نفت و انرژی هسته‌ای: گذشته، حال و آینده [1]

نویسندگان: فرنس ال توث و هانس هولگر رو گنر
مترجم: منوچهر مصطفی پور [2]

چکیده

بررسی رابطهٔ نفت و انرژی هسته‌ای در صحنهٔ انرژی جهان در ۵۰ سال گذشته نشان می‌دهد رقابتی که در گذشته بین نفت و انرژی هسته‌ای در بازارهای تولید برق و بازارهای گوناگون مصرف وجود داشته جای خود را به دو انرژی مکمّل داده است. امروزه این دو منبع انرژی و تکنولوژیهای مربوط به آنها با مسایلی روبه‌رو است که بعنوان عوامل تعیین کننده برای نقش این دو منبع در تعادل انرژی جهانی در آینده بررسی شده است. مسایل امروزی نفت عبارت است از: بی‌ثباتی بها، امنیّت عرضه، حمایت ژئوپلیتیکی، خطر پایان گرفتن منابع و آلودگی محیط زیست. مسایل انرژی هسته‌ای عبارت است از: جنبه‌های اقتصادی، امنیّت اجرایی، گسترش، تروریسم، دفع زباله‌های دارای رادیواکتیو و میزان پذیرش عمومی. برای رسیدن به یك تحلیل اقتصادی قوی در زمینهٔ انرژی، موضوع اکتشاف نفت و پژوهش هسته‌ای در سدهٔ ۲۱ ارزیابی شده است. این پژوهش تحلیلی جامع در مورد پیش‌بینی انرژی جهانی به‌دست می‌دهد که بر پایهٔ مجموعه‌ای از الگوهای اقتصاد انرژی و آزمون مقایسه‌ای سناریوهای بلندمدّت اقتصادی ـ اجتماعی و کمیّت‌های مربوط به آنها شکل گرفته است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۱ـ پیشگفتار

اهمیّت و نقش نفت و انرژی هسته‌ای در صحنهٔ انرژی جهانی در ۵۰ سال گذشته بر اثر عوامل گوناگون، بارها دستخوش دگرگونی شده است. شوکهای نفتی در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ و رویدادهای جزیرهٔ تری‌مایل (Tree Mile Island) و چرنوبیل نمونه‌های بارز در این زمینه است. امروزه نسبت به این دو منبع انرژی و تکنولوژیهای مربوط به آنها نگرانی بسیار وجود دارد. نگرانی‌های مربوط به نفت عبارت است از: امنیّت عرضه، حسّاسیت ژئوپلیتیکی، بی‌ثباتی بها، آلودگی آب ناشی از تأسیسات ساحلی و مربوط به نفتکشها، آلودگی خاك زمین‌هایی که در آنها فعّالیت‌های نفتی انجام می‌شود، انتشار موّاد اسیدی (NOx, SOx) و موّادی که در تغییر آب و هوای کره زمین نقش اساسی دارد دی اکسید کربن و کابوس پایان یافتن منابع نفت (برای بررسی بیشتر در زمینهٔ انرژی و محیط زیست نگاه کنید به هلدرن[3] و اسمیت[4] ۲۰۰۰).

نگرانیهای مربوط به انرژی هسته‌ای عبارت است از: اقتصادی بودن کاربرد انرژی هسته‌ای، تکثیر مواد

خطرناك، خطر تروریسم، امنیّت اجـرایی، دفع زباله‌های دارای رادیواکتیو و پذیرش افکار عمومی. تجزیه و تحلیل این موارد همراه با فرآیند پیچیدهٔ اجتماعی شامل عوامل فنّی خاص، عوامل تکنولوژیك و اقتصادی خواهد بود. این فرآیند نقش‌هایی را که ممکن است نفت بازی کند، تعیین خـواهد کـرد. از گـذشـتـه چه درس‌های مـهـمی می‌توانیم بیاموزیم؟ رهنمودهای احتمالی که ممکن است از شرایط کنونی پدید آید چیست؟ چشم‌انداز بلندمدّت صد ساله چه خواهد بود؟

در این نوشـتـار روندهای همـیـشگی و نقـاط عطف کلیـدی کـه کـاربرد نفت و انرژی هسـتـه‌ای را در گـذشـتـه شکل داده و سیاستهای اعـمـال شـده در این زمینه به گونهٔ فـشـرده بررسی می‌شـود (بخش دوم). پس از آن، وضع کنونی و مـبـاحث اصلی مـربوط به این دو منبع انرژی در آغـاز سدهٔ ۲۱ به کوتاهی بررسی می‌شود (بخش سوم). بـرای ارزیابـی انـتـظـارات کـنـونـی از نقـش نـفـت و انـرژی هسـتـه‌ای در آینده، از سناریوهای اقتصـاد جهانی، مصـرف انرژی و مسایل زیست محیطی در شـرایط گوناگون توسعهٔ اجتماعی، اقتصادی و تکنولوژیك بهره‌گیری شده است که توسط هیئت بین‌الدولی تغـییـرات آب و هوایی[5] (IPCC) بررسی شده است (بخش ۴). این پژوهش نخستین مقایسهٔ ژرف و جامع پیش‌بینی‌های IPCC را در زمینهٔ ارتباط نفت و انرژی هســـتـــه‌ای در ســـدهٔ ۲۱ به‌دست می‌دهد. این پژوهش دیدگاههای تازه‌ای دربارهٔ تفاوتهای اهمیّت دو منبع انرژی مـورد بحث در سناریوهای IPCC و نتـایج الگوها ایجاد می‌کند. مهم‌ترین یافته‌ها به گونهٔ فشرده در بخش ۵ آمده است.

۲ـ گذشته: از دو رقیب تا دو مکمّل

مطالعات در زمینهٔ تاریخ سیستم انرژی جهانی در یك سدهٔ گذشته، نشان دهندهٔ الگوی کمابیش ثابتی [در زمینهٔ انرژی‌های گوناگون] است، بدین‌گونه که منابع مـختلف انرژی در آغـاز با افـزایش و سپس با کاهش روبه‌رو بوده است.

الگوی جـانشـینی لجـسـتـیك[6] کـه مـارچتی[7] و ناکی سنوویچ[8] در ۱۹۷۹ پیـشنهـاد کـرده است، شـبکهٔ پیچـیـده کنش و واکنش بین عوامل مهّم تشکیل دهندهٔ بخش انرژی (دسترسی به منابع، تکنولوژیها، سیستم توزیع و هزینه‌های عـرضـه از یك سـو و شیـوهٔ زندگی، سـلایق، ترجـیحـات و سطوح درآمـدی تعیین کنندهٔ تقاضا از سـوی دیگر) را در یك طرح سـاده ولی جـامع گـرد آورده است. الگوهای تازه نشان می‌دهد که سهم نفت در عرضهٔ جهانی انرژی در ربع سوم سدهٔ بیستم، یعنی زمانی که انرژی هسته‌ای به میدان آمده، افزایش یافته است، هرچند انرژی هسته‌ای تنها سبب این افـزایش نبـوده است (ناکی سنوویچ، ۱۹۹۶). افـزایش پیوسته بهای نفت در نیمهٔ نخست سدهٔ بیستم، در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ به سـبب بازسـازی پس از جنگ جـهـانی دوم و رشد پایدار اقتصـادی در کشورهای عضو OECD، گسـترش سـریع حـمل‌ونقل جاده‌ای و ریلی، رشد صنعت پتروشیمی، گرمایش فضاهای مسکونی و تجاری و تولید برق شـدت گـرفت. نفت در چند دههٔ گـذشـتـه برتری بی‌چون‌وچرای خود را در ترابری جاده‌ای و ریلی و بعنوان مادهٔ اوّلیهٔ صنایع گوناگون حفظ کرده است، امّا در بازارهای گرمایش خانگی و صنعتی با گاز و دست‌کم در تولید برق با انرژی هسته‌ای به گونهٔ جدّی رقابت داشته است. کاربرد انرژی هسته‌ای در تولید برق سبب شده است که بیشتر تولیدکنندگان نفت به انرژی هسته‌ای بعنوان رقیب اصلی نفت توجّه کنند. تحلیل تاریخی کوتاه نشان می‌دهد که این برداشت تا چه اندازه درست است و آیا انرژی هسـتـه‌ای

