چند در گزینش سوخت بخشهای گوناگون نقش دارند مانند سلیقه‌های فردی، مقرّرات زیست محیطی، شرایط جغرافیایی و سطح تکنولوژیها. شگفت‌آور نیست که در کشورهای گوناگون بین سهم انرژی هسته‌ای در تولید برق و سهم برق از انرژی رابطه‌ای روشن وجود ندارد که رقابت غیر مستقیم بین نفت و انرژی هسته‌ای را نشان دهد.

از هنگامی که توسعه انرژی هسته‌ای در بخش نیرو به زیان

○ این مقاله نخستین تحلیل مقایسه‌ای جامع در مورد پیش‌بینی نقش نفت و انرژی هسته‌ای در سده ۲۱ است که براساس چند سناریوی جهانی صورت گرفته است. این پژوهش برخی روندهای قوی را که به نظر می‌رسد در طیف وسیعی از سناریوهای اقتصادی ـ اجتماعی و مجموعه گوناگون الگوهای انرژی وجود داشته باشد، نشان می‌دهد. این روندها عبارت است از: رشد پیوسته و همگرایی منطقه‌ای کشورها (هرچند با نرخهای متفاوت)، بهبود پیوسته کارایی انرژی و افزایش پیوسته مصرف انرژی اولیه.

شکل ۴ سهم نفت و انرژی هسته‌ای از عرضه انرژی اولیه کل و مصرف انباشته نفت را بر اساس سه الگوی سناریوی B2 در گزارش ویژه IPCC نشان می‌دهد. منبع: (IPCC2000).



نفت رخ داد، زمان زیادی نمی گذرد چه بسا که در آینده چنین اتفاقی تکرار نشود. ساختار بازارهایی که انرژی هسته‌ای و نفت در آنها پویا هستند امروزه تداخل کمی دارند و انرژی هسته‌ای جای نفت را در تولید برق نخواهد گرفت. انرژی هسته‌ای بار پایه‌ای بازارهای دارای شبکهٔ برق یکپارچه و بزرگ را عرضه می کند در حالی که کاربردهای نفت برای تولید برق عبارتند از: تولید قسمتی از برق زمان اوج مصرف، بهره گیری به عنوان سوخت ذخیره و تولید برق خارج از شبکه. مهمترین بازارهای نفت، مناطق روستایی و دور دست هستند که تقاضای انرژی در آن‌ها کم است و شبکهٔ برق کوچکی دارند و یا به شبکهٔ برق متصل نیستند. بدون در نظر گرفتن شرایط زیست محیطی احتمالاً انرژی هسته‌ای در آینده در مرحله نخست با ذغال سنگ و بسته به این که بهای گاز طبیعی تا چه اندازه از بهای بازار نفت پیروی کند و اینکه آیا زیرساختهای مربوط به گاز مناسب هستند یا خیر، با گاز طبیعی رقابت خواهد داشت. به هر رو روندهای کنونی در جهت آزادسازی بازار برق تا اندازه زیادی به رفتار سهامدار بخش خصوصی بستگی دارد که امروزه مانع اقتصادی گسترش نیروگاه‌های هسته‌ای است. زیرا نیاز به سرمایهٔ اولیهٔ بالایی دارد و دورهٔ استهلاك آن زیاد است. در صورت عدم حمایت دولت و یا عدم ضرورت طراحی راکتورهای دارای تکنولوژیهای تازه که هزینه‌ها را کاهش دهد و امنیّت اجرایی را بیشتر بهبود بخشد، ممکن است سهم بازاری انرژی هسته‌ای رو به کاهش بگذارد ولی هنوز شواهدی بر عکس این وجود دارد. سفارش نیروگاه «اولکی لوتو»[۶۷] در فنلاند بر اساس بررسیهای گوناگونی صورت گرفته است که بر این امر تأکید دارند که تولید برق هسته‌ای بهترین گزینهٔ اقتصادی برای پاسخگویی به تقاضای فزاینده برق است (WNA 2004).

هر چند رقابت مستقیم بین نفت و انرژی هسته‌ای تا اندازه زیادی از بین رفته ولی از آغاز سده بیست‌ویکم همهٔ نگرانیها در مورد منابع انرژی و تکنولوژیهای مربوط به آنها بوده است. نگرانی‌های مربوط به نفت شامل کابوس پایان یافتن منابع، نبود اطمینان از عرضه و بی‌ثباتی بهای نفت است. درحالی که در مورد انرژی هسته‌ای امنیّت اجرایی، ذخیره و دفع زباله‌های دارای رادیو اکتیو و گسترش آن مهمترین علل نگرانی است. انرژی هسته‌ای بویژه از نظر زیست محیطی، سود زیادی دارد. امّا کاربرد آن در پاره‌ای کشورها با حرکتهای سیاسی، و مردمی روبرو می‌شود. درحالی که در دیگر کشورها حمایت سیاسی و میزان مناسبی از پذیرش عمومی در این زمینه وجود دارد. تاکنون در مورد نقش انرژی هسته‌ای در آیندهٔ کوتاه مدت و بلندمدت همرأیی وجود نداشته است. تحلیلهای مربوط به عرضه و تقاضای بلندمدت انرژی همواره بیانگر رشد نقش انرژی هسته‌ای‌اند. سناریوی ارزش مدار «بینش توسعهٔ پایدار»[۶۸] که از سوی آژانس بین‌المللی انرژی کشورهای OECD (IEA, 2003) توسعه یافته، بر اساس فناوری پیشرفته سناریوی A1 شکل گرفته است. این سناریو نرخ رشد سالانهٔ بسیار بالایی را برای انرژی هسته‌ای، بویژه بین ۲۰۲۰ و ۲۰۴۰ پیش‌بینی می کند و یادآور می‌شود که تولید انرژی هسته‌ای در جهان بین ۲۰۰۰ تا ۲۰۵۰ چهارده برابر

افزایش می‌یابد.