○ نگرانی‌های مربوط به نفت عبارت است از: امنیّت عرضه، حسّاسیت ژئوپلیتیکی، بی‌ثباتی بها، آلودگی آب ناشی از تأسیسات ساحلی و مربوط به نفتکشها، آلودگی خاك زمین‌هایی که در آنها فعّالیت‌های نفتی انجام می‌شود، انتشار موّاد اسیدی (NOx, SOx) و موّادی که در تغییر آب و هوای کره زمین نقش اساسی دارد، دی اکسید کربن و کابوس پایان یافتن منابع نفت.

○ نگرانیهای مربوط به انرژی هستهای عبارت است از: اقتصادی بودن کاربرد انرژی هستهای، تکثیر مواد خطرناك، خطر تروریسم، امنیّت اجرایی، دفع زبالههای دارای رادیواکتیو و پذیرش افکار عمومی. تجزیه و تحلیل این موارد همراه با فرآیند پیچیدهٔ اجتماعی شامل عوامل فنّی خاص، عوامل تکنولوژیك و اقتصادی خواهد بود.

خطری برای بازارهای صادرات نفت شمرده میشود یا نه.

برای بررسی دقیق رقابت بین انرژی هستهای و نفت باید بدانیم در کدام بازار ممکن است چنین رقابتی پدید آید. رقابت بین این دو منبع انرژی ممکن است در دو مورد رخ دهد. نخست در بازار تولید برق، که بین این دو انرژی و البتّه دیگر سوختها رقابت مستقیم وجود دارد. مورد دوم، رقابت غیرمستقیم است و بازارهای گوناگون مصرف را که در آنها برق با فرآوردههای نفتی، گاز طبیعی، زغال سنگ و... رقابت دارد، دربرمیگیرد.

۱ـ۲ـ تولید برق

برپایهٔ دادههای آماری، در نخستین سالهای دههٔ ۱۹۷۰ کمابیش ۲۵درصد برق جهان با کاربرد نفت تولید میشده است (۱۹۷۳). در آن زمان انرژی هستهای ۳درصد از بازار برق را در دست داشته و سهم دیگر منابع به ترتیب زیر بوده است: زغال سنگ ۳۸درصد، برق آبی ۲۱درصد، گاز طبیعی ۱۲درصد و منابع تجدیدپذیر غیر از برق آبی ۰/۷درصد. تا سال ۲۰۰۲ ساختار عرضهٔ جهانی برق بویژه در ارتباط با نفت و انرژی هستهای دگرگون شده است. سهم نفت به ۷/۲درصد کاهش پیدا کرده درحالی که سهم انرژی هستهای به ۱۶/۶درصد افزایش یافته است. سهم زغال سنگ با اندکی افزایش به ۳۹درصد رسیده است، سهم برق آبی به ۱۶/۲درصد کاهش یافته، سهم گاز طبیعی به ۱۹/۱درصد و سهم منابع تجدیدشدنی جز برق آبی به ۱/۹درصد افزایش یافته است. کمابیش ۷۵درصد از کاهش ۱۸درصدی سهم نفت را انرژی هستهای جذب کرده است. بیگمان در پی افزایش هزینههای مربوط به نفت، انرژی هستهای یکباره نقش پررنگی در بازار برق پیدا کرده است. به هر رو آمارها نشان میدهد که نفت شرایط متفاوتی دارد: نخست اینکه از ۱۹۷۳ تا ۲۰۰۲ کل تولید برق از ۶۱۰۰ تریلیون وات ساعت (TWh) به ۱۶۰۷۴ تریلیون وات ساعت افزایش یافته است. با چنین رشدی حتّی کاهش سهم بازار به معنی کاهش مقدار نیست. در واقع میزان نفت تحویلی به نیروگاهها در ۱۹۷۳ و ۲۰۰۳ به هم نزدیك و در حدود ۲۸۰ میلیون تن[9] (Mote) بوده است. (IEA, 2004).

کاهش نسبی سهم نفت در تولید برق به دو سبب است. سبب نخست، تکنولوژیك است. هنگامی که بهای نفت در ۱۹۸۶ سیر نزولی یافت، نفت نتوانست سهم از دست رفته در بخش نیرو را دوباره بهدست آورد. در برابر، تقاضا برای گاز طبیعی در میان سوختهای مورد نیاز در تولید برق سریعترین رشد را داشته است. بهبود فناوری توربینهای گازی و سیکل ترکیبی (کارایی بالا، هزینه راهاندازی پایین، توان بار بالا و بار پایه[10]، زمان کم برای ساخت) در کنار سازگاری با اهداف و سیاستهای زیستمحیطی کاهش آلودگی هوا و اسیدی کردن مناطق، از عواملی بوده است که سبب گرایش به بهرهگیری از گاز طبیعی در مناطقی شده است که دارای ذخایر گاز بودهاند یا با بهای مناسب به آن دسترسی داشتهاند.

دلیل دوم این است که سیاست دولتها در بیشتر کشورهای عضو OECD در پی سیاستهای اعمال شده از سوی اوپك (OPEC) و افزایش بهای نفت در دههٔ ۱۹۷۰ و آغاز دههٔ ۱۹۸۰ دگرگون شده است. بویژه کشورهایی که منابع انرژی محدود دارند کوشیدهاند جانشینی برای نفت پیدا کنند که در بلندمدّت بتواند اقتصاد آنها را در برابر اختلالات طرف عرضه حفظ کند و از بستگی به واردات انرژی بکاهد.

کریشن[11] (۲۰۰۲) با کاربرد الگوی همزمان عرضه و تقاضا برای بازارهای جهانی نفت خام و گاز طبیعی، دگرگونی ساختار بازار را پس از ۱۹۷۳ برآورد کرده و دریافته که عرضه و تقاضای نفت و گاز در کوتاه مدّت

نسبت به بها به شدّت بی‌کشش است. به هر رو به سبب دسترسی آسان به تکنولوژیها و زنجیره‌های سوختی غیرنفتی در تولید برق، جانشینی سوخت‌های دیگر با نفت در این بخش امر پیچیده‌ای نیست. این استدلال برای کاهش کشش بلندمدّت تقاضا نیز درست است. در دیگر بخشها مانند حمل‌ونقل، در کوتاه‌مدّت جایگزینهای مناسبی برای فرآورده‌های نفتی وجود ندارد و تنها گزینه، کاهش خدمات مربوط به انرژی یا دگرگونی رفتار [مصرفی] است.

پس از بحران نفتی ۱۹۷۳ که امنیّت عرضهٔ نفت نگرانی اصلی بیشتر کشورهای واردکنندهٔ نفت شده است، انرژی هسته‌ای به نخستین رقیب نفت در تولید برق تبدیل شده است. اظهارات سیاسی مانند سخنرانی فورد[۱۲] رئیس‌جمهوری پیشین آمریکا در ۱۹۷۳ مبنی بر کاهش واردات نفت آمریکا تا یك میلیون بشکه در روز تا پایان ۱۹۷۵ و کاهش شمار نیروگاههای مصرف کنندهٔ نفت تا ۱۹۸۰، به این موضوع شدّت بخشید. همچنین اهداف سیاسی سبب شده است که بسیاری از تحلیلها در پی استراتژی‌های کاربردی باشد. برای نمونه، هولومون و دیگران[۱۳](۱۹۷۷) با در نظر گرفتن دورهٔ ۴ تا ۵ ساله برای دو برابر شدن ظرفیّت هسته‌ای، تحلیل انرژی[۱۴] را برای تعیین مقدار بهینهٔ جانشینی نفت به صورت تابعی از نرخ گسترش انرژی هسته‌ای به کار برده‌اند. این نرخ گسترش در بلندمدّت برای همهٔ کشورها یکسان نیست.

انرژی هسته‌ای در بیشتر کشورهای صنعتی به سبب منافع ذاتی‌اش مانند هزینه‌های پایین سوخت، مصرف کم سوخت و زبالهٔ کم، پراکندگی یکنواخت منابع عظیم انرژی هسته‌ای از نظر جغرافیایی (در مقایسه با نفت)، امکان ذخیره کردن سوخت برای بلندمدّت، جذابیّتهای مربوط به تکنولوژی پیشرفتهٔ انرژی هسته‌ای و پتانسیل سودهای ناشی از مقیاس بزرگ، هنوز هم مورد توجّه است. افزون بر این انرژی هسته‌ای در کشورهایی مانند فرانسه، سوئد، ژاپن، سوئیس، کره، بلژیك و آلمان تکنولوژیهای متنوّع به بار آورده و سبب امنیّت عرضه شده است. درك این مفهوم که عمر نفت با سرعت رو به پایان است (براین اساس که بهای هر کالا نشانهٔ میزان کمیابی آن کالا است) و دیدگاه غالب مبنی بر حفظ نفت برای بازارهای اولویّت‌دار مانند ترابری و موّاد اوّلیهٔ شیمیایی و خودداری از سوزاندن آن در بازار بزرگ تولید برق نیز سیاست تأمین انرژی را در جهت رها شدن از نفت ترغیب کرده است.

۲ـ۲ـ رقابت غیرمستقیم

وجه دوم رقابت نفت و انرژی هسته‌ای، غیرمستقیم است: برق هسته‌ای در برابر مصرف نهایی فرآورده‌های نفتی، دربرگیرندهٔ رقابت غیرمستقیم عوامل بسیار همچون عوامل اقتصادی، بهره‌وری، آسایش، قوانین و مقرّرات، در دسترس بودن، کیفیّت و ترجیحات اجتماعی است. این عوامل فضای رقابت میان برق و فرآورده‌های نفتی را در بازارهای خانگی، تجاری، صنعتی، موّاد اوّلیه و ترابری محدود می‌کند. ویژگی سوختها و تکنولوژیهای تبدیلی آنها در برابر یك انرژی خاص می‌تواند بعنوان مزیّت یا عیب شمرده شود. چنان‌که شاهد بوده‌ایم در دهه‌های گذشته با وجود جهت‌گیری سیاستهای دولت به سود کاربرد سوختهای غیرنفتی، مانند اتومبیلهای برقی، شبکهٔ ترابری همچنان فرآورده‌های نفتی را به‌کار می‌برد. افزون بر این بیشتر خدمات انرژی تنها از آن نیروی برق بوده است (اطلاعات و ارتباطات، روشنایی، کنترل و...) و

○ در نخستین سالهای دههٔ ۱۹۷۰ کمابیش ۲۵ درصد برق جهان با کاربرد نفت تولید می‌شده است (۱۹۷۳). در آن زمان انرژی هسته‌ای ۳ درصد از بازار برق را در دست داشته و سهم دیگر منابع به ترتیب زیر بوده است: زغال سنگ ۳۸ درصد، برق آبی ۲۱ درصد، گاز طبیعی ۱۲ درصد و منابع تجدید شدنی غیر از برق آبی ۰/۷ درصد. تا سال ۲۰۰۲ ساختار عرضهٔ جهانی برق بویژه در ارتباط با نفت و انرژی هسته‌ای دگرگون شده است.

فرآورده‌های نفتی نقشی در این زمینه‌ها ندارد. برق یك تکنولوژی انرژی نهایی است که هیچ‌گونه آلودگی ندارد، کارایی‌اش زیاد است چند منظوره است و مصرف آن آسان است. شگفت‌انگیز نیست که برق در میان حاملهای انرژی سریعترین رشد را در جهان داشته است. مصرف نفت در کشورهای عضو OECD جز در بخشهای ترابری و شیمیایی (بعنوان موّاد اولیّه) در بخش‌های خانگی، تجاری و صنعتی به سبب افزایش کاربرد برق و گاز طبیعی بسیار کاهش یافته است (۷۰۷ میلیون تن معادل نفت (Mote) در ۱۹۷۳ به ۴۰۳ میلیون تن در ۲۰۰۲). در کشورهای رو به توسعه، از ۱۹۷۳ تا ۲۰۰۲ مصرف نفت در این بخش‌ها از ۱۲۴ میلیون تن معادل نفت به ۳۵۴ میلیون تن معادل نفت افزایش یافته است (IEA، ۲۰۰۴). ولی در سطح جهانی، مصرف نفت در این بخشها در همان دوره از ۹۶۰ میلیون تن معادل نفت به ۸۱۱ میلیون تن معادل نفت کاهش یافته است.

ارتباط غیرمستقیم دیگری که تا اندازه‌ای وجود دارد، جانشینی انرژی هسته‌ای با دیگر منابع انرژی در تولید برق است که می‌تواند سبب جانشینی دیگر انرژی‌ها با نفت در بخش‌های گوناگون شود. بویژه ممکن است انرژی هسته‌ای جانشین گاز طبیعی در تولید برق شود و گاز طبیعی می‌تواند در بخش ترابری یا بازار سوختهای حرارتی جانشین نفت شود.

○ انرژی هسته‌ای در بیشتر کشورهای صنعتی به سبب منافع ذاتی‌اش مانند هزینه‌های پایین سوخت، مصرف کم سوخت و زبالهٔ کم، پراکندگی یکنواخت منابع عظیم انرژی هسته‌ای از نظر جغرافیایی (در مقایسه با نفت)، امکان ذخیره کردن سوخت برای بلندمدّت، جذابیّتهای مربوط به تکنولوژی پیشرفتهٔ انرژی هسته‌ای و پتانسیل سودهای ناشی از مقیاس بزرگ، هنوز هم مورد توجّه است.