این مقاله نخستین تحلیل مقایسه‌ای جامع در مورد پیش‌بینی نقش نفت و انرژی هسته‌ای در سده ۲۱ است که براساس چندین سناریوی جهانی صورت گرفته است. این پژوهش برخی روندهای قوی را که به نظر می‌رسد در طیف وسیعی از سناریوهای اقتصادی ـ اجتماعی و مجموعه گوناگون الگوهای انرژی وجود داشته باشد، نشان می‌دهد. این روندها عبارت است از: رشد پیوسته و همگرایی منطقه‌ای کشورها (هرچند با نرخهای متفاوت)، بهبود پیوسته کارایی انرژی و افزایش پیوسته مصرف انرژی اولیه. به هر رو جزئیات مربوط به مناطق و پویایی‌های منابع انرژی با آنچه که در سطح جهانی وجود دارد، متفاوت است و برخی اوقات این تفاوت‌ها بسیار زیاد است. باید گفت که هیچ یك از این سناریوها از نظر نوآوری در سیاستهای آب و هوایی نسبت به آنچه که امروزه در آغاز سده ۲۱ وجود دارد، پیشرفتی ندارند. شاید در سناریوهایی که در پی کاهش شدید هزینه‌های آلایندگی بویژه دی اکسید کربن هستند، سهم نفت و انرژی هسته‌ای تغییر کند، ولی مکانیزمهای مربوط به پیش‌بینی و زمان‌بندی چنین تغییراتی باید موضوع پژوهش جداگانه‌ای باشد.

در آینده‌ای که به جنبه‌های زیست محیطی حساس است انرژی هسته‌ای به راحتی ذغال سنگ را پشت سر خواهد گذاشت و همچنین بسته به درجهٔ مقرّرات زیست محیطی از عهدهٔ گاز نیز می‌تواند برآید. بی گمان سیاستهای حمایت از آب و هوای جهان، بر تولید و مصرف نفت اثر گذار است. بویژه از نظر جانشین‌های نفت در بازارهای مصرف و با توجه به عملکرد فنی اقتصادی انرژیهای تجدیدشدنی آینده در بازارهای برق جدا از شبکه. ممکن است برق هسته‌ای به گونه‌ای غیر مستقیم بر مصرف نفت در بخشهای خانگی، تجاری و صنعتی اثر بگذارد. به هر رو امید می‌رود که سهم بازار برق بی توجّه به چگونگی تولید آن به سبب جنبه‌های ذاتی‌اش همچون بهبود بهره‌وری، پاکی و راحتی گسترش یابد. سیاستهایی که به درونی شدن پیامدهای جانبی تولید و مصرف انرژی می‌انجامد جنبهٔ رقابتی فناوری‌های پاك مانند انرژی هسته‌ای را گسترش خواهد داد. از جنبهٔ هشدارهای جهانی پرسشهای اساسی این است که جامعهٔ جهانی با چه سرعتی تصمیم به کاهش انتشار دی اکسید کربن می‌گیرد، هزینهٔ کاهش دیگر آلاینده‌ها چه میزان خواهد بود و پذیرش عمومی انرژی هسته‌ای در پاره‌ای کشورها چگونه خواهد بود؟ پیشرفت در تولید انرژی هسته‌ای و یا کنار گذاشتن آن بسته به این است که این پرسشها و نگرانیها چگونه تجزیه و تحلیل شوند و بسته به نگرانی‌هایی که به طور خلاصه ذکر شد، چگونه پاسخ داده شوند.

با وجود تمام این موارد، در سده حاضر در بازار جهانی انرژی، روندهای مربوط به انرژی هسته‌ای اثر محدودی بر بازار نفت خواهد داشت. وضع آیندهٔ نفت به چگونگی حل نگرانی‌های مربوط به آن و وضع رقبای تازه آن (گاز، انرژی‌های نو، سوخت مصنوعی، هیدروژن) از نظر هزینه‌ها، راحتی، امنیّت، پاکی و میزان وابستگی در مصرف در سال‌های آینده بستگی خواهد داشت.

پی نوشت‌ها:

43. Special Report on Emissions Scenarios (SRES)
44. Material Intensity
45. Resource- Efficient
46. Greening
47. Asia, Pacific Integrated Model
48. Morita et al.
49. Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact
50. Messener and Strubegger
51. Mini Climate Assessment Model.
52. Edmonds et al.
53. Atmospheric Stabilization Framework Model.
54. Lashof and Tirpak
55. Integrated Model to Assess the Green House Effect
56. Alcamo et al.
57. Multiregional Approach for Resource and Industry Allocation Model.
58. Mori and Takahashi
59. Occurrences
60. Unconventional
61. Conventional
62. American Petroleum Institute
63. Rogner
64. Mega Joule / US Dollar
65. Zeta- Joule: 1021 Joule
66. Economic Welfare- Oriented
67. Olkiluoto
68. Sustainable Development Vision

منابع

Zarimpas, N. (Ed.), (2003) **Transparency in Nuclear Warheads and Materials: The Political and Technical Dimensions.** Oxford University Press, Oxford.

Zink, J.C., (2002) "Sustainable energy future needs nukes". **Power Engineering 106** (10), 22.