با توجّه به آنچه در مورد رقابت غیرمستقیم بین انرژی هسته‌ای و فرآورده‌های نفتی گفته شد، بررسی سهم بازار برق از کّل انرژی بعنوان تابعی از تولید برق هسته‌ای در کشورهای گوناگون سودمند خواهد بود. برای نمونه در فرانسه ۷۸ درصد تولید برق با انرژی هسته‌ای صورت می‌گیرد، درحالی که سهم برق از کّل انرژی ۲۰درصد است. این دو شاخص به ترتیب برای دیگر کشورها از قرار زیر است: آلمان (۲۹درصد ـ ۱۸درصد) آمریکا (۲۰درصد ـ ۱۹درصد)، ژاپن (۲۷درصد ـ ۲۴درصد). در برابر، در کشورهایی که انرژی هسته‌ای ندارند سهم برق از کّل انرژی به این شکل است. استرالیا ۲۳درصد، اتریش ۱۹درصد، ایتالیا و دانمارك هر کدام ۱۸درصد. این آمارها نشان می‌دهد که میزان کاربرد انرژی هسته‌ای در تولید برق اثر اندکی بر سهم برق از کّل انرژی دارد و بدین‌سان بین انرژی هسته‌ای و نفت رقابت غیر مستقیم معنی‌داری وجود دارد.

به سخن کوتاه، از ۱۹۷۳ سهم انرژی هسته‌ای در تولید برق همراه با کاهش سهم نفت افزایش یافته است. از دید مقدار، فروش نفت به نیروگاه‌های تولید برق کاهش نیافته بلکه اندکی افزایش پیدا کرده است. کاهش مصرف فرآورده‌های نفتی در بخشهای مصرفی جز ترابری را نمی‌توان با انرژی هسته‌ای مربوط دانست. در برخی موارد استثنایی مانند سوئد برای گرمایش ساختمانها و حتّی تا اندازه‌ای در حوزهٔ حرارتی برق هسته‌ای را جایگزین نفت کرده‌اند. به هر رو، عوامل زیادی در کاهش نسبی مصرف نفت در منطقهٔ OECD اثر داشته که اقدامات ژئوپلیتیکی و بهاگذاری نفت از سوی اوپك بزرگترین سبب آن است.

۳ـ امروز: وضع بازار و نگرانیهای عمومی

رابطهٔ کنونی انرژی هسته‌ای و نفت با رابطهٔ آنها در چند دههٔ پیش یکسره متفاوت است. در آغاز سدهٔ ۲۱، انرژی هسته‌ای و نفت در بخشهای گوناگون برای تولید برق هدفبندی شده‌اند که در بلندمدّت همپوشی کمی دارند. در بیشتر کشورهای صنعتی که محدودیّتهای

زیست محیطی وجود ندارد، نفت کوره بیشتر برای تولید برق به کار می‌رود و کاربردهای دیگری ندارد. با این حال، پالایشگاههای پیشرفته نسبت بیشتری از یك بشکه نفت را به موّاد دارای ارزش افزودهٔ بالا تبدیل و مقرّرات سخت زیست محیطی، کاربرد نفت کوره را برای تولید برق محدود می‌کند. موارد دیگر کاربرد نفت عبارت است از: زمان اوج مصرف، بعنوان سوخت ذخیره و نیز برای تولید برق به منظور توزیع بیرون از شبکه. این بازارها تا اندازه‌ای نیازمند نفت هستند ولی ممکن است در آینده با پیدایش منابع سوختی تازه، دچار دگرگونی شوند. از آنجا که انرژی هسته‌ای نقشی در این بازارها ندارد، انتظار می‌رود حضور انرژی هسته‌ای در بازار تولید برق اثری بر آن نداشته باشد.

تولید برق در مناطق دوردست و جدا از شبکهٔ توزیع، که بیشتر با کاربرد گازوییل صورت می‌گیرد، تنها مورد وابستگی تولید برق به فرآورده‌های نفتی است که انرژی هسته‌ای (دست‌کم با تکنولوژی کنونی) می‌تواند جایگزین آن شود. در کشورهای صنعتی، بازارهای دوردست بیشتر محیطی دست نخورده دارد وامروزه در این مناطق گرایش به جایگزین کردن انرژیهای نو برای تولید برق، بیشتر است. در کشورهای عضو OECD که شبکه برق بیش از ۹۵درصد مناطق را می‌پوشاند بازارهای دوردست برق گسترش نمی‌یابد.

بی‌گمان در کشورهای رو به توسعه که بیشتر جمعیّت نزدیك به ۲میلیاردی آنها در مناطق دوردست روستایی ساکنند و به برق دسترسی ندارند شرایط با آنچه در کشورهای صنعتی می‌گذرد یکسان نخواهد بود. این امر دو سبب دارد: نخست نارسایی ساختارهای تولید، انتقال و توزیع برق و دوم پایین بودن قدرت خرید. افزون بر این، بیشتر شبکه‌ها کوچك و ضعیف است و با انرژی هسته‌ای سازگاری ندارد. از این‌رو در این مناطق نفت بعنوان سوخت دلخواه برای تولید برق مطرح است. جنبه‌های اقتصادی (بهای سوخت)، و نیز داشتن اطمینان و آسایش در مصرف نفت از عوامل تعیین کننده در رقابت نفت با انرژیهای نو ـ نه انرژی هسته‌ای ـ در این بازارها است. کولهه و دیگران[15] (۲۰۰۲) به کارگیری میزان هزینه دورهٔ زندگی[16] در کشورهند، قابلیّت اقتصادی سیستمهای

○ گفتمان عرضه و تقاضا، تکنولوژیها، منابع، امنیّت و بهای انرژی و نقش آنها در توسعهٔ اقتصادی، در چند دهه گذشته از مهم‌ترین مسایل اجتماعی بوده است. در این سالها شاهد موج تازهٔ گفتمان انرژی بوده‌ایم؛ مانند منابع مناسب عرضهٔ انرژی، سطح بهینهٔ اجتماعی و روشهای مقرّرات‌زدایی و آزادسازی در بخش انرژی. در کشورهای رو به توسعه و درحال گذار، خصوصی‌سازی نیز به این موارد افزوده شده است.

خورشیدی خوداتکاء[17] درمقایسه با کاربرد گازوییل برای تولید برق را تحلیل کرده‌اند. یافته‌های آنان نشان می‌دهد که سیستم خورشیدی، در شرایط نامناسب اقتصادی، روزانه تا ۱۵ کیلووات ساعت و در شرایط مناسب اقتصادی تا ۶۸ کیلو وات ساعت برق با کمترین هزینه تولید می‌کند.

گفتمان عرضه و تقاضا، تکنولوژیها، منابع، امنیّت و بهای انرژی و نقش آنها در توسعهٔ اقتصادی، در چند دهه گذشته از مهم‌ترین مسایل اجتماعی بوده است. در این سالها شاهد موج تازهٔ گفتمان انرژی بوده‌ایم؛ مانند منابع مناسب عرضهٔ انرژی، سطح بهینهٔ اجتماعی و روشهای مقرّرات‌زدایی و آزادسازی در بخش انرژی. در کشورهای رو به توسعه و درحال گذار، خصوصی‌سازی نیز به این موارد افزوده شده است. مسایل زیست محیطی مانند بارانهای اسیدی و دگرگونی آب و هوایی و تعیین قیمتهایی که هزینه‌های کامل اجتماعی انواع انرژی را نشان دهد، در کنار نگرانیهای مربوط به در دسترس بودن آن و توانایی دسترسی فقیرترین گروههای جامعه، بعنوان بخشی از توسعهٔ پایدار انرژی، اصلی‌ترین چالشهای مربوط به انرژی بوده است (کرویت[18] ۲۰۰۲).

در اینجا به مواردی از مباحث پیچیدهٔ مرتبط با نفت و انرژی هسته‌ای و جهت‌گیری تجزیه و تحلیلها در مورد

○ از دههٔ ۱۹۹۰ کشورهای آسیایی و رو به توسعه تأکید بیشتری بر ساخت نیروگاه هسته‌ای داشته‌اند. اگر سرعت رشد تقاضای انرژی زیاد و منابع جایگزین کمیاب باشد و نیز در پی امنیّت عرضهٔ انرژی و کاهش آلودگی هوا و گازهای گلخانه‌ای باشیم، نیروگاه‌های هسته‌ای تازه جذابیّت بیشتری می‌یابد. در چین، هند، ژاپن و کره که امروزه بیشترین نیروگاههای هسته‌ای را در دست ساخت دارند، یك یا چند مورد از این گونه موارد وجود دارد.

آیندهٔ نفت و انرژی هسته‌ای می‌پردازیم. بی‌گمان مباحث مربوط به نفت از دیگر منابع تجدیدناشدنی بسیار بیشتر بوده است. برخی تحلیلگران هرچندگاه بی‌توجّه به جنبه‌های مربوط به منابع طبیعی و اقتصاد انرژی و دگرگونیهای تکنولوژیك، خطر بسیار نزدیك خالی شدن آخرین چاه نفت را گوشزد می‌کنند. برای نمونه مؤسّسهٔ مطالعاتی ASPO[۱۹] بیشترین میزان تولید جهانی نفت را تا ۲۰۰۸ برآورده کرده و برای جلوگیری از بروز اختلالات شدید اقتصادی و اختلالات عمده در زمینهٔ عرضه در گذار به جهانِ پس از نفت، پیشنهاد می‌کند که یك پیمان بین‌المللی (The Uppsala Protocol) در این زمینه بسته شود (ASPO, 2004). با اینکه روشن است که یك منبع محدود رفته رفته کم خواهد شد و سرانجام به پایان خواهد رسید، ولی میزان کم شدن و زمان پایان گرفتن آن چندان روشن نیست؛ برای نمونه نگاه کنید به اودل[۲۰] (۲۰۰۴). در زمینه مقدار و زمان نامشخّص پایان گرفتن منابع نفتی سناریوهای گوناگون تهیه شده است. دومین موضوعی که امروزه به گونهٔ اساسی مطرح است، امنیّت عرضه است. روشن است که تمرکز حجم زیاد منابع قابل عرضه در یك منطقهٔ ژئوپلیتیك که در سالها (حتّی دهه‌های) گذشته با بی‌ثباتی‌های بسیار روبه‌رو بوده و سبب افزایش ریسك نااطمینانی در عرضهٔ نفت شده است. در دست داشتن امنیّت عرضه مورد علاقهٔ جدی کشورهای این منطقه است. افزایش هزینه‌های معاملات تأمینی[۲۱] یا خسارات ناشی از اختلالات در عرضه و گذشتن آن از میزانی معیّن، در مناطق مهّم مصرف کننده‌ای که به چشم‌انداز میان مدّت و بلندمدّت بازار خدشه وارد کند ممکن است انگیزه‌ای نیرومند برای دگرگونی سیاست انرژی و تکنولوژیهای مربوط به آن باشد. مسئلهٔ دیگری که بیشتر در مباحث جاری مربوط به انرژی مورد توجّه قرار می‌گیرد. بی‌ثباتی بهای نفت است. برای مدیریّت این مسئله ابزارهای گوناگون به‌کار گرفته شده است. این ابزارها از پیمانهای بلندمدّت تا ابزارهای مالی برای تأمین معاملات در برابر تکانه‌های پیش‌بینی نشده بر بهای نفت خام را دربرمی‌گیرد.

در مورد انرژی هسته‌ای این نگرانیها وجود ندارد. منابع اورانیوم فراوان و در مناطق گوناگون جهان گسترده است (روگنر[۲۲]، ۲۰۰۰). یك نیروگاه هسته‌ای به آسانی می‌تواند سوخت مورد نیاز چند سال را در خود جا دهد. هزینهٔ استخراج اورانیوم تنها ۲ تا ۳درصد از هزینه‌های تولید انرژی هسته‌ای است (می‌توان هزینهٔ سوخت را به ۰/۶ سنت برای هر کیلو وات ساعت رساند). بهای سوخت هسته‌ای در بلندمدّت در سطح پایین و باثباتی قرار داشته است. از این رو نگرانیهای مربوط به انرژی هسته‌ای ماهیّتی یکسره متفاوت دارد.

هرچند انرژی هسته‌ای در کشورهای گوناگون بهترین گزینه برای تولید برق بوده، مناقشات پیوسته در زمینهٔ جنبه‌های اقتصادی، امنیّت اجرایی، دفع زباله و خطر تکثیر آن دورنمای انرژی هسته‌ای راتیره کرده است. افزون بر این، در اروپای غربی و آمریکای شمالی به سبب ترکیبی از رشد اقتصادی پایین، ظرفیّت مازاد در تولید و مقرّرات‌زدایی از بازار، در سالهای گذشته شمار بسیار کمی [نیروگاه] با ظرفیّت نامی بالا ساخته شده است. با توجّه به پایان عمر مفید شمار چشمگیری از نیروگاه‌های فسیلی و اتمی در دو دههٔ آینده شاید این امر روند بهتری پیدا کند. با وجود اینکه دربارهٔ تولید برق با توربینهای گازی، انرژی‌های تجدیدشدنی یا حتّی پیل‌های سوختی بسیار

سخن گفته می‌شود، ظرفیّت تقاضای بسیار برای برق در بار نامی وجود خواهد داشت. بی‌گمان امروزه انرژی هسته‌ای گزینهٔ تکامل یافته و قابل جایگزینی برای پاسخگویی به تقاضای برق در بار نامی است. اثر بسیاری از تحلیلهای مربوط به نگرانی‌های کنونی و آینده در مورد جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی عرضهٔ انرژی این بوده که انرژی هسته‌ای بعنوان بخشی از ترکیب انرژی جهانی مورد نیاز است (رودز و بلر[۲۳]، ۲۰۰۰؛ سیلور و دیگران[۲۴]، ۲۰۰۰؛ رادزکی[۲۵]،۲۰۰۰؛ روتول[۲۶]،۲۰۰۰ و ۲۰۰۴) برپایهٔ شمار روزافزونی از بررسیها، انرژی هسته‌ای باید بخش مهمّی از استراتژی‌های توسعهٔ انرژی پایدار باشد (هالدی و دیگران[۲۷]، ۲۰۰۲؛ زینك[۲۸]، ۲۰۰۲)، هرچند برخی تحلیلگران تأکید دارند که انرژی هسته‌ای همهٔ مقدّمات ایجاد انرژی پایدار را فراهم نمی‌آورد (بروگینگ و فان‌درزوان[۲۹]، ۲۰۰۲).

در کوتاه مدّت از دید اقتصادی با توجّه به هزینه‌های سرمایه‌گذاری و هزینه‌های سوخت، این گمان وجود دارد که برای تولید برق اضافی در کشورهای عضو OECD بیشتر زغال سنگ و گاز طبیعی به کار رود. (کاربرد منابع تجدیدشدنی به گونهٔ قانونی تصویب شده یا سوبسیدهای بسیار برای آن در نظر گرفته شده است). در واقع در منطقهٔ OECD زغال سنگ و گاز فراوان وجود دارد و سوختهای فسیلی به سبب پایین بودن هزینه‌های سرمایه‌ای (و هزینه‌های استهلاك) مورد توجّه کارخانه‌ها و نهادهای مالی است. هرچند در خیلی از موارد انرژی هسته‌ای می‌تواند با هزینه‌های مشابه سوخت فسیلی یا ارزانتر از آن تولید شود، ولی به‌نظر می‌رسد زمان بیشتر بازگشت سرمایه و بالاتر بودن هزینهٔ سرمایه‌گذاری برای تولید انرژی هسته‌ای از موانع جایگزینی وسیع آن با سوخت فسیلی باشد.

از دههٔ ۱۹۹۰ کشورهای آسیایی و رو به توسعه تأکید بیشتری بر ساخت نیروگاه هسته‌ای داشته‌اند. اگر سرعت رشد تقاضای انرژی زیاد و منابع جایگزین کمیاب باشد و نیز در پی امنیّت عرضهٔ انرژی و کاهش آلودگی هوا و گازهای گلخانه‌ای باشیم، نیروگاه‌های هسته‌ای تازه جذابیّت بیشتری می‌یابد. در چین، هند، ژاپن و کره که امروزه بیشترین نیروگاههای هسته‌ای را در دست ساخت دارند، یك یا چند مورد از این‌گونه موارد وجود دارد.

با وجود رشد کُند ولی پیوستهٔ ظرفیّت تولید برق در جهان، رشد «تولید» برق هسته‌ای بیشتر از «ظرفیّت» آن بوده است، به‌گونه‌ای که مدیریّت بهتر در شرایط رقابتی، ظرفیّت تولید برق نیروگاه‌های هسته‌ای را بی‌ساخت نیروگاه تازه تا ۳۰ گیگا وات افزایش داده است. امروزه بخش بزرگی از نیروگاههای هسته‌ای جهان دارای کم‌هزینه‌ترین ژنراتورها هستند.

با اینکه در ۱۸ سال گذشته انرژی هسته‌ای از عالیترین استانداردهای امنیّتی برخوردار بوده است، در بیشتر کشورها امنیّت آن یکی از نگرانی‌های اصلی است. هرچند گاه بستن راکتورها به سبب مسایل امنیّتی نشان دهندهٔ استانداردهای ایمنی بالا و روبه رشد است و متصدیان با بروز کمترین نشانهٔ عیب در نیروگاه آن را خاموش و وارسی می‌کنند.

مشکلات بهداشتی بر اثر فعّالیت عادی انرژی هسته‌ای تجاری در جایی دیده نشده است. بیشتر پژوهشهای تأیید شده نشانگر آن است که بین مرگهای ناشی از سرطان و فعّالیت نیروگاهها ارتباطی نیست. هنوز در مورد ارتباط بیماری خاصّی با فعّالیت عادی نیروگاه‌های هسته‌ای حرف و حدیث‌ها بسیار است. گویزارد و دیگران[۳۰] (۲۰۰۱) و دیکینسون[۳۱] و پارکر[۳۲] (۲۰۰۲) سرطان خون دوران کودکی را در دو منطقه بررسی کرده‌اند و به این نتیجه

○ حادثهٔ چرنوبیل، که در ۱۹۸۶ به دلایل خاص و در سایهٔ شرایط ویژهٔ آن زمان مورد توجّه قرار گرفت، سبب شد که سطح ایمنی بهره‌گیری از انرژی هسته‌ای در اتّحاد جماهیر شوروی و اروپای شرقی بهبود یابد. شاخصها نشان می‌دهد که امروزه میزان موّاد رادیواکتیو در بدن کارکنان نیروگاه‌های هسته‌ای پایین آمده و تعطیلی‌های برنامه‌ریزی نشده کاهش یافته است.

رسیده‌اند که هر چند کنترل موّاد رادیو اکتیو باقی مانده از گذشته، مانند بقایای تولید فسفات در سلافیلد[۳۳] در جنگ جهانی دوم دشوار است، بین یك مکان جغرافیایی و وراثت و ابتلا به سرطان خون از دید آماری ارتباط معنی‌داری وجود ندارد. بررسیهای دیگر نشان می‌دهد که گمان کمی می‌رود که مرگهای سرطانی و بیماری‌های غیر سرطانی در میان کارگران در بخش انرژی هسته‌ای آمریکا نسبت به دیگر افراد بیشتر باشد (هو و دیگران[۳۴]، ۲۰۰۴). با این حال، مسئلهٔ امنیّت بعنوان یك بحث کلیدی مطرح است. بیشتر مردمان از بهبود مداوم استانداردها و راه‌حل‌های امنیّتی در بهره‌گیری از نیروگاه‌های کنونی آگاهی ندارند. هر چند با حادثه جزیرهٔ «تری‌مایل» در ۱۹۷۹، هیچ‌گونه موّاد رادیو اکتیوی در محیط منتشر نکرد ولی بازنگری گسترده در مسایل امنیّتی نیروگاه‌های هسته‌ای را سبب شد، و امنیّت انرژی هسته‌ای در جهان غرب تقویت شد. حادثهٔ چرنوبیل، که در ۱۹۸۶ به دلایل خاص و در سایهٔ شرایط ویژهٔ آن زمان مورد توجّه قرار گرفت، سبب شد که سطح ایمنّی بهره‌گیری از انرژی هسته‌ای در اتّحاد جماهیر شوروی و اروپای شرقی بهبود یابد. شاخصها

○ شاید حسّاسترین مسئلهٔ مربوط به انرژی هسته‌ای در سالهای آغازین سدهٔ ۲۱، گسترش جنگ افزارهای هسته‌ای و نگرانیهای مربوط به آن در زمینهٔ تروریسم هسته‌ای باشد. رویدادهای سالهای گذشته نقاط ضعف پیمانهای بین‌المللی موجود و مکانیزم‌های اجرای آنها را نمایان ساخته و نشان داده است که مهمترین چالشی که امروزه انرژی هسته‌ای با آن روبه‌رو است ایجاد شرایط مناسب برای مدیریّت چرخهٔ سوخت هسته‌ای به‌منظور جلوگیری از گسترش آن و برطرف کردن خطر کاربرد نادرست موّاد هسته‌ای است.

نشان می‌دهد که امروزه میزان موّاد رادیواکتیو در بدن کارکنان نیروگاه‌های هسته‌ای پایین آمده و تعطیلی‌های برنامه‌ریزی نشده کاهش یافته است.

به هر رو هنوز رویدادهای فاجعه‌آمیز گذشته بر این واقعیّت که در جهان کنونی با نزدیك به ۱۱۰۰۰ راکتور ـ سال فعّالیت هسته‌ای هیچ حادثه‌ای رخ نداده، سایه افکنده است. پیش‌بینی می‌شود که رفته‌رفته کاربرد انرژی هسته‌ای دیدگاه مثبتی در زمینهٔ امنیّت اجرایی آن ایجاد کند. نیروگاههای تازه با به کارگیری تکنولوژیهایی در اصل ایمن، به گونه‌ای طرّاحی شده که جنبه‌های امنیّتی آنها به گونهٔ چشمگیر بهتر شده است (ویلیامز[۳۵]، ۲۰۰۰). این راکتورهای پیشرفته وجوه امنیّتی تازه‌ای دارد و می‌توان انتظار داشت که حتّی از انواع راکتورهای مطرح کنونی نیز مطمئن‌تر و ایمن‌تر باشد.

دومین مورد نگرانی همگانی دربارهٔ تولید برق هسته‌ای، ذخیرهٔ پسماندهای هسته‌ای و دیگر زباله‌های رادیو اکتیو است، بویژه آنهایی که مدّتها باید بگذرد تا از میان برود. امروزه علم مواد، تحقیقات زمین‌شناسی و دیگر رشته‌ها پیشرفت چشمگیری در این زمینه داشته و به نظر می‌رسد که راه‌حلهای مناسبی برای این مسئله پیدا شود. بدنیست میزان زبالهٔ ناشی از تکنولوژیهای گوناگون در زمینهٔ تولید برق را با یکدیگر بسنجیم. یك نیروگاه هسته‌ای ۱۰۰۰ مگاواتی سالانه نزدیك ۳۰ تن پسماند دارای رادیواکتیو بالا و ۸۰۰ تن زبالهٔ دارای رادیواکتیو پایین و متوسّط تولید می‌کند. حجم زباله‌های کم پرتو را با فشرده‌سازی می‌توان کاهش داد. در برابر، یك نیروگاه برق ۱۰۰۰ مگاواتی ذغالی سالانه کمابیش ۳۲۰۰۰۰ تن خاکستر تولید می‌کند که نزدیك به ۴۰۰ تن آن فلزّات سنگین و مواد رادیواکتیو است که تنها از سوختن زغال سنگ (بی‌در نظر گرفتن آلودگیهای برآمده از فعّالیت‌های مرتبط مانند استخراج از معدن و ترابری) ناشی می‌شود. نفت در برابر ذغال سنگ تا اندازه‌ای وضع بهتری دارد. یك نیروگاه برق ۱۰۰۰ مگاواتی با سوخت نفت به نسبت میزان کمتری خاکستر تولید می‌کند (نزدیك به ۲۰ هزار تن در سال) و یك نیروگاه گازی ۱۰۰۰ مگاواتی بسته به درجهٔ سولفورزدایی خود از ۲۳۰ تا ۲۵۰ هزار تن زباله

تولید می‌کند. هرچند این موارد برای مقایسهٔ مقدار موّاد خطرناك گوناگونی که نیروگاه ها تولید می‌کنند کافی نیست ولی در ۳ تا ۴ مورد از موّاد خطرناك تولیدی نیروگاه‌های گوناگون [باتوجّه به نوع نیروگاه] تفاوت زیادی وجود دارد.

یکی از موارد مرتبط با آلودگی، آلاینده‌های گازی منتشر شده در جوّ است. در میان منابع سوختی در چرخهٔ تولید برق، با در نظر داشتن آلودگی‌های غیر مستقیم، انرژی هسته‌ای دی‌اکسید کربن کمتری تولید می‌کند و در عمل آلایندهٔ مخرّب محیط زیست نیست و از این راه هر سال مانع از انتشار ۸درصد دی‌اکسیدکربن بیشتر در جهان می‌شود (نزدیك به ۰/۶ گیگا تن). رویدادهای پیش‌بینی نشده در نیروگاههای پیشرفته هسته‌ای که احتمال بروز آنها کم است، می‌تواند اثر زیست محیطی سنگین داشته باشد.

سرانجام اینکه، شاید حسّاسترین مسئلهٔ مربوط به انرژی هسته‌ای در سالهای آغازین سدهٔ ۲۱، گسترش هسته‌ای و نگرانیهای مربوط به آن در زمینهٔ تروریسم هسته‌ای باشد. رویدادهای سالهای گذشته نقاط ضعف پیمانهای بین‌المللی موجود و مکانیزم‌های اجرای آنها را نمایان ساخته و نشان داده است که مهمترین چالشی که امروزه انرژی هسته‌ای با آن روبه‌رو است ایجاد شرایط مناسب برای مدیریّت چرخهٔ سوخت هسته‌ای به‌منظور جلوگیری از گسترش آن و برطرف کردن خطر کاربرد نادرست موّاد هسته‌ای است. در بسیاری از پژوهشهای علمی، تکنولوژیك، سازمانی و سیاسی، استراتژی‌های گوناگونی برای مدیریّت این خطرها بررسی و پیشنهاد شده است، از جمله در پژوهشهای اسمیت[۳۶] (۲۰۰۳)، زاریمپاس[۳۷] (۲۰۰۳)، بك[۳۸] (۲۰۰۳)، در زمینهٔ تکثیر، کامرون[۳۹] (۱۹۹۹) و بایرنز و دیگران[۴۰] (۲۰۰۳)، در زمینهٔ تروریسم و مولر[۴۱] (۲۰۰۳) و آلیسون[۴۲] (۲۰۰۴ a,b) در زمینهٔ گسترش هسته‌ای و تروریسم. پیش‌گویی در این زمینه دشوار است ولی به نظر می‌رسد که نشان دادن یك راه‌حل برای این مسئله، در گرو ترکیبی از اقدامات سازمانی (موافقت نامه‌های بین‌المللی بیشتر در زمینهٔ کنترل موّاد هسته‌ای در همهٔ مراحل چرخهٔ کامل سوخت) و فنّی (تکنولوژیهای راکتور و چرخهٔ سوختی که کاربرد تسلیحاتی آن خیلی کم باشد یا یکسره وجود نداشته باشد) است.

بررسی مسایلی که نفت و انرژی هسته‌ای در چند سال گذشته با آن دست به گریبان بوده و دیگر مسایل مرتبط با آن، راه دراز پیش رو و نقش آنها را در از میان بردن گرسنگی جامعه جهانی با بهره‌گیری از انرژی کم هزینه، ایمن، پاك، قابل اعتماد و همراه با آسایش تعیین خواهد کرد.

(دنباله دارد)

یادداشت‌ها

1. Toth Ferenc L. and Ronger Hans-Holger (2006), "Oil and Nuclear Power: Past, Present, and Future". **Energy Economics,** 28, pp. 1-25.

۲. کارشناس ارشد اقتصاد در معاونت امور اقتصادی وزارت امور اقتصادی و دارایی

3. Holdern
4. Smith
5. Intergovernmental Panel on Climate Change
6. Logistic Substitution Model
7. Marchetti
8. Nakicenovic
9. Million Tone Oil Equivalent
10. Peak - and Base Load Capability
11. Krichene
12. Ford
13. Hollomon et al.
14. Energy Analysis
15. Kolhe et al.
16. Life- Cycle Computation
17. Stand- Alone Solar Photo Voltaic
18. Krewitt
19. Association for the Study of Peak Oil and Gas
20. Odell
21. Hedging Costs
22. Rogner
23. Rhodes and Beller
24. Sailor et al.
25. Radetzki
26. Rothwell

27. Haldi et al.
28. Zink
29. Brugging and Van der Zwaan
30. Guizard et al.
31. Dickinson
32. Parker
33. Sellafield
34. Howe et al.
35. Williams
36. Smith
37. Zarimpas
38. Beck
39. Cameron
40. Byrnes et al.
41. Mueller
42. Allison

منابع

1. Alcamo, J., Leemans, R., Kreileman, E. (Eds.), (1998) **Global Change Scenarios of the 21st Century.** Results from the IMAGE 2.1 Model. Elsevier, London, UK.

2. Allison, G., (2004) a. Nuclear Terrorism - **The Ultimate Preventable Catastrophe.** Henry Holt and Company, New York, NY.

3. F.L.Toth, H.-H. Rogner / **Energy Economics 28** (2006) 1-25-23.

4. Allision, G., 2004b. How to stop nuclear terror. **Foreign Affairs 83,** 64-74.

5. ASPO (Association for the Study of Peak Oil and Gas) (2004) **Oil and Gas Liquids 2004 Scenario and The Uppsala Protocol** (http:// www. peakoil. net/ uhdsg).

6. Beck, M.D. (Ed.), (2003). **To Supply or To Deny: Comparing Nonproliferation Export Controls in Five KeyCountries.** Kluwer Law International, The Hague.

7. BP (British Petrol), (2003). **BP Statistical Review of World Energy 1996.** British Petrol, London, UK.

8. Brugging, J.J.C., van der Zwaan, B.C.C., (2002) "The role of nuclear energy in establishing sustainable energy paths". **International Journal of Global Energy** Issues 18, 151-180.

9. Byrnes, M.E., King, D.A., Tierno, P.M., (2003) **Nuclear, Chemical, and Biological Terrorism: Emergency Response and Public Protection.** L. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

10. Cameron, G., (1999) **Nuclear Terrorism: A Threat Assessment for the 21st Century.** Macmillan, Basingstoke.

11. Dickinson, H.O., Parker, L., (2002) "Leukaemia and non- Hodgkin's lymphoma in children of male Sellafield radiation workers". **International Journal of Cancer 99,** 333-437.

12. Edmonds, J., Wise, M., Pitcher, H., Richels, R., Wigley, T., MacCracken, C., (1996) An integrated assessment of climate change and the accelerated introduction of advanced energy technologies: an application of Mini CAM 1.0. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 1 (4),** 311-339.

13. Guizard, A.V., Boutou, O., Pottier, D., Troussard, X., Pheby, D., Launoy, G., Slama, R., Spira, A., ARKM, (2001). "The incidence of childhood leukaemia around the La Hague nuclear waste reprocessing plant (France): a survey for the years 1978-1998", **Journal of Epidemiological Community Health 55,** 469-474.

14. Haldi, P.A. Frei, Ch., Beurskens, L., Zhuikova, N., (2002). "Multicriteria/ multistakeholders comparative assessment of electricity generation scenarios in the sustainability context: a Swiss case study". **International Journal of Sustainable Development 5**, 102-124.

15. Holdren, J.P., Smith, K.R., (2000) **Energy, the environment, and health.** WEA, pp. 61-110.

16. Hollomon, J.H., Raz, B., Treitel, R., (1977) Nuclear power and oil imports. A look at the energy balance. In: Thomas, J.A.G. (Ed.), **Energy Analysis. IPC Science and Technology Press,** Surrey, UK. pp. 102-108.

17. Howe, G.R., Zablotska, L.B., Fix, J.J., Egel, J., Buchanan, J., (2004) "Analysis of the mortality experience amongst U.S. nuclear power industry workers after chronic low-dose exposure to ionizing ra-

29. Mueller, H., (2003) "Terrorism, Proliferation: A European Threat Assessment. Institute for Security Studies, Paris. F.L. Toth, H.-H. Rogner" **Energy Economics 28** (2006) 1-25-24.

30. Nakicenovic, N., (1996) "Freeing Energy from Carbon". **Deadalus 125** (3), 95-112.

31. Odell, P.R., (2004) **Why Carbon Fuels Will Dominate the 21st Century's Global Energy Economy**. Multi-Science Publishing, Brentwood, UK.

32. Radetzki, M., (2000) "Coal and nuclear in new power stations: the political economy of an undesirable but necessary choice". **The Energy Journal 21,** 135-147.

33. Rhodes, R., Beller, D., (2000) The need for nuclear power. **Foreign Affairs 79**, 30-44.

34. Rogner, H.-H., (1997) An assessment of world hydrocarbon resources. **Annual Review of Energy and the Environment 22,** 217-262.

35. Rogner, H.-H., (2000) **Energy Resources.** WEA, pp. 135-171.

36. Rothwell, G.S., (2000) "The risk of early retirement of U.S. nuclear power plants under electricity deregulation and CO2 emission reductions". **The Energy Journal 21,** 61-87.

37. Rothwell, G.S., (2004). "Triggering nuclear development". **Public Utilities Fortnightly 142,** 46-50.

38. Sailor, W.C., Bodansky, D., Braun, Ch., Fetter, S., van der Zwaan, B., (2000) "A nuclear solution to climate change?" **Science 288,** 1177-1178.

39. Smith, M., (2003) **Fighting Proliferation: European Perspectives.** Institute for Security Studies, Paris.

40. WEA (World Energy Assessment), (2000) **World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability** (United Nations Development Program, UNDP, United Nations Department of Economic and Social Affairs, UNDESA, and World Energy Council, WEC, New York, NY).

41. Williams, R.H., (2000) "Advanced Energy Supply Technologies". **WEA**, pp. 273-329.

42. WNA (World Nuclear Association), "2004. Spotlight". **WNA Newsletter 2004** (1), 1-2.

diation." **Radiation Research 162,**517-526.

18. IEA (International Energy Agency), (2003). Energy to 2050: **Scenarios for a Sustainable Future.** International Energy Agency, IEA/OECD, Paris, France.

19. IEA (International Energy Agency), (2004). **World Energy Outlook 2004.** International Energy Agency, IEA/OECD, Paris, France.

20. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), (2000). **Special Report on Emissions Scenarios.** Cambridge University Press, Cambridge, UK.

21. Kolhe, M., Kolhe, S., Joshi, J.C., (2002) "Economic viability of stand-alone solar photovoltaic system in comparison with diesel-powered system for India". **Energy Economics 24**, 155-165.

22. Krewitt, W. (2002) "External costs of energy-do the answers match the questions? Looking back at 10 years of Externe". **Energy Policy 30,** 839-848.

23. Krichene, N., (2002) "World crude oil and natural gas: a demand and supply model." **Energy Economics 24,** 557-576.

24. Lashof, D., Tirpak, D.A., (1990). **Policy Options for Stabilizing Global Climate, 21P- 2003**. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

25. Marchetti, C., Nakicenovic, N., (1979) **The Dynamics of Energy Systems and the Logistic Substitution Model**.

RR-79-13. International Institute for Applied Systems Analysis, IIASA, Laxenburg, Austria.

26. Messner, S., Strubegger, M., (1995) **User's Guide for MESSAGE III.** WP-95-69. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.

27. Mori, S., Takahashi, M., (1999) "An integrated assessment model for the evaluation of new energy technologies and food productivity". **International Journal of Global Energy Issues 11** (1-4), 1-18.

28. Morita, T., Matsuoka, Y., Penna, I., Kainuma, M., (1994). **Global Carbon Dioxide Emission Scenarios and Their Basic Assumptions: 1994 Survey**. CGER-1011-94.

Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan.