بسم الله الرحمن الرحيم

کتاب راهنمای بین المللی

اقتصاد انرژی

نویسندگان:

جوآن اونز

لستر سی. هانت

مترجمان:

دکتر مهدی صادقی شاهدانی

علی اکبر محمدی سمچولی

امیر کارگر

International Handbook on the Economics of Energy

Edited by:
Joanne Evans
Lester C. Hunt

Translated by:
Dr. Mehdi Sadeghi Shahdani
Aliakbar Mohammadi Samchouli
Amir Kargar

خلاصه پشت جلد:

علاوه بر نیاز فردی بشر در زندگانی خود به مصرف انرژی، استفاده از انواع انرژی منجر به شکل‌گیری جوامع پیچیده و همچنین افزایش کیفیت حیات نیز شده است. اقتصاد به منزله تولید، تبادل و مصرف انواع کالاها و خدمات تا حد بسیار زیادی وابسته به منابع انواع انرژی و مصرف آن‌ها گشته؛ به همین دلیل در طی سالیان مختلف، اقتصاددانان بسیاری تلاش برای توصیف و تحلیل روابط و تئوری‌های اقتصادی در تقابل با مصرف و بکارگیری انواع انرژی داشته‌اند که در نهایت منجر به شکل‌گیری شاخه اقتصاد انرژی از علم اقتصاد گردید. این شاخه از دانش اقتصادی برای کشور ایران که از بزرگترین دارندگان منابع انرژی در جهان می‌باشد نیز حائز اهمیتی بسیار است. ترجمه این کتاب نیز با هدف بسط و انتشار مفاهیم نظری علم اقتصاد انرژی در جامعه هدف دانشگاهی و خصوصا دانشجویان و پژوهشگران حوزه اقتصادی صورت پذیرفته است.

مقدمه نویسندگان

امنیت انرژی، تأثیر مصرف انرژی بر محیط‌زیست، قیمت‌های سوخت و فقر سوخت همگی ازجمله مسائلی هستند که در کانون توجه عمومی قرار دارند. اقتصاد انرژی عنصر مهمی است که به درک ما از این مسائل پیچیده کمک می‌کند و هنگام تعیین خط‌مشی انرژی بر تفکر خط‌مشی‌گذاران تأثیر می‌گذارد.

این کتاب راهنما جنبه‌های مهم و مسائل تحقیقاتی اقتصاد انرژی را بررسی می‌کند. کتاب حاضر مجموعه‌ای از مقاله‌های علمی متخصصان بین‌المللی اقتصاد انرژی شامل کارشناسان و استادان دانشگاه را گرد هم می‌آورد که ضمن ترکیب متون پژوهشی کنونی، تحلیلی از مسائل مهم را ارائه می‌کنند. این راهنما جنبه‌های تاریخی اقتصاد انرژی و پژوهش‌های مهم و مسائل خط‌مشی‌گذاری روز را در برمی‌گیرد و تمرکز بسیار زیادی روی «اقتصاد انرژی» و خط‌مشی متعاقب آن می‌کند. مخاطب کتاب دانشجویان سال آخر کارشناسی و دانشجویان تحصیلات تکمیلی اقتصاد انرژی و کارشناسان صنعت و دولتی هستند. راهنمای حاضر وضع کنونی دانش را خلاصه و تفسیری فکورانه ارائه می‌کند. کتاب با چشم‌انداز تاریخی انرژی و مسائل خط‌مشی‌گذاری دولتی مربوطه شروع می‌شود و در ادامه، کلیات اقتصاد عرضه و تقاضای انرژی بیان می‌شود. کارایی اقتصاد انرژی شامل «اثر بازگشتی» بررسی می‌شود و بعد، فنون مختلف مدل‌سازی اقتصاد انرژی ارائه می‌شوند. مسائل مهم مربوط به بازارهای مختلف انرژی به ترتیب بررسی می‌شوند: نفت، زغال‌سنگ، گاز طبیعی و برق. بخش نتیجه‌گیری کتاب به تمرکز بر مسائل حال حاضر خط‌مشی‌گذاری انرژی اختصاص دارد.

در فصل ۱، فوگت[1] ابتدا به تکامل اقتصادهای کشاورزی و تاریخچه مصرف انرژی و اقتصاد جهانی و بحث درباره تلاش‌های اروپا برای رفع محدودیت‌های سیستم‌های ارگانیک انرژی و اولین گذار به اقتصاد سوخت فسیلی در بریتانیا می‌پردازد. فوگت روندهای درازمدت در سیستم جهانی انرژی و خط‌مشی‌های مختلف انرژی در گذر زمان را هم بررسی می‌کند. در فصل ۲، ویمان–جونز[2] کلیاتی از نظریه «اقتصاد انرژی» را ارائه و بیان می‌کند که اصطلاح انرژی درواقع صرفاً عبارتی است که برای راحتی از آن استفاده می‌شود، چون کالایی به‌منزله «انرژی» وجود ندارد؛ درواقع، «اقتصاد بازارهای سوخت» وجود دارد. ویمن–جونز تخصیص منابع در صنایع سوخت سرمایه‌بر را تحلیل می‌کند که شامل موارد زیر می‌شوند: ماهیت هزینه نهایی کوتاه‌مدت و بلندمدت عرضه انرژی، فرایند اتخاذ تصمیم‌های سرمایه‌گذاری، طراحی سازوکارهای مؤثر قیمت‌گذاری و شرایط بازاری که به‌کرات در صنایع سوخت وجود دارند.

---

[1] Fouquet

[2] Weyman-Jones

در فصل ۳، مدلاک[1] با بررسی اقتصاد عرضه انرژی، شیوه‌ای را در نظر می‌گیرد که در آن منابع انرژی از طریق فضا و زمان تخصیص می‌یابند. او به‌طور خلاصه مدل استخراج بهینه منابع پایان‌پذیر اقتصاددانان را بیان می‌کند که از آن برای بررسی طیفی از مسائل اقتصاد انرژی استفاده می‌شود. مدلاک ضمن توسعه مدل مذکور با تحلیل «رفتار بنگاه» و «نقطه اوج نفت» به ارزیابی ارزش چنین مدل‌هایی هم می‌پردازد. در فصل ٤، گوردون[2] نظریه و عمل خط‌مشی‌های انرژی را با ذکر مثال‌هایی از برنامه‌های انرژی بررسی می‌کند که معتقد است نسنجیده بودند و خطاهای موجود در خط‌مشی‌های امنیت انرژی را برمی‌شمارد. گوردون در مورد ایالات‌متحده خط‌مشی‌هایی را در نظر می‌گیرد که هدف از آن‌ها اصلاح انتخاب‌های انرژی و انتخاب‌هایی با تمرکز محیطی است، اما برای اروپای غربی و ژاپن به بی‌میلی دولت‌ها برای پذیرش موقعیت غیراقتصادی زغال‌سنگ توجه می‌کند.

در فصل ۵، مدلاک توجه خود را به نظریه تقاضای انرژی معطوف و تأکید می‌کند که انرژی تقاضای مشتقی است که برای کسب خدمات انرژی نظیر گرمایش، نور، توان خودرو و غیره الزامی است. او پیش از ادامه بررسی مبانی خرد تقاضای انرژی و چسبندگی تقاضای انرژی به بحث درباره حسابداری انرژی، رابطه مصرف انرژی و توسعه اقتصادی و مسائل تغییر ساختاری و فناورانه می‌پردازد. در فصل ٦، ریان و پلورد[3] به مدل‌سازی تجربی تقاضای انرژی می‌پردازند. آن‌ها توجه خود را به توسعه تاریخی مدل‌های تجربی تقاضای انرژی از مدل‌های تک معادله‌ای گرفته تا رویکردهای سیستمی، پیامدهای سری‌های داده مناسب غیر ایستا روی مدل‌های تجربی تقاضای انرژی و مسائل مربوط به مجاز دانستن پاسخ‌های قیمت نامتقارن در مدل‌های تجربی تقاضای انرژی معطوف می‌کنند.

چند فصل بعدی به کارایی انرژی و «اثر بازگشتی» اختصاص دارند؛ به‌موجب اثر مذکور افزایش کارایی انرژی موجب کاهش قیمت خدمات انرژی می‌شود و این امر نیز افزایش تقاضا برای انرژی را در پی دارد که هرگونه صرفه‌جویی در مصرف انرژی را تعدیل می‌کند. در فصل ۷، آلن[4] و همکاران با توجه به این استدلال که افزایش کارایی انرژی برای تحقق پایداری و امنیت اهداف عرضه انرژی حائز اهمیت است، کارایی اقتصاد انرژی را تحلیل می‌کنند. آلن و همکاران برای تحقیق در مورد تأثیر افزایش کارایی انرژی در اقتصاد باز آشکار، رویکردی تحلیلی را اتخاذ کردند؛ هدف آن‌ها شناسایی و روشن کردن ماهیت عوامل مختلف در کل سیستمی

---

1 Medlock

2 Gordon

3 Ryan and Plourde

4 Allan

است که می‌تواند بر تغییر مصرف انرژی به افزایش کارایی انرژی تأثیر بگذارد. در فصل ۸، ساندرز[1] به‌منظور کشف رابطه «ظریف» کارایی انرژی و مصرف آن، مبانی نظری اثر بازگشتی را ارائه می‌کند. او چارچوب نظری ساده و درعین‌حال جامعی برای درک این رابطه ایجاد و تأکید می‌کند که تأثیر بالقوه بازگشت ناشناخته است، اما می‌تواند چشمگیر و تأثیرات خط‌مشی‌گذاری مهمی داشته باشد. در فصل ۹، سورل[2] تعاریف و برآورد اثر بازگشتی را بیشتر بررسی و تأکید می‌کند که طیف وسیعی از سازوکارها وجود دارند که ممکن است اثر بازگشتی یا حتی «پس‌زدن[3]» را القا کنند؛ طی اثر پس‌زدن انواع خاصی از کارایی انرژی به افزایش کلی تقاضای انرژی منجر می‌شود. او تعریف مستقیم، غیرمستقیم و در سطح اقتصاد اثرات بازگشتی را شفاف و بر مشکلات روش‌شناختی مربوط به کمّی‌سازی چنین اثراتی تأکید می‌کند و خلاصه‌ای از برآوردهای بازگشتی را ارائه می‌دهد که در حال حاضر در دسترس هستند. سورل نتیجه‌گیری می‌کند که اثرات بازگشتی چشمگیر هستند، اما برای کاهش تقاضای انرژی نیازی ندارند تا خط‌مشی‌های کارایی انرژی را بی‌اثر کنند.

در فصل ۱۰، رایان و یانگ[4] کاربرد مدل‌سازی صرفه‌جویی‌های انرژی و مزایای زیست‌محیطی خط‌مشی‌های انرژی و فناوری‌های جدید را ارائه می‌کنند. مؤلفان عمدتاً با اتکا به مثال‌هایی از بخش مسکونی، برای ارزشیابی نتایج خط‌مشی‌های متمرکز بر پذیرش فن‌آوری‌های جدید، به‌منزله ابزار کاهش تقاضای انرژی و/یا افزایش کیفیت محیط‌زیست، اقدام به تدوین رویکردهای مدل‌سازی تجربی اقتصاد خرد می‌کنند و به ارزیابی نقاط قوت و ضعف رویکردهای مختلف می‌پردازند.

چند فصل بعدی به بررسی طیفی از مدل‌های اقتصاد انرژی اختصاص دارند که تحلیلگران و خط‌مشی گذاران انرژی از آن‌ها استفاده می‌کنند. در فصل ۱۱، گرینیینگ و باتایل[5] کلیاتی از مدل‌های انرژی «پایین به بالای» مبتنی بر فناوری را ارائه می‌کنند و به بررسی تلاش‌هایی می‌پردازند که هدف از آن‌ها گنجاندن پویایی‌هایی اقتصادی در مدل‌های پایین به بالا است؛ این کار با افزودن واقع‌گرایی رفتار آن‌ها و کامل بودن اقتصاد کلان و همچنین امکان دربرداشتن مقادیر به‌اندازه کافی بزرگ از جزئیات فناورانه در اقتصاد کلان موجود یا چارچوب‌های تعادل عمومی قابل‌محاسبه[6] صورت می‌گیرد. بنابراین، مؤلفان مدل‌های شبیه‌سازی و هیبرید کردن را بررسی می‌کنند. گرینیینگ و باتایل نشان می‌دهند که جزئیات و پیچیدگی مدل‌های پایین به بالا به

---

1 Saunders

2 Sorrell

3 backfi re

4 Ryan and Young

5 Greening and Bataille

6 computable general equilibrium (CGE)

شکل روزافزونی بیشتر شده است، به‌گونه‌ای که انتخاب فناوری را مدیریت می‌کنند و علاوه بر افزایش قابلیت‌های مدل‌های مذکور برای شبیه‌سازی رابطه بین سهام فیزیکی و اقتصادی وسیع‌تر، پویایی سیستم انرژی را نشان می‌دهند. مدل MARKAL نوع خاصی از مدلی است که گرینینگ و باتایل آن را بررسی کردند؛ MARKAL مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی پویای پایین به بالا است. معمولاً، از مدل MARKAL برای تحلیل خط‌مشی انرژی استفاده می‌شود. در فصل ۱۲، کانان[1] و همکاران با جزئیات بیشتری به بررسی مدل MARKAL بریتانیا می‌پردازند. کانان و همکاران برای نشان دادن نقاط قوت MARKAL، طیفی از خروجی‌ها و نحوه برخورد MARKAL با عدم‌اطمینان‌ها میان مسیرهای بدیل انرژی به ارائه نتایج گواه می‌پردازند.

در فصل ۱۳، جاکارد[2] به بررسی ترکیب مدل‌های «بالا به پایین» و «پایین به بالای» اقتصاد انرژی و تلاش‌های خط‌مشی عمومی برای تأثیرگذاری بر مسیر تکامل فناورانه یا همان «تغییر فناورانه القایی[3]» می‌پردازد. او ویژگی‌های ایده‌آل مدل‌های خط‌مشی تغییر فناورانه را بررسی می‌کند و پیش از توضیح بعضی از نوآوری‌های اخیر در مدل‌سازی، که هدفشان ترکیب بهترین ویژگی‌های مدل‌های متعارف رقیب و برآورد پارامترها است، نقایص و نقاط قوت رویکردهای متعارف را ذکر می‌کند. سپس، جاکارد به تغییر فناورانه القایی خاصی توجه می‌کند که نمونه‌ای از مشکلات ارائه مبنایی تجربی در دنیای واقعی برای برآورد پاسخ به خط‌مشی‌های تغییر فناورانه القایی است و نتیجه می‌گیرد که هنوز عدم اطمینان زیادی در مورد پاسخ‌های آتی مصرف‌کننده‌ها و کسب‌وکارها به خط‌مشی‌های تغییر فناورانه القایی وجود دارند. در فصل ١٤، سوو وینگ[4] برای تحلیل خط‌مشی‌های انرژی و آب‌وهوا به‌منظور رفع ابهام از رویکرد تعادل عمومی قابل‌محاسبه، شرح مفصلی از مدل‌سازی تعادل عمومی قابل‌محاسبه را ارائه می‌کند. او با استفاده از اصول اقتصاد خرد اقدام به تدوین چارچوب جبری عمومی مدل تعادل عمومی قابل‌محاسبه می‌کند و نشان می‌دهد که چگونه ممکن است چنین مدلی را با استفاده از داده‌های واقعی تنظیم کرد، آن را برای مقادیر تعادلی متغیرهای اقتصادی حل کرد و با ایجاد اعوجاج‌های قیمت و کمیت تعادل را بر هم زد؛ ازاین‌رو، سوو وینگ نشان می‌دهد که چگونه می‌توان تأثیر خط‌مشی‌های انرژی و آب‌وهوا در کل اقتصاد را تحلیل کرد. در فصل ۱۵، کمفرت و ترویونگ[5] مدل‌سازی انرژی–اقتصاد–محیط‌زیست را بررسی می‌کنند. مدل‌سازی اخیر تلاش کرده تا تأثیرات آب‌وهوایی، زیست‌بوم و

---

1 Kannan

2 Jaccard

3 induced technological change (ITC)

4 Sue Wing

5 Kemfert and Truong

اقتصادی را در چارچوب واحدی یکپارچه کند که به‌اصطلاح مدل‌سازی ارزیابی یکپارچه نامیده می‌شود و کمفرت و ترویونگ کلیاتی از چنین مدل‌هایی را ارائه می‌کنند که مبانی نظری، روش‌شناسی‌ها و طراحی‌های مدل را شامل می‌شود.

فصل‌های بعدی به بررسی سوخت‌های مختلف اختصاص دارند. در فصل ١٦، هانتینگتون[1] مشارکت‌های علمی چندین رشته پژوهش در متون پژوهشی امنیت انرژی را ارزشیابی می‌کند که بر مشکل امنیت نفتی آمریکا تأکید می‌کنند؛ درعین‌حال، این روش‌شناسی‌ها و اصول اساسی در بسیاری از کشورهای اروپایی و آسیایی هم کاربرد دارند. هانتینگتون به بررسی و بحث درباره سه مسئله اقتصادی مهم امنیت نفتی می‌پردازد: اضافه بهای نفت وارداتی، ریسک وقفه‌های عرضه نفت و آسیب‌پذیری اقتصاد در مقابل اختلال در عرضه نفت. در فصل ١٧، ناکهله[2] به بررسی مشکلات ذاتی طراحی و اجرای نظام مالیاتی مناسب نفت می‌پردازد که هدف از آن دستیابی به تعادل مناسب بین منافع دولت و صنعت است. او تائید می‌کند مشکلات مذکور هیچ راه‌حل یکسانی ندارند؛ بااین‌حال، ناکهله استدلال می‌کند که راه‌حل‌های مذکور باید متنوع، انعطاف‌پذیر و آماده تطابق و تکامل باشند. در فصل ١٨، گاریس[3] به تحقیق درباره رفتار بازارهای نفت، ورای مبانی عرضه و تقاضا، می‌پردازد و استدلال می‌کند که شرایطی وجود دارند که در آن، معامله‌گران بازارهای نفت مبانی مذکور را رد می‌کنند و در مقابل، به مشخصات روان‌شناختی و انتظارات معامله‌گر اولویت می‌دهند. گاریس به‌منظور تلاش برای درک چرایی نادیده گرفته شدن مبانی عرضه و تقاضا در زمان‌های مختلف، تحلیل رفتاری را انجام می‌دهد تا نحوه رفتار قیمت‌های بازار نفت در سناریوهای مختلف را نشان دهد. در فصل ١٩، گوردون[4] تاریخچه صنعت و بازار جهانی زغال‌سنگ را ترسیم و تأکید می‌کند که در قرن بیستم جایگاه زغال‌سنگ، علیرغم تمام پیامدهای زیست‌محیطی آن، از سوختی با مصارف عمومی به سوخت عمده برای تولید برق تبدیل شد. مؤلف پس از مرور تاریخی به بررسی الگوهای تجارت زغال‌سنگ و خط‌مشی ایالات‌متحده می‌پردازد و در پایان با بحثی کوتاه در مورد آینده نامعلوم زغال‌سنگ، نتیجه‌گیری خود را ارائه می‌کند.

تعدادی از فصول بعدی به بررسی باز بودن به روی بازارها، رقابت، ساختارهای بدیل بازار و مشوق‌ها در صنایع برق و گاز اختصاص دارند. در فصل ٢٠، ازآنجایی‌که صنایع به‌طور روزافزونی با «نیروهای بازار» تنظیم می‌شوند، والز[5] کلیاتی از مسائل حول افتتاح بازارهای گاز و برق ارائه می‌کند.والز استدلال می‌کند که در

---

1 Huntington
2 Nakhle
3 Garis
4 Gordon
5 Walls

ایالات‌متحده انتقال گاز طبیعی به بازار آسان‌تر از حد انتظار بود؛ باوجوداین، به دلیل پیچیدگی تعادل عرضه و تقاضا، ثابت‌شده که در مورد برق، ارائه سازوکارهای تخصیص مبتنی بر بازار به‌مراتب بسیار دشوارتر است. در فصل ۲۱، ویمن–جونز[1] خلاصه‌ای از ایده‌های نظری مهم را ارائه می‌کند که زیربنای تنظیم‌گری تشویقی شبکه‌های انرژی هستند. مؤلف کلیات اصول و ابزارهای اصلی تنظیم‌گری استفاده‌شده و مدل‌ها و سازوکارهای مختلف آن را طرح می‌کند که در دنیای واقعی به کار برده می‌شوند: سقف قیمتی، سقف درآمدی، مقیاس متغیر و معیار رقابت.

در فصل ۲۲، گتاچیو و لوری[2] نیز به بررسی تنظیم‌گری انتقال و توزیع در کشورهای توسعه‌یافته می‌پردازد. مؤلفان برای نشان دادن عواملی که در جهان توسعه‌یافته بر صنعت برق تأثیر می‌گذارند با استفاده از مورد مطالعاتی ایالات‌متحده اهمیت صرفه‌جویی در مقیاس را نشان می‌دهند و در ادامه به بررسی استفاده از تنظیم‌گری مبتنی بر تشویق در ایالات‌متحده، کانادا، اروپا و منطقه اقیانوسیه می‌پردازند. در فصل ۲۳، گتاچیو ساختار بازار شبکه‌های برق در کشورهای توسعه‌یافته را بررسی و شیوه‌های مختلفی را ارائه می‌کند که در آن‌ها، تجدید ساختار صنعت برق با تفکیک فعالیت‌های انحصاری طبیعی توزیع و انتقال از بخش‌های رقابتی ایالات‌متحده، کانادا، کشورهای اروپای غربی، ژاپن، استرالیا و نیوزلند صورت گرفته است. گتاچیو بر ترتیبات خدمات انتقال مختلفی تأکید می‌کند که در کل جهان توسعه‌یافته به اجرا درآمده‌اند و نتیجه می‌گیرد که با خاتمه تجدید ساختار صنعت برق فاصله زیادی داریم. در فصل ٢٤، روزلون[3] سازوکارهای تشویقی برای گسترش انتقال برق را بررسی و استدلال می‌کند که معمولاً تحلیل اقتصادی بازارهای برق به مسائل کوتاه‌مدت می‌پردازد، درحالی‌که سرمایه‌گذاری روی ظرفیت انتقال ماهیتی درازمدت و تصادفی دارد. مؤلف به بحث درباره دو رویکرد تحلیلی اصلی متفاوت برای سرمایه‌گذاری انتقال، یعنی فرضیه تنظیم‌گری تشویقی و رویکرد بازرگان می‌پردازد و در ادامه، بینش‌های خود درباره نحوه ساخت رویکردی جامع‌تر را ارائه می‌کند که ترکیبی از دو سازوکار فوق است.

در فصل ۲۵، فارسی و فیلیپینی[4] به بررسی و بحث درباره اندازه‌گیری تجربی کارایی تولیدی توزیع برق و گاز می‌پردازند. آن‌ها پس از بررسی کلیات نظریه تولید و مفاهیم صرفه‌جویی در مقیاس و قلمرو، رویکردهای مختلف آماری استفاده‌شده برای اندازه‌گیری کارایی در بخش‌های توزیع برق و گاز یا همان محک‌زنی را نشان

---

1 Weyman-Jones

2 Getachew and Lowry

3 Rosellón

4 Farsi and Filippini

می‌دهند و منتخبی از مطالعات تجربی قبلی را ارائه می‌کنند. پس‌ازآن، فارسی و فیلیپینی بحث کوتاهی درباره روش واقعی محک‌زنی انجام‌شده و مطالعه موردی کوتاهی درباره سوئیس را مطرح می‌کنند. فارسی و فیلیپینی نتیجه می‌گیرند که اندازه‌گیری کارایی موضوع بحث‌برانگیزی است، لذا تلاش برای اندازه‌گیری کارایی از زوایای مختلف و اعمال چند مدل با مفروضات مختلف حائز اهمیت هستند.

در فصل ۲۶، پریخوسف و بلام‌ساک[1] به بررسی بازارهای عمده‌فروشی برق و مشوق‌های ژنراتورها می‌پردازند و کلیات ویژگی‌های بسیار مهم بازارهای اعمال‌شده در بازارهای مختلف عمده‌فروشی برق در کل جهان را مطرح می‌کنند. مؤلفان با تأکید بر سه مشخصه طراحی «قواعد طراحی بازار»، «قدرت بازار» و «کفایت منابع و سازوکارهای ظرفیت» نتیجه‌گیری می‌کنند که ممکن است طراحی ضعیف بازارهای برق به طرز چشمگیری هزینه برق مشتریان را افزایش دهد و هیچ بازاری مدیریت نشده تا بر همه مشکلات شناسایی‌شده غلبه کند. در فصل ۲۷، لوسیکان[2] و همکاران به بررسی امنیت عرضه در سیستم‌های بزرگ برق‌آبی می‌پردازند. مؤلفان برای اعمال «مشکل پول گمشده» به برزیل از مدل شبیه‌سازی استفاده می‌کنند و نتیجه می‌گیرند که اگر به‌قدر کافی به موضوع مشوق ذخیره انرژی رسیدگی نشود، احتمالاً علیرغم هزینه‌های صورت گرفته در زمینه تأمین ظرفیت برق برای حصول اطمینان از عرضه فراوان تولید آن، سیستم به‌سوی مشکلات امنیت عرضه سوق پیدا می‌کند.

در فصل ۲۸، پریخوسف و بلام‌ساک توجه خود را به رقابت در خرده‌فروشی برق معطوف می‌کنند و به بررسی گذار از قیمت‌گذاری انحصاری تنظیم بازار به رقابت می‌پردازند. مؤلفان با بررسی مدل‌های مختلف بازار خرده‌فروشی برق در کل جهان تأکید می‌کنند که هیچ روش پذیرفته‌شده فراگیری برای طراحی چنین بازارهایی وجود ندارد و با ارائه مجموعه‌ای از تجویزهای خط‌مشی‌گذاری برای بازارهای موفق خرده‌فروشی برق نتیجه‌گیری خود را مطرح می‌کنند. در فصل ۲۹، ریدمن و گراهام[3] توجه خود را به تجارت انتشار گازهای گلخانه‌ای و همگرایی برق و بازارهای حمل‌ونقل در استرالیا معطوف می‌کنند. آن‌ها پس از بررسی هزینه نسبی کاهش آلودگی گازهای گلخانه‌ای در بخش‌های برق و حمل‌ونقل استرالیا، برای تهیه سه سناریو کاهش انتشار گازهای مذکور از مدل تعادل جزئی استفاده می‌کنند. بعضی از یافته‌های مهم ریدمن و گراهام شامل موارد زیر می‌شود: دستیابی سریع و پربار به اهداف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مستلزم آن است که قیمت‌های مجوز

---

1 Perekhodtsev and Blumsack

2 Losekann

3 Reedman and Graham

انتشار بسیار بالاتر از مقادیر کنونی باشند و بدون اقدامات بیشتر، بخش‌های برق و حمل‌ونقل در کوتاه‌مدت نمی‌توانند کاهش چشمگیری در انتشار گازهای گلخانه‌ای ایجاد کنند.

هدف اساسی اوراق مشتقه تسهیل کاهش ریسک و کمک به کشف قیمت دارایی اصلی است. در فصل ۳۰، ریپل[1] به بیان سابقه تاریخی ارائه مشتقات، قراردادهای آتی، تحویل آینده، اختیار معامله و سایر ابزارهای مالی به بازارهای انرژی می‌پردازد که به شرکت‌کننده‌های بازار کمک می‌کند تا نیازهای کاهش ریسک خود را رفع کنند. ریپل کلیات اقتصاد اصلی و بازارهای این ابزارها را به همراه چند نمونه از نحوه استفاده احتمالی از آن‌ها را طرح می‌کند و به ارائه تحلیلی از تکامل نوسان قیمت و نقش‌های نسبی ریسک‌پناهان و سرمایه‌گذاران/سفته‌بازان در این بازارها می‌پردازد.

مادلنر[2] در فصل ۳۱ به ارائه بعضی از موضوعات و رشته‌های اصلی پژوهش در مورد اقتصاد تأمین و مصرف انرژی در کشورهای درحال‌توسعه می‌پردازد و بر متون پژوهشی مربوط به موارد زیر تأکید می‌کند: رابطه مصرف انرژی و رشد اقتصادی؛ رابطه افزایش سریع قیمت سوخت فسیلی در توسعه؛ جایگزینی بین‌سوختی. او ضمن نشان دادن ضرورت توجه به مسائل برابری و فقر انرژی، با پیش‌بینی افزایش فعالیت تحقیقاتی در مورد تأثیر افزایش قیمت انرژی بر توسعه پایدار کشورهای درحال‌توسعه نتیجه‌گیری خود را ارائه می‌کند.

دو فصل آخر کتاب به بررسی خط‌مشی انرژی از دیدگاه‌های بسیار متفاوت اختصاص دارد. در فصل ۳۲، فرای[3] نمونه‌ای از استفاده از تحلیل «چشم‌اندازهای انرژی» برای بررسی مسیرهای بدیل را ارائه می‌کند که ممکن است رویکرد آینده خط‌مشی انرژی برای حل مشکلات دوگانه امنیت انرژی و تغییرات آب‌وهوایی باشد. فرای با استفاده از ترکیبی از اقتصاد و طبقه‌بندی وبر از رفتار اجتماعی به ابداع «چشم‌اندازهای انرژی» می‌پردازد که با هدف کمک به خط‌مشی گذاران، در جستجوی آینده‌های ممکن مختلف است. در فصل ۳۳، ویمن–جونز با بررسی مسائل مهم کنونی در طراحی خط‌مشی انرژی، چشم‌انداز متفاوتی را دنبال می‌کند[4]. او با تصدیق اینکه خط‌مشی انرژی تلاشی برای اصلاح سه شکست بازار، یعنی اطلاعات نامتقارن، قدرت بازار و اثرات جانبی است به بررسی اقتصاد مثبت قدرت بازار و اثرات جانبی می‌پردازد؛ فصل ۲۱ به خط‌مشی اقتصاد هنجاری به‌سوی اطلاعات نامتقارن اختصاص دارد. بنابراین، ویمن–جونز به‌صورت انتقادی به تحلیل تعدادی از مسائل

---

1 Ripple

2 Madlener

3 Frei

[4] در فصل ٤، گوردون به بررسی خط‌مشی انرژی می‌پردازد که قبلاً طراحی شده بود، درحالی‌که در فصل ۳۳ ویمن–جونز مسائل مهم خط‌مشی انرژی را بررسی می‌کند که هم‌اکنون اقتصاددانان انرژی با آن مواجه هستند.

مهم امروزی خط‌مشی انرژی ازجمله هزینه اجتماعی کربن، مجوزهای کربن در برابر مالیات، مدل‌های ارزیابی یکپارچه و گزارش استرن ریویو بریتانیا[1] در زمینه اقتصاد تغییر آب‌وهوایی می‌پردازد.

امیدواریم با طرح طیف وسیعی از مسائل و فنون و همچنین عمق تحلیل ارائه‌شده در این کتاب راهنما، زمینه دسترسی به اقتصاد انرژی را برای همه علاقه‌مندان به درک مسائل جاری در اقتصاد انرژی فراهم کرده باشیم. مایلیم از همه‌کسانی تشکر کنیم که به نگارش یک فصل یا در بعضی موارد دو یا حتی سه فصل از این جلد از اقدام کردند، حتی آخرین کسانی که در پی مشارکتشان بودیم؛ راهنمای حاضر با هر مشارکتی غنی‌تر شده است. درنهایت، از متیو پیتمن[2]، رابط انتشارات ادوارد الگار[3]، تشکر می‌کنیم که در اصل ما را متقاعد کرد که این پروژه را انجام دهیم؛ در ضمن، از تیم انتشارات این موسسه نیز متشکریم.

---

1 UK Stern Review

2 Matthew Pitman

3 Edward Elgar

مقدمه مترجمان

انرژی در طول تاریخ همواره از نیازهای بشری به جهت شکل‌دهی و بقا به زندگی و حیات بوده است که به مرور زمان باعث شکل‌گیری جوامع پیچیده گشته است. انرژی در قالب‌های مختلف به انسان‌ها کمک بسیاری در جهت ایجاد وسایل متعدد نظیر خودروها، لوازم تولیدکننده حرارت، تجهیزات تولیدکننده نور و امثالهم کرده که نتیجه آن افزایش سطح کیفیت و آسان نمودن امورات بوده است.

در منابع بسیاری از اندیشمندان مختلف تعریفی از علم اقتصاد بدین مضمون ارائه گشته است:

«علم تخصیص بهینه منابع محدود به نیازهای نامحدود انسان‌ها»

انرژی و حامل‌های مختلف آن نیز مستثنی از عدم وجود محدودیت نبوده و اول آنکه همیشه در دسترس نیستند و دوم آنکه برخی از آن‌ها روزگاری تمام خواهند شد. لذا به جهت پاسخگویی به تقابل میان عرضه و تقاضای آن و بهینه‌یابی میزان تولید، نحوه تولید، نحوه توزیع و نحوه مصرف آن شاخه‌ای به نام اقتصادی انرژی از علم اقتصاد نظری پدیدار گشته است. اقتصاد انرژی شاخه‌ای از علم اقتصاد کاربردی بوده که در آن اصول و ابزارهای اقتصادی برای تجزیه و تحلیل منطقی و سیستماتیک جهت درک و فهم صحیح از مسائل ارائه می‌گردد. به عبارت دیگر در اقتصاد انرژی همواره بدنبال پرسش سوالات اقتصادی صحیح و تلاش در جهت پاسخگویی به آن‌ها برای حوزه انرژی خواهیم بود.

کشور ایران نیز از بزرگترین مالکان منابع انرژی (اعم از انرژی فسیلی، تجدید پذیر و انرژی هسته‌ای) در جهان بوده و از صادرکنندگان و بزرگان بازارهای بین‌المللی انرژی نیز می‌باشد. لذا اهمیت مسئله بهینه‌سازی سیستم‌های انرژی و پاسخگویی بهینه به قدرت‌های عرضه و تقاضای انرژی چه در سمت بازارهای بین المللی و چه در سمت بخش‌های داخلی از مسائل بسیار با اهمیت برای جامعه علمی کشور می‌باشد.

کتاب راهنمای بین‌المللی اقتصاد انرژی که به همت جوآن ایوانز و لستر سی. هانت تدوین شده است، با رجوع به خبرگان و فعالان علمی و اجرایی صنعت انرژی اهم مشکلات و رویکردهای پاسخگویی به مسائل موجود در اقتصاد انرژی را جمع‌آوری و به جامعه علمی ارائه نموده است. از طرفی با عنایت به ضعف‌هایی که در بخش اقتصاد انرژی بدلیل نو بودن و تازه تاسیس بودن آن در کشور وجود دارد و منابع درسی بسیاری را نمی‌توان به زبان فارسی یافت، نیاز به ترجمه و ارائه منابع دست اول در این حوزه بیش از پیش احساس می‌گشت.

بخش اول این کتاب (فصول اول الی دهم) تحت عنوان کتاب دستنامه بین‌المللی اقتصاد انرژی ترجمه شده توسط آقایان دکتر مهدی صادقی شاهدانی، دکتر حجت‌الله برامکی یزدی و دکتر عبدالمحمد کاشیان توسط انتشارات دانشگاه امام صادق (علیه‌السلام) چاپ گشته است. اما با عنایت به ناقص ماندن مسئله و عدم ارائه

ترجمه دیگر فصول این کتاب توسط آن گروه از مترجمان محترم، تصمیم بر اتخاذ رویه و ارائه ترجمه ده فصل دوم (فصول یازدهم الی بیستم) با عنوان کتاب راهنمای بین‌المللی اقتصاد انرژی شده است.

جامعه هدف این کتاب دانشجویان مقطع کارشناسی و کارشناسی ارشد و همچنین پژوهشگران در حوزه‌های اقتصاد نظری، اقتصاد انرژی، اقتصاد نفت و گاز، مدیریت صنعتی و مدیریت قراردادهای بین‌المللی نفت و گاز و دیگر علاقه‌مندان به حوزه اقتصاد انرژی بوده و در انتها از اساتید و صاحب‌نظران ارجمند تقاضا می‌شود با راهنمایی و پیشنهادات اصلاحی خود، مترجمان را در جهت رفع مشکلات موجود در ترجمه کتاب حاضر و همچنین تدوین آثار بعدی و مورد نیاز جمهوری اسلامی ایران یاری دهند.

و من الله توفیق

مترجمان

تهران، تابستان ۱۴۰۲

فهرست

۱۱ مدل‌های پایین به بالا برای انرژی: طیفی از مدل‌ها ۱

۱۲ ساختار و کاربرد مدل UK MARKAL ٤٧

۱۳ ترکیب رویکرد بالا به پایین و پایین به بالا در مدل‌های اقتصاد انرژی ٨٤

۱٤ مدل‌های تعادل عمومی قابل محاسبه برای تحلیل سیاست‌های انرژی و اقلیمی ۱۱٦

۱٥ مدل‌سازیِ اقتصاد انرژی محیط زیست: تحقیق ۱٦٨

۱٦ مسئله امنیت نفتی ۱۹۳

۱۷ مالیات بر نفت خام ۲۲۰

۱۸ رفتار بازارهای نفتی: اصول بنیادی و روان‌شناختی در کشف و شکل‌گیری قیمت ۲٥۰

۱۹ دورنمای صنعت زغال‌سنگ در قرن بیست و یکم ۲۸۲

۲۰ بازار گاز طبیعی و برق ۳۰۹

۱۱ مدل‌های پایین به بالا برای انرژی: طیفی از مدل‌ها

لورنا اِی. گرینینگ و کریس باتالیا

۱ مقدمه

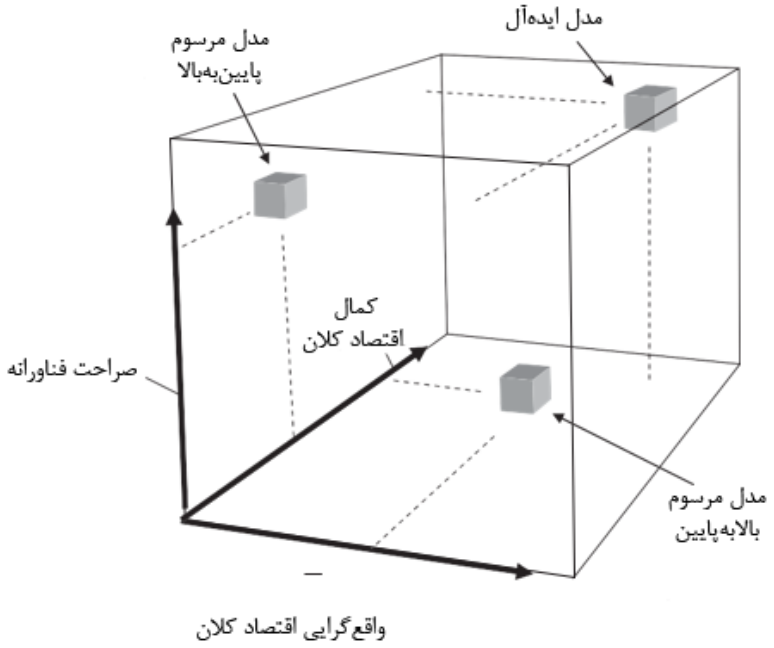
در اکثر مدل‌های اقتصادی، همه ورودی‌ها، خروجی‌ها و سایر معیارها بنا به رویه استاندارد، در قالب یک واحد ارزی تعریف می‌شوند. با این حال، تجزیه و تحلیل انرژی و خط‌مشی‌های زیست‌محیطی نیازمند صراحت در فناوری هستند؛ خدمات مصرف نهایی یکسانی را می‌توان توسط فناوری‌های مختلف با استفاده از سوخت‌های مختلف و با نمودارهای آلایندگی کاملاً متفاوت و در عین حال با هزینه تقریباً یکسان ارائه کرد. برای برآورده کردن این نیاز، دسته‌ای از مدل‌های فناوری‌محور، که با عنوان مدل‌های «پایین به بالا» شناخته می‌شوند، در دهه ۱۹۷۰ توسعه یافتند. از همان آغاز، مشکلات جاری همواره عامل پیشرفت بوده‌اند (هافمن و وود ۱۹۷٦؛ هافمن و جورجنسون ۱۹۷۷؛ مان و همکاران ۱۹۷۹):

- کمبودهای مدل‌های استاندارد اقتصاد کلان مبتنی بر پول، که معمولاً سهام مرتبط با فناوری را از کل سرمایه‌گذاری انجام‌شده متمایز نمی‌کنند، و متعاقباً درک نیاز به مدل‌هایی که صراحتاً سهام فناوری مصرف‌کننده انرژی را در نظر می‌گیرند.
- جمع‌آوری داده‌های مرتبط با فناوری و دسترسی به آنها، و –حداقل در روزهای اولیه– داشتن قدرت محاسباتی
- یافتن روش‌هایی برای «اجرا» یا «راه‌اندازی» [فرآیند] انتخاب فناوری (سرمایه‌گذاری) به گونه‌ای که برای خط‌مشی‌گذاران مفید و قابل دفاع و با نظریه اقتصادی سازگار باشد
- نیاز به در نظر گرفتن عوامل پویا در بررسی تعدیل‌های اقتصاد کلان، به ویژه تقاضا برای آن دسته از خدمات مصرف نهایی که مصرف انرژی دارند.

مدل‌سازی «پایین به بالا» با ابزارهای حسابداری ساده و تک‌بخشی آغاز شد و به تدریج به مجموعه‌ای پیچیده و پویا از چارچوب‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی با دامنه‌های مختلف –از محلی تا جهانی– تبدیل شد. مدل‌های جدیدتر، به اصطلاح چارچوب‌های «ترکیبی[1]»، میزان بیشتری از جزئیات اقتصادی و ویژگی‌های پویای مدل‌های «بالا به پایین» را در بر دارند، و بر این اساس، گمانه‌زنی‌هایی را در مورد امکان مطابقت بین مدل‌های

[1] hybrid

پایین به بالا و بالا به پایین ایجاد می‌کنند. این مطابقت شاید ناشی از افزودن عوامل پویای اقتصادی پیچیده‌تر، به مدل‌های «پایین به بالا» یا افزایش جزئیات فناوری در چارچوب‌های سنجش اقتصاد کلان یا تعادل عمومی محاسبه‌پذیر[1] (CGE) بوده باشد. در حال حاضر، بیشتر مدل‌های ترکیبی از نوع مدل‌های CGE اصلاح‌شده هستند. با این حال، روش‌های دیگری نیز، بدون داشتن مسیری روشن به سمت هماهنگ‌سازی، به کار گرفته شده است. شکل ۱۱,۱ شماتیکی از مسیرهای گوناگون توسعه مدل‌ها را نشان می‌دهد و نیز اینکه مدل انطباق‌یافته از نظر وضوح فنی، واقع‌گرایی رفتاری و کمال اقتصاد کلان[2] در کجا قرار می‌گیرد. این فصل به تلاش‌های انجام‌شده برای گنجاندن عوامل پویای اقتصادی در مدل‌های پایین به بالا (یعنی افزایش واقع‌گرایی رفتاری و کامل‌بودن برای اقتصاد کلان) و امکان گنجاندن جزئیات کافی فناوری در چارچوب‌های اقتصاد کلان یا CGE فعلی می‌پردازد.



منبع: هورکاد و همکاران (۲۰۰۶). این تصویر با مجوز انجمن بین المللی اقتصاد انرژی، برخوردار از حق چاپ و تجدید، چاپ شده است. تصویر فوق اولین بار در *مجله انرژی* (جلد ۲۷، شماره ویژه درباره مدلسازی ترکیبی خط‌مشی‌های انرژی-محیط: انطباق از پایین‌به بالا و از بالا به پایین، ۲۰۰۶) چاپ شده است.

شکل ۱۱,۱ ارزیابی سه‌بعدی مدل‌های انرژی-اقتصادی

[1] computable general equilibrium
[2] macroeconomics completeness

مدل‌های سیستم انرژی را با نام مدل‌های «فنی-اقتصادی[1]» می‌شناسند. برخی از این مدل‌ها صرفاً تمام موضوعات مربوط به انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را دنبال می‌کنند. برخی دیگر جامع‌تر هستند و کل اقتصاد را در بر می‌گیرند (هافمن و وود ۱۹۷٦). گروه دوم در کاربردهای مختلفی استفاده شده‌اند، از جمله:

- برنامه‌ریزی نظارتی (برای مثال، نوباور و همکاران، ۱۹۹۷)
- برنامه‌ریزی تاکتیکی توسط شرکت‌های انرژی (به عنوان مثال، دیم و همکاران، ۱۹۷۳).
- شوک‌های نفتی ۱۹۷۳ و ۱۹۸۰
- تجزیه و تحلیل عرضه انرژی، به عنوان مثال، برای بازارهای جهانی گاز طبیعی مایع (LNG) (به عنوان مثال، EMF 23).
- برنامه‌ریزی تحقیق و توسعه (به عنوان مثال، کانر لاجامبه، ۱۹۹۸؛ ژانگ و فلومر، ۱۹۹۸؛ کانودیا و لولوس، ۱۹۹۹؛ یاکارد و همکاران، ۲۰۰۳؛ لابیرت و لولوس، ۲۰۰۳؛ باتالیا و همکاران، ۲۰۰٦)
- پیش‌بینی و تحلیل خط‌مشی ملی، منطقه‌ای و جهانی انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا (به عنوان مثال، کانر-لاجامبه ۱۹۸۸؛ ژانگ و فولمر ۱۹۹۸؛ کانودیا و لولوس۱۹۹۹؛ یاکارد و همکاران ۲۰۰۳؛ لابریت و لولوس ۲۰۰۳؛ باتیل و همکاران ۲۰۰٦).

هدف از این تحلیل‌ها تعیین میزان جزئیات است (هافمن و وود ۱۹۷٦). مدلی از بخش برق که برای برنامه‌ریزی نظارتی استفاده می‌شود، برای یک منطقه خاص دارای جزئیات فنی زیادی خواهد بود (به عنوان مثال، انواع فناوری‌های تولید موجود برای تأمین نیازهای بار پایه، با ضرایب ظرفیتی مختلف). از سوی دیگر، در مدل جهانی ممکن است فقط توصیفات کلی فناوری‌ها به کار رفته باشد، اما این مدل انواع بیشتری از فناوری و احتمالاً تعاملات اقتصادی بیشتری را در بر دارد. دامنه کاری هر چه که باشد، همه این مدل‌ها به صراحت یک فناوری را بر اساس سوخت یا حامل انرژی، کارایی و نوع، هزینه‌های ثابت و متغیر، و اخیراً بر اساس انتشار گازهای گلخانه‌ای تعریف می‌کنند. در ادامه این فصل، به برخی از مدل‌های رایج‌تر یا با عمر طولانی‌تر در این دسته از مدل‌ها، نگاهی می‌اندازیم. مدل‌های شبیه‌سازی در بخش ۳ مطرح می‌شوند. مدل‌های پایین به بالا و ترکیب‌سازی اقتصاد کلان در بخش ٤ مورد بحث قرار می‌گیرند و در بخش ۵ به ترکیبی‌سازی مدل‌های بالا به پایین با ویژگی‌های پایین به بالا می‌پردازیم. جمع‌بندی در بخش ٦ انجام می‌شود. با بحث در مورد مدل‌های بهینه‌سازی در بخش ۲ بحث را ادامه می‌دهیم.

[1] techno-economic

۲ مدل‌های بهینه‌سازی

روش‌های بهینه‌سازی از اولین روش‌هایی بودند که در حوزه مدل‌سازی سیستم انرژی به کار رفتند. این مدل‌ها، که در یک دسته قرار می‌گیرند، «بهترین» فناوری، «کم‌هزینه‌ترین» فناوری یا فناوری «بهینه» را بر اساس هزینه‌ها و محدودیت‌های تعریف شده توسط ویژگی‌های فناوری شناسایی می‌کنند. اکثر این مدل‌ها برای سهولت رسیدن به جواب از برنامه‌ریزی خطی استفاده می‌کنند. اما با این کار، ویژگی‌های مهم سیستم‌های انرژی، مانند صرفه‌جویی در مقیاس، یا غیرممکن است یا با دشواری زیاد امکان‌پذیر است یا کاملا انتزاعی است. علاوه بر این، فرآیند خطی‌سازی پارامترها به تعدادی فرضیات برای ساده‌سازی و رفتارهای اقتصادی کلیدی نیاز دارد که اغلب به آنها پرداخته نمی‌شود.

در رابطه با این بحث، پنج مدل –از نظر طول عمر، سطح توسعه و ویژگی‌های مورد علاقه– به عنوان مدل‌های نماینده چارچوب‌های بهینه‌سازی انتخاب شدند: ETA، MERGE، MARKAL، TIMES و MESSAGE. این مدل‌ها را به ترتیب تشریح می‌کنیم.

مدل ارزیابی فناوری انرژی[1] (ETA)

مدل ETA یکی از اولین مدل‌های «سیستم انرژی» بود که از اوایل دهه ۱۹۷۰ تا اواسط آن ظاهر شد. چارچوب اولیه ETA مبتنی بر اتمام منابع نفت، گاز و اورانیوم بود و از آن برای ارزیابی مزایای برنامه انرژی هسته‌ای ایالات متحده استفاده شد (هافل و مان، ۱۹۷۵؛ مان، ۱۹۷٦؛ مان و ریچل، ۱۹۷۸؛ لجتمان و ویانت، ۱۹۸۱). مدل ETA در میان «مدل‌های سیستم انرژی» مدلی منحصر به فرد است، از این نظر که چارچوب آن یک مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی تعادل جزئی در نظر گرفته می‌شد. تابع هدف، مجموع مازاد مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان را به حداکثر می‌رساند و به این ترتیب، تقاضا پاسخگوی قیمت بود. تقاضاهای انرژی به دو دسته کلی از فرم‌های انرژی ثانویه تقسیم می‌شوند که شامل انرژی «الکتریکی» و «غیرالکتریکی» با جایگزینی ناقص است.

برای نمایش عرضه و تقاضا در ETA از دو رویکرد متفاوت استفاده می‌شد. عرضه با روش‌های برنامه‌ریزی خطی مرسوم که در آن‌ها فناوری‌ها و منابع خاص به تصویر کشیده شده بودند، انجام می‌شد. اما تقاضا مبتنی بر ترکیبی از اقتصادسنجی و تجزیه و تحلیل فرآیند بود. منحنی‌های تقاضا مستقیماً مشخص نمی‌شدند. در عوض، تقاضا به عنوان تابعی از اقتصاد ایالات متحده در نظر گرفته می‌شد که رفاه را با تخصیص

[1] Energy Technology Assessment

مخارج بین دو گروه از نیازها شامل انرژی و سایر نیازها، به حداکثر می‌رساند. در این رویکرد، فرض بر این است که هزینه‌های انرژی آنقدر ناچیز است که بر مطلوبیت نهایی مخارج مصرف‌کنندگان برای اقلامی غیر از انرژی تأثیر نمی‌گذارد. احتمال جایگزینی بین این دو گروه یکسان فرض می‌شد و مصرف با توجه به محدودیت‌های بودجه حداکثرسازی می‌شد.

این مدل که به صورت برنامه‌ای غیرخطی با اندازه متوسط اجرا می‌شد، چند ویژگی مثبت داشت. چارچوب آن می‌توانست به مدت ۷۵ سال اجرا شود -که امکان ارزیابی بهتر گزینه‌های هسته‌ای را فراهم می‌کرد- و این مدل می‌توانست هم جایگزینی بین سوخت و صرفه‌جویی و هم محافظه‌کاری -یا بهره‌وری انرژی- را مدیریت کند و کماکان نتایج قابل قبولی به دست آورد. با این حال، جزئیات فنی مدل، محدود به منابع انرژی بود و در ادامه تنها ۱۶ فناوری در آن لحاظ شد. ویژگی تعادل جزئی[1]، مدل‌های ETA و MACRO (مدلی برای رشد دوبخشی، مان، ۱۹۷۹) را به هم مرتبط کرد و این ارتباط منجر به نمایش کامل‌تر رفتارهای اقتصادی در یک چارچوب «پایین به بالا» شد. مدل‌های MERGE و MARKAL-MACRO، و نیز چارچوب‌های مدل‌سازی «ترکیبی»، از این مدل‌ها نشأت می‌گیرند.

مدل MERGE

چارچوب پایین به بالای مدل ETA با گذشت زمان به چارچوبی برای ارزیابی یکپارچه تبدیل شده است. کاربرد اصلی MERGE ارزیابی پیامد خط‌مشی‌های کاهش کربن به جای خط‌مشی انرژی بوده است. MERGE مدلی چندمنطقه‌ای و جهانی است که از پیوند بین ETA و MACRO حاصل شده است و اکنون فرم پایین به بالایی از سیستم انرژی را همراه با ماژول‌های ارزیابی کربن و غلظت کربن جوی در اقتصاد کلان ارائه می‌دهد (مان و ریچل، ۱۹۹۰الف، ۱۹۹۰ب، ۱۹۹۹؛ مان و همکاران، ۱۹۹۵). در نسخه فعلی، یعنی نسخه MERGE۵/٤، مؤلفه پایین به بالا کمی فراتر از آنچه در ETA وجود داشت پیشرفت کرده است. مانند ETA، تنها دو بخش تأمین انرژی تعریف شده است و برای انتخاب بین فناوری‌های انرژی از بهینه‌سازی خطی استفاده می‌شود. بر مبنای دیدگاهی جهانی و چشم‌اندازی برای کاهش کربن، تعداد فناوری‌ها در مجموعه انتخابی افزایش یافته است تا بتوان گزینه‌های کم‌کربن مانند انرژی‌های تجدیدپذیر را در نظر گرفت. تغییری که از نظر فناوری ایجاد شده است در اصل مربوط به فناوری‌های «بازگشت-توقف» است. با این حال، در جدیدترین نسخه، تابع غیرخطی «یادگیری با انجام‌دادن» گنجانده شده است (بان و کیپرئوس، ۲۰۰۳؛ مان و

[1] partial equilibrium

بارتو، ۲۰۰٤؛ مان و ریچل، ۲۰۰٤؛ کیپرئوس، ۲۰۰۵). فرض بر این است که هزینه‌ها با تجارب حاصل‌شده در سطح جهانی کاهش می‌یابد و در نتیجه تجارب یک منطقه به نفع مناطق دیگر است.

از منظر مدل‌سازی، پیوند اجزای مختلف MERGE در یک چارچوب منسجم، ویژگی جالب توجه این مدل است و مبنای نظری قوی آن مزایای بسیاری برای چارچوب مدل به همراه دارد.

خانواده مدل‌های **MARKAL**

مدل MARKAL –مدل تخصیص بازار[1]– در واقع خانواده‌ای از مدل‌های سیستم انرژی پایین به بالا با انواع مختلف است (گلدشتاین و گرینینگ ۱۹۹۹). در اواخر دهه ۱۹۷۰ تعدادی چارچوب‌های بهینه‌سازی مشابه MARKAL توسعه یافتند، اما MARKAL با بیش از ۷۰ گروه کاربر، در حال حاضر محبوب‌ترین مدل است و به طور مداوم زیر نظر برنامه تحلیل سیستم‌های فناوری انرژیِ آژانس بین‌المللی انرژی[2] (http://www. etsap.org) در حال توسعه است.

اصلی‌ترین و ساده‌ترین نوع این خانواده از مدل‌ها MARKAL است که یک مدل برنامه‌ریزی خطی پویا و پایین به بالا است (فیش‌بون و آبیلوک، ۱۹۸۱؛ یوهانسن و وینه، ۱۹۹۳). در MARKAL تمام منابع انرژی و تقاضا برای خدمات انرژی به تصویر کشیده شده است و همگی با تقاضا برای خدمات انرژی بر اساس هزینه‌های فناوری و ویژگی‌های فنی مطابقت دارند. فناوری‌ها موجود در این چارچوب مدل‌سازی با استفاده از سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های عملیاتی و نگهداری –ثابت و متغیر–، استفاده از ظرفیت یا در دسترس بودن فناوری بسته به نوع آن و راندمان مصرف سوخت توصیف می‌شوند. همانطور که در مدل‌های سیستم انرژی معمول است، در این مدل نیز جریان‌های انرژی حفظ می‌شود، همه تقاضاها برآورده می‌شود، سرمایه‌گذاری‌های قبلی در فناوری‌ها حفظ می‌شود، الزامات اوج مصرف برق رعایت می‌شود و محدودیت‌های ظرفیت در نظر گرفته می‌شود. فناوری‌ها بر اساس مقایسه هزینه‌های چرخه عمر سرمایه‌گذاری‌های جایگزین و با هدف به حداقل رساندن هزینه‌های کل سیستم و در عین حال تأمین تقاضاها برای یک سرویس انرژی معین، انتخاب می‌شوند.

میزان پوشش‌دهی و تجمیع موارد در چارچوب این مدل عمدتاً بر مبنای داده‌های موجود و با هدف مشخصه مدل MARKAL تعیین می‌شود. به رغم وجود چند مدل محدود با جزئیات گسترده، مانند مدلی که برای ایالات متحده با نمایش بیش از ٤۰۰۰ فناوری تولید شده است، اما اکثر مدل‌های MARKAL محدود به

[1] Market Allocation
[2] Energy Technology Systems Analysis Programme of the International Energy Agency

مجموعه‌های بسیار کوچک‌تر برای انتخاب فناوری هستند (گرینینگ و اشنایدر، ۲۰۰۳الف؛ ۲۰۰۳ب؛ گرینینگ ۲۰۰۷). علت این امر، دشواری کار تولید مجموعه داده و اغلب فقدان داده‌های مناسب برای همه پارامترهایِ مورد نیاز است. علاوه بر این، بیشتر این مدل‌ها به یک منطقه جغرافیایی، معمولاً یک کشور، ایالت یا شهرداری محدود می‌شوند (به عنوان مثال، فراگنیر و هایوری، ۱۹۹٦الف؛ جوزفسون و همکاران، ۱۹۹٦؛ ساتو و همکاران، ۱۹۹۸). با پیدایش نسخه منطقه‌ای MARKAL این محدودیت از بین رفت و در نتیجه ارزیابی تجارت کالاهای انرژی و خط‌مشی‌های زیست محیطی مانند کاهش جهانی و منطقه‌ای کربن یا تجارت مجاز قابل انجام شد (به عنوان مثال، بان و همکاران، ۱۹۹٦؛ لولوس و همکاران، ۱۹۹٦؛ لابریت و لولوس، ۲۰۰۳؛ لابریت و همکاران، ۲۰۰٤؛ دیفیگلیو و جیلن، ۲۰۰۷؛ جیلن و تیلور، ۲۰۰۷؛ رافاج و کیپریوس، ۲۰۰۷). توسعه چارچوب TIMES و امکانات پشتیبانی آن، اجرای مدل منطقه‌ای را نسبت به چارچوب قدیمی‌تر MARKAL امکان‌پذیرتر کرده است (لولو و همکاران ۲۰۰۵؛ لولو و لابریت ۲۰۰۷).

فرم اولیه برنامه‌ریزی خطی MARKAL دارای چند محدودیت است که به مفروضات بنیانی چارچوب مدل بر می‌گردند. شاید یکی از محدودکننده‌ترین آنها فرض آینده‌نگری کامل در افق پیش‌بینی باشد. این فرض منجر به راه حل‌های «خوش‌بینانه» می‌شود و مبنای آن این است که شرکت‌ها و مصرف‌کنندگان نه تنها درباره قیمت‌های فعلی انرژی، بلکه درباره قیمت‌های آتی و همچنین فناوری و تغییرات آن در آینده دانش کامل دارند. به طور کلی این فرض ایجاب می‌کند که اگر این عدم قطعیت‌ها وجود نداشت، کل هزینه‌های مرتبط با رسیدن به راندمان انرژی یا اهداف کاهش آلودگی می‌توانست بسیار کمتر باشد. این عدم قطعیت‌ها معمولاً از طریق اجرای چند سناریوهای قطعی در نسخه اولیه MARKAL بررسی می‌شوند. علاوه بر مسأله عدم قطعیت‌های مدل سازی، مفروضات مهم و مختلف دیگری نیز باید از بیرون و توسط کاربر تعریف شوند. به عنوان مثال، تقاضا برای خدمات انرژی در طول زمان، خارج از چارچوب تعریف می‌شود و بر اساس تغییرات قیمت خدمات به روز نمی‌شود. همچنین سایر محرک‌های اساسی، مانند تأثیرات تولید ناخالص داخلی یا رشد درآمد بر مصرف انرژی، در این نسخه نشان داده نمی‌شوند. بنابراین، در چارچوب اولیه، پیوندی بین رفتارهای کلیدی اقتصادی با مصرف خدمات انرژی وجود ندارد.

به منظور رفع برخی از این کاستی‌ها، توسعه‌دهندگان MARKAL انواع مختلفی از این مدل را پیاده‌سازی کرده‌اند تا بتوانند MARKAL را گسترش دهند. اولین چارچوبی که توسعه یافت مدل MARKAL–MACRO بود (همیلتون و همکاران ۱۹۹۲؛ گلدشتاین ۱۹۹۵). این چارچوب مدلی از رشد غیرخطی و بالا به پایین اقتصاد کلان را به چارچوب اولیه و پایین به بالای MARKAL پیوند می‌دهد. با این کار، می‌توان بر

اساس تغییرات قیمت‌های انرژی و تغییر حاصل در مطلوبیت مصرف‌کننده، تقاضای خدمات انرژی را به صورت درونی بهینه‌سازی کرد.

مدل MARKAL-MACRO اگرچه تعمیم مفیدی است، اما محدودیت‌های ذاتی چارچوب‌های غیرخطی (به ویژه ابعاد مسئله قابل‌حل و پیوند بین چندین مدل MARKAL) را حفظ می‌کند. همچنین، این مدل فقط می‌تواند تغییرات تقاضای انرژی ناشی از تغییرات در ساختار اقتصادی و سایر منابع، مانند تغییر ترجیحات یا درآمد مصرف‌کننده را به طور تقریبی نشان دهد. در نهایت، MACRO مسیر متعادلی را برای رشد در نظر می‌گیرد که بررسی شرایط عدم‌تعادل ناشی از شرایط اقتصادی یا سیاسی را محدود می‌کند.

برای اینکه بتوان به طور کامل رفتارهای اقتصادی را در نظر گرفت، MARKAL توسعه یافته و به چارچوب تعادل جزئی تبدیل شده است (لولو و لاوین ۱۹۹٦؛ گلدشتاین و گرینینگ ۱۹۹۹). در این نسخه، به جای تقاضاهایی که از بیرون و بدون واکنش به تغییر قیمت‌ها شکل می‌گرفتند از توابع تقاضا استفاده شده است که سطوح تقاضا را به قیمت مرتبط می‌کنند. این توابع شرایط معمول تداوم، تفکیک‌پذیری، شیب منفی و محدودیت‌های اعمال‌شده توسط کشش‌های قیمت متقاطع را برآورده می‌کنند. در این چارچوب دو رویکرد برای ترسیم تقاضا اجرا شده است: ۱) MARKAL-MICRO (MICRO)، و ۲) MARKAL-ELASTIC- DEMAND(MARKAL-ED). در هر دو چارچوب، تابع هدف MARKAL به تابعی برای حداکثرسازی مجموع مازاد مصرف‌کننده و تولیدکننده تغییر یافته است که امکان تعیین قیمت‌های تعادلی را فراهم می‌کند. MICRO چارچوبی غیرخطی و با این محدودیت است که پاسخ قیمت را متقارن فرض می‌کند. چشم‌پوشی از عدم‌تقارن تقاضا (که ناشی از گردش سرمایه و نوآوری فنی است) باعث می‌شود که MICRO میزان افزایش تقاضا در پاسخ به کاهش قیمت را بیش از حد برآورد می‌کند. MARKAL-ED از تقریب خطی گام‌به‌گام تقاضا استفاده می‌کند و در نتیجه، امکان در نظرگرفتن عدم تقارن پاسخ تقاضا و کشش‌های درآمدی را فراهم می‌کند. به دلیل داشتن رویکرد خطی، این نسخه از MARKAL در اولین مدل جهانی MARKAL استفاده و به TIMES (نسل بعدی خانواده MARKAL) تبدیل شده است.

انواع دیگری از خانواده MARKAL برای رفع مشکلات تحلیلی خاص، توسعه یافته است. برای بررسی رابطه بین انرژی و مواد، ساختار اولیه MARKAL طوری گسترش یافته که جریان مواد را در بر بگیرد (گیلن و همکاران ۱۹۹۸، ۲۰۰۱). در این مدل، مواد از نقطه شروع تا پایان و با تدارکاتی برای بازیابی به کمک همان ساختار جریانی که برای انرژی به کار می‌رود ردیابی می‌شوند. این رویکرد یکپارچه انرژی و مواد، امکان ارزیابی تأثیر یک سیستم بر سیستم دیگر –به عنوان مثال، تأثیرات بالقوه بازیافت– را فراهم می‌کند. با این حال،

افزودن مواد به مدل نیازمند الزامات بیشتری برای شدت داده‌های مدل است که استفاده از این نوع را محدود می‌کند (گرینینگ ۲۰۰۷).

نوع بعدی خانواده MARKAL یعنی MARKAL-ET[1] امکان بازنمایی اندوژن یادگیری فناوری را فراهم می‌کند (سیبرگتس و همکاران، ۲۰۰۰؛ بارتو و کیپرئوس، ۲۰۰۲). با استفاده از رابطه‌ای که بین فروش فناوری و هزینه‌های سرمایه‌گذاری وجود دارد، فرمی از لجستیک «یادگیری با انجام‌دادن» در چارچوب برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط[2] (MIP) پیاده‌سازی شده است. در این پیاده‌سازی فرض بر این است که فناوری‌ها در آینده، توسعه مداوم و پایداری خواهند داشت و به این ترتیب، فرآیند را به شکل ساده‌تری می‌توان نمایش داد. با این حال، هیچ نظریه اقتصادی واحدی چنان که باید فرآیندهای نوآوری و گسترش تغییرات فناوری را توضیح نمی‌دهد. در نتیجه، می‌توان گفت که مفروضات مدل ETL شناسایی کامل فرآیند را محدود می‌کند.

با استفاده از نمونه MARKAL Stochastic می‌توان عدم‌قطعیت را به روشنی توصیف کرد (فراگنیر و هایوری، ۱۹۹۶ب؛ لولو و کانودیا، ۱۹۹۹؛ کاندواکس-لانولی و فراگنیر، ۲۰۰۰). برخلاف روش سنتی تحلیل سناریوها، این نسخه امکان شناسایی طیفی از آینده‌های احتمالی را فراهم می‌کند. کاربر می‌تواند مجموعه‌ای از آینده‌های احتمالی را فرض کند که با روشن‌شدن آن‌ها، دیدگاه واحدی با در نظر گرفتن چند مسیر برای رسیدن به آن آینده به دست می‌آید. بر این اساس، از این نوع برای شناسایی استراتژی‌های «پوششی[3]» استفاده شده است. متأسفانه، این نسخه در فرم توزیع شده عمومی خود محدود به دو مرحله است و همانطور که توسط طراحان پیش بینی شده بود هنوز به طور کامل توسعه نیافته است (به عنوان مثال، تأخیرهای مرتبط با انرژی هسته‌ای در Stochastic مدل‌سازی نشده اند) و این وضعیت منجر به کاربرد محدود این نسخه شده است.

توسعه طولانی‌مدت و موقتی MARKAL به این معنی است که این چارچوب کاملاً منسجم نیست. کاربر باید یک نوع را انتخاب کند، که شاید لزوماً مزایای سایر انواع را نداشته باشد. علاوه بر این، در پیاده‌سازی چارچوب MARKAL هنوز از روش‌های مدرن برنامه‌نویسی استفاده نمی‌شود و از این رو این چارچوب هنوز فواید زیادی ندارد.

[1] MARKAL-Endogenous Technology Learning
[2] mixed integer programming
[3] hedging

سیستم MARKAL-EFOM یکپارچه[1] (TIMES)

نسل بعدی مدل بهینه‌سازی، TIMES، ترکیبی از جنبه‌های MARKAL و EFOM است (لولو و همکاران ۲۰۰۵؛ لولو و لابیرت، ۲۰۰۷). توسعه این مدل در سال ۱۹۹۹ آغاز و به طور رسمی در ژوئن ۲۰۰۷ اعلام عمومی شد. این چارچوب ادامه‌دهنده سنت چارچوب دقیق پایین به بالا است، اما MARKAL را از جنبه‌های حیاتی مختلفی گسترش می‌دهد:

- این چارچوب از ابعاد محلی به جهانی قابل تعمیم است، البته تا به امروز عمدتاً به عنوان مدل جهانی یا چندکشوری استفاده شده است.
- TIMES از ابتدا به عنوان چارچوبی چندمنطقه‌ای طراحی شده بود.
- برخلاف MARKAL، TIMES امکان فروش فناوری‌های قدیمی را فراهم می‌کند. این ویژگی به طور قابل توجهی اندازه پایگاه داده فناوری مورد نیاز را کاهش می‌دهد و امکان در نظر گرفتن استهلاک فناوری‌ها (مثلاً بهره‌وری انرژی) با گذشت زمان را فراهم می‌کند.
- TIMES به‌کمک برش‌های زمانی انعطاف‌پذیر، امکان بهبود نمایش منحنی‌های بار روزانه برای تولید و مصرف برق را فراهم می‌کند.
- دوره‌های زمانی با طول متغیر در افق پیش‌بینی، امکان در نظر گرفتن افزایش عدم‌اطمینان در مورد فناوری‌ها یا سایر شرایط در آینده افق پیش‌بینی را فراهم می‌کند.
- برخلاف MARKAL، می‌توان بین عمر مفید و عمر اقتصادی فناوری‌ها تمایز قائل شد.
- TIMES کماکان از مفهوم سیستم انرژی مرجع[2] که در MARKAL توسعه یافته بهره می‌گیرد. با این حال، نمایش انواع مختلف فناوری‌ها با انعطاف پذیری و سادگی بیشتری همراه شده است.

TIMES می‌تواند در یکی از دو حالت اجرا شود. با ادامه سنت MARKAL، می‌توان این مدل را به عنوان چارچوب ساده‌ای برای حداقل‌سازی هزینه بر اساس متغیرهای تصمیم‌گیری مرتبط با فناوری، اجرا کرد. در حالت دوم، این چارچوب شامل جنبه‌هایی از متغیرهای مرتبط با جریان است که در مدل بهینه‌سازی جریان انرژی (EFOM) دیده می‌شوند و در آنها تابع هدف به صورت مجموع تنزیل‌شده جمع هزینه‌های سالانه منهای درآمد بیان می‌شود. به این ترتیب، کاربران می‌توانند سرمایه‌گذاری را به صورت جریانی از پرداخت‌های افزایشی سالانه نشان دهند. با این کار امکان مدل‌سازی پیچیده‌تر سرمایه‌گذاری و در نظرگرفتن هزینه‌های از کار انداختن یا برچیدن با تأخیرهای زمانی مناسب، فراهم می‌شود.

---

[1] The integrated MARKAL–EFOM system
[2] Reference Energy System

توسعه‌دهندگان TIMES ویژگی‌های تعادل جزئی را نیز در این چارچوب گنجانده‌اند تا [انرژی] مازاد کل به حداکثر برسد. در این مدل واکنش مصرف کننده انرژی به قیمت در نظر گرفته شده است و تقاضاها به صورت درون‌زا تعیین می‌شوند. با این حال، در این مدل به رفتارهای اقتصادی دیگر، مانند تشکیل سرمایه و بازار کار، توجه نشده است. بنابراین، TIMES هنوز یک چارچوب «منحصر به انرژی»[1] است و در مراحل اولیه آزمایشی قرار دارد (بلست و همکاران، ۲۰۰۷).

در حالی که چارچوب TIMES، به‌ویژه از نظر ظرفیت بیشتر برای ترسیم رفتارهای اقتصادی بحرانی، پیشرفت قابل توجهی نسبت به MARKAL محسوب می‌شود، ،اما باید دید که آیا این پیشرفت‌ها برای نیازهای دست‌اندرکاران مدل‌سازی، کافی خواهد بود یا خیر. پیشرفت در ترکیب‌کردن مدل‌های دیگر ممکن است همچنان مانع پذیرش گسترده‌تر این چارچوب شود.

MESSAGE

MESSAGE یکی دیگر از مدل‌های مهندسی سیستم‌های پویا و سرشار از فناوری است. این چارچوب، که در مؤسسه بین‌المللی تحلیل سیستم‌های کاربردی[2] (IIASA) توسعه یافته است، دوره‌ای طولانی از تکامل را پشت سر گذاشته است، اما نه به اندازه دوره گسترش MARKAL. مدل MASSAGE در تجزیه و تحلیل برخی از مسائل مختلف انرژی و زیست‌محیطی استفاده شده است (به عنوان مثال، دایو و آدگبولوگبه ۱۹۸۸؛ چای و همکاران ۱۹۹۵، لی و لی ۲۰۰۷). مهم‌تر از همه، این چارچوب توسط شورای جهانی انرژی برای مطالعه توسعه انرژی و نقش فناوری استفاده شده است. مانند MARKAL، در مدل MESSAGE نیز از سیستم انرژی–مرجعی برای ردیابی جریان‌های انرژی در سیستم، استفاده می‌شود و محدودیت‌ها برای متعادل کردن عرضه و تقاضا به کار می‌روند. تقاضاها به صورت برون‌زا در سطح انرژیِ مفید تعریف می‌شوند. این مدل جهانی به ۱۱ منطقه تفکیک می‌شود که با هم تجارت کالای انرژی دارند.

مانند MARKAL، مدل MESSAGE نیز انواع مختلفی دارد. توسعه‌دهندگان، MESSAGE را به MACRO مرتبط کرده‌اند (وین، ۱۹۹۶). با این حال، این ارتباط یک «پیوند نرم» است و حل مدل به صورت تکرارشونده[3] است (مسنر و شراتنهولزر ۲۰۰۰؛ کلاسن و ریاحی ۲۰۰۷). همچنین، «یادگیری فناوری درون‌زا» با استفاده از یک رویکرد عدد صحیح مختلط، در چارچوبی که در آن هزینه‌های سرمایه گذاری به صورت تابعی از تجربه جمعی فناوری مستهلک می‌شود، پیاده سازی شده است (گریتوسکی و ناکینوویچ، ۲۰۰۰). با استفاده از

[1] energy only
[2] International Institute for Applied Systems Analysis
[3] iteratively

این ویژگی، برخی از مسائل انرژی و محیطی، به ویژه مسئله کاهش کربن، ارزیابی شده است (به عنوان مثال، ریاحی و روهلر، ۲۰۰۰؛ ریاحی و همکاران، ۲۰۰٤الف، ۲۰۰٤ب؛ کپو و رائو، ۲۰۰٦؛ رائو و همکاران، ۲۰۰٦). همچنین، نسخه‌ای تصادفی از این مدل نیز پیاده سازی شده است (مسنر و همکاران ۱۹۹٦). برخلاف نسخه عمومی MARKAL Stochastic که فقط دو مرحله را امکان‌پذیر می‌کند، MESSAGE Stochastic امکان بررسی مراحل بیشتر و مشکلات پیچیده‌تر را فراهم می‌کند. در نهایت، MESSAGE ثابت کرده است که ابزاری قوی و انعطاف‌پذیر است، زیرا IIASA در همان ابتدا استراتژی رویکرد مدولار با استفاده از برنامه‌نویسی شی‌گرا را اتخاذ کرد. هر دوی این نوآوری‌ها به طور فزاینده‌ای توسط سایر دست‌اندرکاران مدل‌سازی، در حال استفاده هستند.

۳ مدل‌های شبیه‌سازی

مدل‌های شبیه‌سازی پایین به بالا تا حد امکان به صورت واقعی برای بررسی پویایی اقتصادی و تکنولوژیکی سیستم انرژی–اقتصادی طراحی شده‌اند. با پیشرفت زبان‌های برنامه نویسی که امکان در نظر گرفتن موجودیت‌های انتزاعی و پویایی آنها را فراهم می‌کنند، هدف اصلی این خانواده از مدل‌ها، دادن پاسخ‌های احتمالی و کم‌هزینه به شوک‌های خط‌مشی یا رویدادهای دیگر است. به واسطه خط‌مشی انرژی یا انگیزه‌های استراتژی، تمرکز این مدل‌ها اغلب بر نمایش تفاوت‌های منطقه‌ای در سیستم‌های انرژی است. با توجه به اینکه مدل‌های شبیه‌سازی زیادی وجود دارد، ما چهار مدل نمونه شامل ENPEP/BALANCE، NEMS، POLES 4 و CIMS را انتخاب کرده‌ایم که نماینده انواع مدل‌های پیچیده مطرح‌شده در ادبیات تحقیق هستند.

ENPEP/BALANCE

ENPEP توسط مرکز تجزیه و تحلیل سیستم‌های انرژی، محیطی و اقتصادی در آزمایشگاه ملی آرگون، برای استفاده در برنامه‌ریزی سیستم یکپارچه انرژی/الکتریسیته و ارزیابی خط‌مشی‌های بالقوه توسعه یافته است. این مدل به صورت رایگان در پلتفرم تحت ویندوز با کاربری نسبتاً آسان توزیع شده است. پلتفرم مذکور استفاده فراوانی از روابط پویای گرافیکی می‌برد و به ویژه در کشورهای در حال توسعه و در حال گذار محبوبیت دارد. تا سال ۲۰۰۰، این چارچوب توسط ۸۰ سازمان یا مؤسسه مختلف استفاده شده بود (به عنوان مثال، کریستوف و همکاران ۱۹۹۷؛ مولنار ۱۹۹۷؛ آزمایشگاه ملی آرگون ۲۰۰۱؛ جابر و همکاران. ۲۰۰۱؛ CEEESA، ۲۰۰۰؛ میراسگدیس و همکاران ۲۰۰٤، ۲۰۰٤الف، ۲۰۰٤ب).

ماژول اصلی ENPEP یعنی BALANCE، برای ردیابی جریان انرژی در کل سیستم انرژی از استخراج منابع، به روش پردازش و تبدیل تا تقاضا برای انرژی مفید (مانند گرمایش، حمل و نقل و لوازم الکتریکی) استفاده می‌شود. ENPEP از رویکرد شبیه‌سازی تعادلی غیرخطی مبتنی بر بازار برای ترسیم تعادل عرضه/تقاضای انرژی در آینده استفاده می‌کند. بر اساس این مفهوم، بخش انرژی متشکل از گروه‌هایی از تولیدکنندگان و مصرف کنندگان مستقل انرژی است که فعالیت‌های تولید و مصرف را با اهداف متفاوت انجام می‌دهند. این ویژگی آخر چیزی است که اکثر مدل‌های شبیه‌سازی را از مدل‌های بهینه‌سازی (که از نقطه نظر یک نفر تصمیم‌گیرنده بهینه‌سازی اجرا می‌شوند) متمایز می‌کند.

ENPEP بر این فرض اساسی استوار است که تولیدکنندگان و مصرف کنندگان انرژی به قیمت، واکنش می‌دهند. مدل ENPEP، که دارای دید کوتاه‌مدت از دوره‌ای به دوره دیگر است، به دنبال یافتن محل تلاقی منحنی‌های عرضه و تقاضا برای همه اشکال انرژی و مصارف نشان داده شده است. در این مدل، تعادل مجموعه‌ای از قیمت‌ها و مقادیری تعریف می‌شود که تمام معادلات و محدودیت‌های مربوطه را برآورده می‌کنند. سهم بازار و مقدار کل مورد نیاز شکلی از انرژی با قیمت نسبی آن در گروهی از اشکال انرژی قابل جایگزینی و تقاضاهای مصرف نهایی تعریف می‌شود.

ENPEP با استفاده از یک فرآیند شبیه‌سازی تکراری و متوالی، حالت تعادلی از قیمت‌ها و تقاضاها را پیدا می‌کند، که روش رایجی در بین مدل‌های شبیه‌سازی است. طی شبیه‌سازی، قیمت‌ها در نتیجه اعمال خط‌مشی تغییر می‌کنند، تقاضاها در پاسخ به قیمت‌ها تعدیل می‌شوند و اگر تغییرات قیمت بیش از مقدار از پیش تعیین شده، باشد، شبیه‌سازی دوباره اجرا می‌شود. این روند تا زمانی که تعادل جدیدی پیدا شود تکرار می‌شود. اگر مدل به خوبی کالیبره و قطعی باشد، این فرآیند به احتمال زیاد در چند تکرار اندک منجر به تعادل جدیدی می‌شود.

داده‌های لازم برای کالیبراسیون ENPEP برای یک سالِ مبنا و همچنین برای پیش بینی نیازهای انرژی در آینده را می‌توان به دسته‌های زیر تقسیم کرد، که در اکثر مدل‌های شبیه‌سازی، مشابه هستند:

- داده‌های اقتصاد کلان، از جمله جمعیت‌شناسی، تولید ملی و بخشی، نرخ دستمزد و هزینه اجاره‌ای سرمایه[1]
- ساختار مصرف انرژی در سالِ مبنا و ساختار متغیرهای مرتبط با نوع فعالیت –تولید، مسکن، مسافر–کیلومتر و غیره–

[1] rental cost of capital

- داده‌های عملکرد فنی-اقتصادی برای فناوری‌های مصرف‌کننده انرژی -به عنوان مثال، هزینه سرمایه، کارایی واحد اقتصادی، هزینه‌های متغیر، طول عمر و ویژگی‌های مشابه-

سیستم‌های انرژی منطقه‌ای در ENPEP توسط زیرسیستم‌ها و بخش‌هایی در نظر گرفته می‌شوند که فعالیت‌های اقتصادی و مرتبط با انرژی، از جمله تأمین، تبدیل و مصرف انرژی را پوشش می‌دهند، که این امر وجه تمایز عمومی مدل‌های شبیه‌سازی به‌شمار می‌رود:

- عرضه انرژی بر اساس شکل اولیه انرژی -از جمله انرژی آبی و سایر انرژی‌های تجدیدپذیر- و اینکه آیا سوخت وارداتی است یا تولید داخل، تفکیک می‌شود.
- تبدیل انرژی تفکیک می‌شود به تبدیل انرژی در پالایشگاه‌ها -بر اساس ظرفیت کل نصب‌شده- و تولید برق از سوخت‌های فسیلی
- تقاضای نهایی شامل پنج بخش اصلی -کشاورزی، صنعت، حمل و نقل، خدمات و مسکونی- است که خود به زیربخش‌ها و سپس به موارد مشخص مصرف نهایی انرژی (به عنوان مثال گرمایش فضا، تهویه مطبوع، انرژی فرآیندی و غیره) تجزیه می‌شوند. در مدل ENPEP نوعی، هفتاد مورد مصرف انرژی و ۳۰۰ فناوری جایگزین در نظر گرفته شده است. فناوری‌ها، انرژی نهایی را مصرف می‌کنند و آن را به انرژی مفیدی برای ارائه یک سرویس انرژی خاص تبدیل می‌کنند.

اینکه چه نتیجه‌ای از ENPEP حاصل شود نسبت به فناوری‌ها و پویایی‌های موجود در یک نسخه خاص بسیار حساس است، به ویژه در گذار از حالت اولیه به اولین تکرار. این مسائل برخی از نگرانی‌های رایج سایر سازندگان مدل‌های شبیه‌سازی و جزء ویژگی‌های محلی هر روش هستند. یکی از فناوری‌های معمولی که می‌تواند نتایج مدل شبیه‌سازی تجزیه و تحلیل خط‌مشی گازهای گلخانه‌ای جهانی را به طور کامل تغییر دهد، گنجاندن امکان جذب و ذخیره کربن در مدل است. این هشدار در رابطه با سایر فناوری‌های «backstop» بالقوه -به عنوان مثال، فتوولتائیک‌های خورشیدی- نیز برقرار است.

سیستم ملی مدل سازی انرژی[1] (NEMS)

NEMS یک مدل شبیه‌سازی بزرگ، سرشار از فناوری و همچنین منطقه‌ای از بازارهای انرژی ایالات متحده است که افق پیش‌بینی آن تا سال ۲۰۳۰ است. هدف اصلی NEMS، پیش‌بینی تقاضای انرژی ایالات متحده و تحلیل پیامد خط‌مشی‌های انرژی جایگزین یا شوک‌های بازار انرژی است (گابریل و همکاران ۲۰۰۱؛

[1] National Energy Modeling System

هادلی و شورت ۲۰۰۱؛ کومی و همکاران ۲۰۰۱؛ موریس و همکاران ۲۰۰۲؛ کیدز ۲۰۰۷). NEMS که توسط اداره اطلاعات انرژی[1] (EIA)، نهاد آماری و تحلیلی مستقلی در وزارت انرژی ایالات متحده توسعه یافته است، به طور رایگان در اختیار ذینفعان قرار می‌گیرد. نسخه‌هایی از این مدل توسط نهادهای غیر دولتی مختلف ایالات متحده استفاده شده و نسخه‌ای از NEMS برای استفاده توسط منابع طبیعی کانادا تغییر یافته است. از آنجایی که اداره اطلاعات انرژی، طبق قانون ایالات متحده، ملزم به ارائه مستندات گسترده برای مدل NEMS[2] است، این چارچوب معیاری است که بسیاری از سیستم‌های مدل‌سازی دیگر با آن اندازه‌گیری می‌شوند. در نهایت، در طول فرآیند طراحی، توسعه و به روزرسانی، اداره اطلاعات انرژی از جامعه تحلیل‌گران انرژی و گروه‌های همکار درخواست همیاری کرده است.

ویژگی‌های کلیدی NEMS عبارتند از: الف) خروجی‌های منطقه‌ای برای عرضه و مصرف انرژی، فعالیت‌های اقتصادی و آلاینده‌های زیست محیطی برای ایالات متحده، ب) استفاده از ساختار مدل‌سازی مدولار برای سهولت کار و توانمند ساختن مدل‌سازان برای کار مستقل با جنبه‌های خاص مدل، ج) ادغام رویکردهای مهندسی و اقتصادی برای نشان دادن رفتار واقعی تولیدکننده و مصرف‌کننده، د) استفاده از دوره پیش‌بینی بین ۲۰ تا ۲۵ سال و، ه) یادگیری فناوری درون‌زا.

مسائل خط‌مشی جالب توجه برای اداره اطلاعات انرژی و کسانی که این نهاد در قبال آن‌ها مسئولیت دارد، تعیین‌کننده سطح جزئیاتی است که در ساختار NEMS به تصویر کشیده شده است. بر این اساس، تمرکز فناوری‌های تولید برقِ در نظر گرفته‌شده در NEMS بر تحلیل خط‌مشی‌های ملی کاهش کربن و مسائل کیفیت هوا است. NEMS همچنین برای پروژه استفاده از سوخت‌های جایگزین یا فرموله‌شده و تأثیر بالقوه خط‌مشی‌های بهره‌وری انرژی شامل جزئیات کافی برای بخش حمل و نقل است. بر این اساس، در طراحی NEMS قوانین و خط‌مشی‌های دولتی موجود در زمینه انرژی (به عنوان مثال، تجدید ساختار صنعت برق)، تأثیرات تحقیق و توسعه فناوری‌های جدیدِ مرتبط با انرژی، افزایش استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی (به ویژه فناوری‌های دوره‌ای) و پتانسیل مدیریت، حفظ و افزایش بهره‌وری مصرف انرژی در سمت تقاضا، در نظر گرفته می‌شود. در سمت عرضه، به دلیل نگرانی‌های امنیتی و کاهش منابع به واسطه چندین شوک قیمت نفت و افزایش مداوم واردات انرژی، همه بخش‌های سوخت فسیلی دارای جزئیات گسترده هستند. به این ترتیب، نمایش بازارهای انرژی در NEMS بر چهار رابطه مهم متمرکز است:

---

[1] Energy Information Administration

[2] موجود در www.eia.doe.gov

- تعاملات بین بخش‌های عرضه، تبدیل و مصرف انرژی
- تعاملات بین سیستم انرژی داخلی و اقتصاد عمومی داخلی
- تعاملات بین سیستم انرژی ایالات متحده و بازارهای انرژی جهان
- تعامل بین تصمیمات فعلی در زمینه تولید و مصرف با انتظارات موجود درباره آینده

NEMS با استفاده از رویکرد مبتنی بر بازار و با در نظر گرفتن رقابت اقتصادی بین منابع انرژی، عرضه و تقاضای انرژی را برای هر سوخت و بخش مصرف‌کننده متعادل می‌کند. سیستم NEMS از چهار ماژول تأمین (نفت و گاز، انتقال و توزیع گاز طبیعی، زغال سنگ و سوخت‌های تجدیدپذیر)، دو ماژول تبدیل (برق و پالایشگاه‌های نفت)، چهار ماژول تقاضا (بخش‌های مسکونی، تجاری، حمل و نقل و صنعتی)، یک ماژول برای شبیه‌سازی تعاملات انرژی/اقتصاد (فعالیت کلان اقتصادی)، یک ماژول برای شبیه‌سازی تعاملات انرژی داخلی و انرژی بین‌المللی و یک ماژول برای ارائه سازوکاری برای دستیابی به تعادل کلی بازار بین همه ماژول‌ها (ماژول یکپارچه‌سازی) تشکیل شده است. جریان‌های اصلی بین ماژول‌های NEMS عبارتند از قیمت‌های تحویل‌شده انرژی و مقادیر انرژی مصرف شده توسط محصول، منطقه و بخش بر اساس هزینه‌های کل (به عبارتی سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های ثابت و متغیر سالانه) برای یک سرویس انرژی است. در قیمت‌های تحویل‌شده سوخت شامل تمام فعالیت‌های لازم برای تولید، واردات، حمل و نقل و تبدیل سوخت به انرژی نهایی در نظر گرفته می‌شود.

ماژول‌های مختلف NEMS توسط یک ماژول یکپارچه هماهنگ می‌شوند و برای تسهیل حالت ماژولار، اجزای این سیستم، اطلاعات را مستقیماً به یکدیگر منتقل نمی‌کنند، بلکه از طریق فایل داده مرکزی ارتباط برقرار می‌کنند. این طراحی ماژولار قابلیت اجرای ماژول‌ها را به صورت جداگانه یا با جاگذاری ماژول‌های جایگزین فراهم می‌کند و به این ترتیب امکان توسعه غیرمتمرکز سیستم و تجزیه و تحلیل و آزمایش مستقل ماژول‌های جایگزین را فراهم می‌کند. این حالت ماژولار همچنین منجر به انعطاف در به کارگیری مناسب‌ترین روش و میزان جزئیات برای هر بخش انرژی می‌شود.

اجزای منفرد NEMS به صورت مکرر با استفاده از روش همگرایی گاوس–سیدل و با روش SOR[1] حل می‌شوند. هر یک از ماژول‌های عرضه سوخت، تبدیل یا تقاضای مصرف نهایی به ترتیب توسط ماژول یکپارچه فراخوانی می‌شود و با فرض ثابت بودن سایر متغیرها در سایر بازارهای انرژی حل می‌شود. برای مثال، هنگام حل مقادیر سوخت مورد نیاز در بخش مسکونی برای مجموعه ورودی قیمت محصولات انرژی، تمام

[1] successive over-relaxation

بخش‌های دیگر اقتصاد، ثابت نگه داشته می‌شوند. ماژول‌ها به طور مکرر فراخوانی می‌شوند تا زمانی که قیمت‌ها و مقادیر مصرف نهایی در تلورانس مشخصی ثابت بمانند. این تعادل‌یابی به صورت سالانه تا سال ۲۰۳۰ انجام می‌شود.

پیش‌بینی با استفاده از NEMS بستگی به مفروضات نامعینی دارد (از جمله اندازه تخمینی مبنای منابع قابل بازیافت اقتصادی سوخت‌های فسیلی، تغییرات در عرضه و تقاضای انرژی جهانی، سرعت توسعه فناوری‌های جدید انرژی و نرخ و میزان پذیرش و نفوذ آن‌ها). در نتیجه، اداره اطلاعات انرژی، علاوه بر حالت مبنا، تعدادی حالت‌های دیگر را بر اساس مفروضات متفاوت تولید می‌کند.

PPLES 4

مدل شبیه‌سازی POLES 4 برای توسعه و تجزیه و تحلیل سناریوهای عرضه و تقاضای انرژی جهانیِ بلندمدت (تا ۲۰۳۰) و تفکیک شده براساس منطقه، طراحی شده است (کریکوی، ۲۰۰۱؛ گراسی و هورکاد، ۲۰۰۶). بنابراین، POLES 4 به علت گستردگی جهانی که دارد با مدل‌های شبیه‌سازی که قبلاً مطرح شده‌اند متفاوت است. این مدل برای شناسایی حوزه‌های استراتژیک مناسب برای خط‌مشی‌های کنترل آلاینده‌ها (از جمله توسعه و انتشار فناوری‌های انرژی کلیدی)، شبیه‌سازی اهداف بالقوه کاهش CO_2 با و بدون سیستم‌های تجاری کنترل آلاینده با حیطه‌های مختلف و تأثیرات بر بازارهای بین‌المللی انرژی طراحی شده است.

ساختار این مدل شامل سیستمی از ماژول‌های به هم پیوسته است: بازارهای انرژی بین‌المللی، تعادل انرژی منطقه‌ای، تقاضای انرژی ملی، فناوری‌های جدید، تولید برق، سیستم‌های اولیه تولید انرژی و آلاینده‌های بخشی CO_2. متغیرهای ورودی اصلی برون‌زا عبارتند از تولید ناخالص داخلی و جمعیت هر کشور یا منطقه و قیمت اولیه انرژی (که بعداً در ماژول‌های بازار بین‌المللی انرژی تنظیم می‌شود). آنچه توسعه POLES 4 را میسر ساخت دسترسی به پایگاه داده کاملی برای تراز انرژی بین المللی (از سال ۱۹۷۱) بود که توسط مؤسسه ENERDATA فراهم شد. داده‌های فنی-اقتصادی در مؤسسه خط‌مشی انرژی و اقتصاد در دانشگاه گرنوبل جمع‌آوری و سازماندهی شد و متغیرهای کلیدی اقتصاد کلان، توسط پایگاه داده CHELEM-CEPII فراهم شد.

در نسخه فعلی این مدل، جهان به ١٤ منطقه تقسیم شده است:

- آمریکای شمالی، آمریکای مرکزی، آمریکای جنوبی
- جامعه اروپایی (۱۵)، بقیه اروپای غربی
- اتحاد جماهیر شوروی سابق، اروپای مرکزی

- شمال آفریقا، خاورمیانه، آفریقا جنوب صحرا
- جنوب آسیا، جنوب شرق آسیا
- قاره آسیا، و کشورهای عضور سازمان همکاری و توسعه اقتصادی اقیانوس آرام

در بیشتر این مناطق، تقاضای انرژی برای کشورهای بزرگ‌تر به صراحت شناسایی و مرتفع می‌شود. در نسخه فعلی POLES 4 این کشورها، کشورهای گروه هفت -G7- به علاوه سایر کشورهای اتحادیه اروپا و پنج کشور کلیدی در حال توسعه شامل مکزیک، برزیل، هند، کره جنوبی و چین هستند. کشورهایی که سایر مناطق را تشکیل می‌دهند مجموعه‌ای از اقتصادهای همگن در نظر گرفته می‌شوند.

این مدل برای هر منطقه چهار ماژول را بیان می‌کند که مربوط به موارد زیر هستند:

- تقاضای نهایی انرژی بر اساس بخش‌های اصلی
- فناوری‌های انرژی‌های نو و تجدیدپذیر
- تولید برق و پالایش نفت و گاز
- تأمین انرژی اولیه

شبیه‌سازی ترازهای انرژی منطقه‌ای، امکان محاسبه تقاضای واردات و ظرفیت‌های صادراتی را به تفکیک منطقه‌ای فراهم می‌کند. ادغام جهانی، توسط ماژول بازارهای انرژی مدیریت می‌شود که ورودی‌های اصلی آن تقاضای واردات و ظرفیت‌های صادراتی برای مناطق مختلف است. به دلیل تفاوت‌های موجود در هزینه، بازار و ساختارهای مهندسی، برای نفت خام فقط یک بازار جهانی در نظر گرفته شده است. در حالی که برای زغال سنگ و گاز طبیعی سه بازار منطقه‌ای (آمریکا، اروپا و آسیا) متمایز وجود دارد. با استفاده از شبیه‌سازی بازگشتی تکراری، ظرفیت‌های واردات و صادرات برای هر بازار، امکان تعیین قیمت برای دوره بعد را فراهم می‌کنند. در کنار ساختار تأخیری[1] متفاوت برای تقاضا و عرضه در ماژول‌های منطقه ای، امکان شبیه‌سازی عدم تعادل بازار، به همراه احتمال شوک‌های قیمتی یا شوک‌های متقابل مشابه آنچه در بازارهای نفت در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ رخ داد، وجود دارد.

در حالی که نشان دهنده مدل‌های شبیه‌سازی با دامنه بسیار گسترده است، توسعه POLES تنها با ارتباط آن با ENERDATA، دانشگاه گرنوبل و پایگاه داده CHELEM-CEPH امکان‌پذیر شد. مدل‌های شبیه‌سازی با هر دامنه معقولی، نیاز به حجم عظیمی از داده‌ها دارند که تاکنون تنها در ارتباط با مؤسساتی که قادر به انجام پروژه‌های تخصصی گردآوری داده‌ها هستند، امکان‌پذیر بوده است.

[1] lag structure

CIMS

CIMS در ابتدا به عنوان مدلی تک‌بخشی، با نام مدل استفاده از فناوری بین بخشی[1] (ISTUM) آغاز به کار کرد (جاکارد و همکاران، ۱۹۹۶، ۲۰۰۳). تبدیل این مدل به مدل شبیه‌سازی ملی، توسط گروه تحقیقات انرژی و مواد در دانشگاه سیمون فریزر در ونکوور کانادا انجام شد. مدل CIMS Canada پیشرفته‌ترین نسخه این مدل است که برای تحلیل خط‌مشی ملی و منطقه‌ای استفاده می‌شود. نسخه‌هایی نیز برای ایالات متحده، آمریکای شمالی و چین توسعه یافته است و محققان در سال ۲۰۰۸ مدل CIMS Global را توسعه دادند که جهان را ذیل شش بلوک پوشش می‌دهد. CIMS از نظر فناوری تفکیک شده و طوری طراحی شده که بتواند یک سیستم انرژی مانند سایر سیستم‌های مدل‌سازی شبیه‌سازی را تقلید کند. علاوه بر این، از منظر رقابت فناوری و الگوریتم‌های تنظیم تقاضای خدمات نهایی خود، منحصر به فرد است. الگوریتم‌های رقابت فناوری در این مدل از روش‌های انتخاب گسسته استفاده می‌کنند (هورن و همکاران ۲۰۰۵؛ ریورز و جاکارد ۲۰۰۵) و در خدمات نهایی آن از مؤلفه‌ها، پارامترها و داده‌های مدل‌های CGE موجود استفاده می‌شود (باتالیا و همکاران، ۲۰۰۶).

CIMS تکامل فنی سهام سرمایه ثابت[2] (شامل تجهیزات فرآیندی، ساختمان‌ها و وسایل نقلیه ریلی[3]) و تأثیر حاصل از آن بر سرمایه، نیروی کار، هزینه‌های مواد و انرژی، مصرف انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر جریان‌های مواد را شبیه‌سازی می‌کند. سهام سرمایه[4] بر حسب سرویس انرژیِ ارائه شده (مثلاً کیلومتر طی‌شده بار یا مسافر باری یا مترمربع روشنایی یا گرمایش فضا) یا واحدهای محصول فیزیکی (به عنوان مثال، تن خمیر کاغذ یا فولاد) ردیابی می‌شود. سهام سرمایه‌ای جدید در نتیجه واگذاری زمانی سهام موجود و رشد تقاضا برای سهام به دست می‌آیند. سهم بازار فناوری‌هایی که برای پاسخگویی به تقاضای سهام جدید با هم رقابت می‌کنند توسط ترکیبی از عوامل مالی استاندارد و همچنین پارامترهای رفتاری حاصل از تحقیقات تجربی در مورد ترجیحات مصرف‌کننده و انتخاب‌های فناوری شرکت، تعیین می‌شوند.

مانند سایر مدل‌های شبیه‌سازی، CIMS به سه ماژول (عرضه انرژی، تقاضای انرژی و اقتصاد کلان) تقسیم می‌شود که می‌توانند به صورت مدلی یکپارچه یا به صورت جداگانه شبیه‌سازی شوند. این مدل، همان طور که در جدول ۱۱,۱ نشان داده شده است، بر اساس موارد مصرف نهایی تفکیک شده است.

شبیه‌سازی مدل شامل مراحل اساسی زیر است:

---

[1] Inter Sectoral Technology Use Model
[2] fixed capital stocks
[3] rolling stocks
[4] stock of capital

جدول ۱۱.۱ بخش‌های فرعی CIMS

مدل‌های بخشی	مصرف نهایی یا محصول مدل‌های بخشی*
تجاری/نهادی (مترمربع)	گرمایش و سرمایش فضا، تبرید، پخت‌وپز، آب گرم، جریان برق پریز
حمل و نقل (کیلومتر)	کرایه حمل (دریایی، جاده‌ای، ریلی)، شخصی (بین‌شهری و شهری، تقسیم به خودروهای تک نفره و پرشمار، حمل و نقل عمومی و پیاده روی و دوچرخه سواری) و بیرون از جاده
مسکونی (مترمربع)	گرمایش و سرمایش فضا، تبرید، ظرف‌شویی، فریزر، اجاق گاز، لباس‌شویی و خشک‌کن و غیره
آهن و فولاد (تن)	اسلب، شمش، بیلت
کاغذ و خمیر کاغذ (تن)	روزنامه، کاغذ مقوایی، کاغذ بدون‌روکش و روکش‌دار، دستمال کاغذی و خمیر کاغذ بازاری
ذوب فلزات (تن)	سرب، مس، نیکل، تیتانیوم، منگنز، روی و آلومینیوم
محصولات شیمیایی (تن)	کلرآلکالی، کلریت سدیم، پراکسید هیدروژن، آمونیاک، متانول و پلیمرها
معدن‌کاری (تن)	گودال باز، معدن زیرزمینی و معدن پتاس
مواد معدنی صنعتی (تن)	سیمان، آهک، شیشه و آجر
سایر تولیدات (GDP)	مواد غذایی، تنباکو، نوشیدنی‌ها، لاستیک، پلاستیک، چرم، منسوجات، پوشاک، محصولات چوبی، مبلمان، چاپ، ماشین آلات، تجهیزات حمل و نقل، تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی
پالایش مواد شیمیایی (گیگاژول)	بنزین، گازوئیل، نفت سفید، نفتا، سوخت هواپیما و کک نفتی
تولید برق (گیگاژول)	برق
تولید گاز طبیعی (گیگاژول)	گاز طبیعی و میعانات گاز طبیعی
استخراج زغال سنگ(گیگاژول)	زغال‌سنگ قهوه‌ای، رده زیربیتومنس، مواد قیری، و زغال‌سنگ آنتراسیت
تولید نفت خام (گیگاژول)	نفت خام سبک، متوسط و سنگین، قیر و نفت خام مصنوعی

یادداشت: * شامل گرمایش و سرمایش فضا، پمپاژ، فشرده سازی، انتقال، آب گرم، بخار، جابجایی هوا و محرک موتور در صورت لزوم

۱. اجرای مدل با پیش‌بینی حالت مبنا برای اقتصاد کلان آغاز می‌شود. اگر خروجی‌های پیش‌بینی بر حسب واحد پولی باشد، باید تبدیل به پیش‌بینی محصولات فیزیکی و خدمات انرژی شوند.

۲. در هر دوره زمانی، بخشی از سهام سرمایه موجود بر اساس داده‌های طول عمر سهام ابطال می‌شود. ابطال سهام وابسته به زمان است اما کاهش بخشی نیز می‌تواند باعث ابطال برخی از سهام قبل از پایان عمر طبیعی آنها شود. اگر سهام سرمایه باقیمانده را از خدمات انرژی پیش‌بینی‌شده یا تقاضای محصول کسر کنیم تقاضا برای سهام سرمایه جدید در هر دوره زمانی مشخص شود.

۳. فناوری‌های آینده‌نگر بر اساس ملاحظات مالی (مانند هزینه سرمایه، هزینه عملیاتی)، ملاحظات فناوری (مانند مصرف سوخت، طول عمر)، و ترجیحات مصرف‌کننده (مانند درک ریسک، موقعیت، راحتی) برای دستیابی به سهام سرمایه جدید رقابت می‌کنند. سهم بازار نتیجه احتمالی این عوامل مختلف است.

٤. همچنین برای تعیین اینکه آیا فناوری‌ها به روز خواهند شد یا پیش از موعد ابطال می‌شوند، رقابتی وجود دارد. این رقابت بر اساس ملاحضاتی مشابه ملاحضات مربوط به رقابت بر سر فناوری‌های جدید است.

۵. اجرای مدل در هر دوره زمانی بین واحدهای اقتصاد کلان، عرضه انرژی و تقاضای انرژی تکرار می‌شود تا زمانی که تعادل حاصل شود. مدل پس از تعیین سهام نهایی، مصرف انرژی، تغییرات در هزینه‌ها، انتشار گازهای گلخانه‌ای، سهام سرمایه و سایر خروجی‌های مرتبط را جمع‌بندی می‌کند.

در CIMS رقابت کلیدی بر سر سهم بازار را می‌توان با تغییر مفروضات مختلف در مورد محرک‌های کلیدی اصلاح کرد. فناوری‌ها را می‌توان در دوره‌های زمانی مختلف گنجانده یا حذف کرد. حداقل و حداکثر سهم بازار قابل تعیین است. هزینه‌های مالی فناوری‌های جدید را می‌توان به صورت تابعی از نفوذ بازار کاهش داد که منعکس‌کننده اقتصادهای حاصل از یادگیری است. عوامل نامشهود دخیل در ترجیحات مصرف‌کننده برای فناوری‌های جدید را می‌توان طوری تغییر داد که بتوانند رشد آشنایی مصرف‌کننده با فناوری‌های جدید و کاهش خطرات را به صورت تابعی از نفوذ بازار منعکس کنند.

داده‌های فناوری CIMS با همکاری مرکز تحلیل داده‌های مصرف نهایی انرژی صنعتی کانادا[1] (CIEEDAC؛ نهادی مستقل برای جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها که توسط دولت فدرال کانادا و انجمن‌های صنعتی تأمین مالی می‌شود) و سایر بخش‌های تجاری و حمل و نقل در سراسر کانادا جمع‌آوری و بررسی می‌شود. پارامترهای رفتار رقابتی فناوری CIMS با همکاری گروه تحقیقات انرژی و مواد دانشگاه

[1] Canadian Industrial Energy End Use Data Analysis Centre

سایمون فریزر مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است. پارامترهای کلیدی در CIMS با استفاده از مطالعات انجام‌شده و اعلام‌شده در زمینه انتخاب گسسته ترجیحی[1] و در صورت لزوم، بررسی تحقیقات پیشین تنظیم می‌شوند.

ارتباط CIMS با CIEEDAC حاکی از مسئله‌ای مهم در ایجاد و نگهداری مدل شبیه‌سازی یا به طور کلی مدل‌های پایین به بالا است. از آنجایی که این مدل‌ها بسیار دقیق و از نظر فناوری تفکیک شده هستند، نیاز فراوانی به داده دارند. مجموعه داده‌هایی که تفکیک و کیفیت کافی داشته باشند نادر هستند. اغلب ایجاد و نگهداری از این مجموعه داده‌ها با بودجه‌ای که توسط دولت و مشخصات دسترسی عمومی ارائه می‌شود به فعالیتی در نوع خود تبدیل می‌شود.

CIMS از این جهت قابل توجه است که توسعه دهندگان آن سال‌ها در دو جبهه برای پیش‌برد آن کار کرده‌اند؛ یکی تلاش برای اینکه پویایی شبیه‌سازی آن در سطح رقابت سرمایه‌گذاری/فناوری به شکل واقعی درآورند و دیگری افزودن بازخوردهای اقتصاد کلان برای شبیه‌سازی تغییر در تقاضای مصرف نهایی. داشتن چنین اهدافی حاکی از ضعف در وضعیت فعلی هنر مدل‌سازی از پایین به بالا است. CIMS یکی از معدود رویکردهای مدل‌سازی است که با چالش اول روبرو شده است اما چالش دوم، یعنی نیاز به بازخوردهای کلی‌تر اقتصاد کلان، بیشتر مورد اذعان قرار گرفته و توسعه بیشتری داشته است.

٤ مدل‌های پایین به بالا و ترکیبی‌سازی (هیبریداسیون) در اقتصاد کلان

به طور کلی، هدف اولیه طراحی در مدل‌های پایین به بالا و مدل‌های شبیه‌سازی به طور خاص، مدل‌سازی خط‌مشی انرژی است. آنها قرار است تا حد امکان وضعیت پویای دنیای واقعی را نشان دهند، مثلاً این احتمال که شوک خط‌مشی انرژی ممکن است بر تقاضای نهایی برای یک سرویس انرژی معین تأثیر بگذارد. هنگام تجزیه و تحلیل شوک‌های کوچک و زمانی که تحلیل‌گران، بخش‌های کوچکی از سیستم انرژی را مد نظر دارند می‌توان این احتمال را نادیده گرفت. اما تجزیه و تحلیل شوک‌های بالقوه بزرگ‌تر قیمت انرژی، مانند شوکی که ممکن است مرتبط با رژیم قیمت کربن در کل سیستم باشد، نیازمند توانایی تعدیل خروجی‌ها و تغییرات در ساختار اقتصادی است. این اثرات مستلزم ترکیبی‌سازی اقتصاد کلان مدل‌های پایین به بالا است.

مفیدترین مدل انرژی برای تجزیه و تحلیل خط‌مشی، مدلی است که از نظر فناوری صریح (و قادر به ارزیابی نحوه ترویج تجاری‌سازی و اشاعه فناوری توسط خط‌مشی مذکور) و از نظر رفتاری واقع‌گرایانه (و

[1] stated preference discrete choice

قادر به ارزیابی نحوه اثرگذاری خط‌مشی‌های افزایش سهم بازار بر هزینه‌های نامشهود آینده برای دستیابی به فناوری‌های جدید) باشد و بازخوردهایی که هزینه نهایی و میانی تولید کالاها و خدمات ورودی را به عرضه و تقاضای آنها مرتبط کند داشته باشد. همچنین بازخوردهای کلی‌تری در سطح اقتصاد کلان، از جمله تعادل بلندمدت بین بودجه دولت و نیروی کار و تعادل بازار سرمایه‌گذاری داشته باشد (یاکارد، ۲۰۰۵؛ هورکاد و همکاران، ۲۰۰۶).

در اینجا مجموعه‌ای از مدل‌های «پایین به بالا» با سطوح مختلفی از بازخوردهای کلان اقتصادی را توصیف می‌کنیم که عبارتند از تلاش‌های انجام‌شده با سیستم مدل‌سازی بهینه‌سازی MARKAL، آزمایش‌های دیگر با مدل MACRO Manne و مجموعه‌ای از مدل‌های پایین به بالا (مانند مدل‌های ETA-MACRO/ Green/ Global 2100)، مدل NEMS اداره اطلاعات انرژی ایالات متحده و مدل CIMS.

پیوند مدل‌های پایین به بالا به MACRO

MACRO مدل رشد بهینه دراز مدت ساده‌ای است که قابل ترکیب با مدل‌های فناوری است (مان، ۱۹۷۹). MARKO تاکنون با چندین مدل با مقادیر مختلفی از جزئیات فناوری انرژی، جفت شده است، از جمله ETA (که بعدها Global 2100 نامیده شد و اکنون MERGE 4/5 نام دارد) (مان و ریچل، ۱۹۹۲) ، MARKAL (مان و ونه، ۱۹۹۲) و مدل MESSAGE مؤسسه بین‌المللی تحلیل سیستم‌های کاربردی (IIASA) (مسنر و شراتن هولزر ۲۰۰).

MACRO با حفظ ساختار مشترک اصلی، چندین جایگشت را تجربه کرده است. مصرف کننده منفرد، ارزش تنزیل‌شده مصرف خود را که به صورت درآمد (تولید) منهای سرمایه‌گذاری سرمایه و مصرف انرژی محاسبه می‌شود، در طول زمان به حداکثر می‌رساند. درآمد از طریق ساختار جای‌گذارشده[1] ساده کشش ثابت جانشینی[2] (CES) برای تولید ایجاد می‌شود. در اینجا سرمایه و نیروی کار در مقابل ترکیبی از انرژی جای‌گذاری می‌شوند که معمولاً عبارت است از مجموع تقاضاهای انرژی که برای بهبود کارایی اصلاح و برای تولید خروجی با سرمایه و نیروی کار ترکیب می‌شوند. سرمایه به صورت خطی کرده رشد یا کاهش می‌یابد، در حالی که نیروی کار به صورت خطی رشد می‌کند. معادله (۱۱,۱) تابع تولید مدل MARCO نوع CES را شرح می‌دهد:

[1] nested
[2] constant elasticity of substitution

$$Y_t = \left[\gamma K_t^{\rho\alpha} L_t^{\rho(1-\alpha)} + \sum_{dm} b_{dm}(D_{dm,t})^{\rho}\right]^{1/\rho} \qquad (11,1)$$

که در اینجا

$= \alpha$ پارامتر سهم برای سرمایه

$= \rho$ $1 - 1/\text{ESUB}$ (که ESUB عبارت است از کشش جایگزینی بین انرژی و مقادیر ارزش افزوده انباشته‌شده)

$= \gamma$ ضریبی که بر اساس کالیبراسیون اولیه تعیین می‌شود

$= K_t$ سرمایه (که به صورت خطی بر حسب زمان رشد و نزول می‌کند)

$= L_t$ نیروی کار (با رشد خطی بر حسب زمان)

$= Y_t$ درآمد یا تولید

$= D_{dm,t}$ تقاضای برای انرژی (یا سرویس) مفید، dm، قبل از تعدیل برای تناسب با بهبود مستقل بهره‌وری انرژی (که خروجی ETA، MARKAL یا MASSAGE هستند) و

$= b_{dm}$ پارامتر تعدیل بهره‌وری برای هر سرویس انرژی (شامل AEEL، DDF و غیره)

$D_{dm,t}$ مقدار ویژه تقاضای سرویس انرژی است که از مدل‌های فناوری تفصیلی به دست می‌آید. این تقاضاها توسط پارامتر بهره‌وری، b_{dm}، شاخص بهره‌وری مستقل انرژی[1] (AEEI) در مورد ETA-MACRO و ضریب جداسازی تقاضای[2] (DDF) خاص هر بخش در مورد MARKAL-MACRO اصلاح می‌شوند. سرمایه لازم برای کشش جایگزینی انرژی (ESUB) و AEEI باید به صورت برون‌زا مشخص شود. از آنجا که کل اقتصادِ یک منطقه معین، فقط یک تولیدکننده و مصرف‌کننده دارد، هیچ تغییر ساختاری در این سطح امکان‌پذیر نیست مگر اینکه تغییر از طریق AEEI رخ دهد. ESUB مانند برخی از چارچوب‌های CGE به روز نمی‌شود یا تغییر نمی‌کند.

MERGE 4/5 نسخه چند منطقه‌ای مدل ETA-MACRO است که در آن هر منطقه نماینده تولیدکننده/مصرف‌کننده خود را دارد. ETA مدل تأمین منابع با جزئیات فنی است. این مدل منبع انرژی اولیه سوخت‌های فسیلی و تأمین انرژی ثانویه برق را توصیف می‌کند. بقیه ارتباط بین عرضه اولیه انرژی و مصرف نهایی آن توسط بخش‌های تقاضا، توسط یک AEEI ثابت فراهم می‌شود. عرضه و تقاضا در هر دوره زمانی

[1] autonomous energy efficiency index
[2] demand-decoupling factor

جداگانه متعادل می‌شوند اما وجود ویژگی‌های «آینده‌نگرانه» در این مدل امکان تعامل بین دوره‌ها را فراهم می‌کند. این سیستم با استفاده از سیستم «بتونه و گل رس» عمل می‌کند (به این قرار که سهام سرمایه قدیمی‌تر به عنوان «خشت» پخته و سخت در نظر گرفته می‌شود، و سرمایه گذاری‌های بعدی «بتونه»های چکش خوار هستند که در دوره‌های بعدی خود به «خشت» تبدیل می‌شوند). محصولات جدید با استفاده از تابع تولید CES انتخاب می‌شوند و ترکیبی از ورودی محصولات قدیمی‌تر با کمک فرم عملکردی از ماتریس لئونتیف تثبیت می‌شوند. این ترکیبِ سرمایه ثابت و انعطاف‌پذیر به این معنی است که پاسخگویی قیمت در کوتاه مدت کمتر از بلندمدت است.

انرژی مرتبط با جایگزینی سرمایه از طریق پارامتر واحدی از ESUB مدل‌سازی شده است. هنگامی که هزینه‌های انرژی کسر کوچکی از کل تولید باشد، پارامتر ESUB تقریباً برابر با مقدار مطلق کشش قیمت تقاضا است. در مدل‌های ETA–MACRO/Global 2100/MERGE، این پارامتر در نقطه تولید انرژی ثانویه اندازه‌گیری می‌شود: برق در باس‌بار، نفت خام و سوخت‌های مصنوعی در ورودی پالایشگاه. برای کشورهای سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (OECD) فرض استاندارد این است که مقدار ESUB برابر با ۰/٤ است. یعنی یک درصد افزایش قیمت منجر به کاهش ۰/٤۰ درصدی تقاضا برای انرژی خواهد شد. همه تغییرات غیرقیمتی ناشی از بهره‌وری انرژی در یک AEEI واحد قرار می‌گیرند. برای کشورهای OECD مقدار سالانه AEEI برابر با ۰/۵ درصد در سال است.

اگرچه MACRO ساده و بر مبنای نظریه اقتصادی است اما خروجی این مدل‌سازی به مفروضات برون‌زای مورد نیاز برای ESUB و AEEI بسیار حساس است. برآورد مناسب این مفروضات به ویژه برای دوره‌های آینده دشوار است و اغلب برای این پارامترها از مقادیر ذهنی استفاده می‌شود (باتایلی و همکاران، ۲۰۰٦). بسته به اجرا، این مقادیر مفروض طی دوره پیش‌بینی ثابت نگه داشته می‌شوند. در عمل، MACRO غیرخطی است و برای بهینه‌سازی نیاز به حل‌گر غیرخطی دارد. حل‌گرهای غیرخطی تجاری اولیه از نظر میزان جزئیاتی که می‌توانست در سیستم انرژی مدل تعبیه شود دچار محدودیت بودند. این امر تعداد فناوری‌ها و تقاضاهای خدمات انرژی را که می‌توانست برای مدلی مانند MARKAL ارائه شود، محدود می‌کرد.

ماژول اقتصاد کلان NEMS

ماژول اقتصاد کلان در NEMS یا MAM، رویکرد دیگری را برای درج یا پیوند دادن رفتارهای کلان اقتصادی گسترده‌تر به مدل سیستم انرژی پایین به بالا ارائه می‌دهد (توسعه MAM بر مبنای مستندات DOE NEMS ایالات متحده، در آدرس www.eia.doe gov/oiaf/aeo/overview/overview.html در

دسترس است). فرم اولیه MAM به صورت مدل «سطح پاسخ» عمل می‌کرد که با استفاده از خروجی مدل اقتصاد کلان منابع داده‌ای گنجانده شده[1] (DRI) برای ایالات متحده ایجاد شده بود. این فرم شامل ماتریسی از پاسخ‌های احتمالی به تغییرات قیمت انرژی است. ارتباط مدل اولیه MAM با بقیه اجزای NEMS به این صورت بود که خروجی بخش انرژی، با استفاده از مقادیر کشش ناشی از تغییرات درصدی در تقاضا، برای تغییرات معین در قیمت‌ها و کمیت‌ها، تعدیل می‌شد. اما هیچ امکانی برای برگشت تقاضای کل در اثر تعدیل ساختاری در قیمت‌های جدید (به عنوان مثال حرکت به سمت سرمایه‌گذاری با شدت انرژی کمتر و بهبود اقتصادی پس از شوک قیمت نفت) در نظر گرفته نشده بود. در سال ۱۹۹۹، رگرسیون کرنل برای پاسخ‌های کششی جداگانه در سطح پاسخ در مدل گنجانده شد. در این ارتقا، پاسخ‌های مستقیم قیمت را در نظر گرفته و امکان برخی تغییرات ساختاری فراهم شد.

در نسخه فعلی MAM قسمت پایین به بالای مدل NEMS توسط سیستم مدل‌سازی کلان اقتصاد ایالات متحده (که در حال حاضر شامل مدل‌های بینش جهانی اقتصاد، صنعت و اشتغال ایالات متحده و مدل‌های منطقه‌ای EIA است) به صورت تکرارشونده اجرا می‌شود. برای شروع فرآیند، این سیستم مدل‌سازی مجموعه‌ای اولیه از قیمت‌های انرژی، تقاضاها و تولید انرژی داخلی را از شبیه‌سازی اولیه NEMS دریافت می‌کند. پس از استخراج متغیرهای NEMS مناسب، سه مجموعه مدل (شامل اقتصاد کلان، صنعت و اشتغال، و منطقه ای) به ترتیب اجرا می‌شوند. سپس مجموعه‌ای اصلاح شده از محرک‌های اقتصاد کلان به ماژول‌های عرضه، تقاضا و تبدیل NEMS بازگردانده می‌شود. آنگاه NEMS با این مقادیر جدید دوباره اجرا می‌شود و قیمت‌ها و مقادیر انرژی حاصل به MAM بازگردانده می‌شود. تکرار این فرآیند تا رسیدن به همگرایی تمام قسمت‌های سیستم ادامه می‌یابد. ضمناً، این تکرار به صورت سالانه تا پایان افق پیش‌بینی انجام می‌شود.

چارچوب اصلاح‌شده MAM نسبت به فرم قبلی بیشتر به تغییرات در اقتصاد پاسخ می‌دهد اما هنوز به طور کامل رضایت‌بخش نیست. مؤلفه‌های اصلی مدل اقتصاد کلان با تمرکز بر دوره زمانی کوتاه مدت تقاضا را هدایت می‌کنند و بنابراین، دیدگاهی تا حدودی نزدیک‌بینانه و ساده‌تر از سرمایه‌گذاری را ارائه می‌کنند. با توجه به اینکه سرمایه‌گذاری علاوه بر این مورد، وسیله‌ای برای نفوذ بهره‌وری انرژی، تعویض سوخت، فناوری‌های کاهش مستقیم انتشار گازهای گلخانه‌ای (به عنوان مثال، اسکرابرهای SO_x، جذب و ذخیره‌سازی کربن) و سایر تغییرات فناوری ناشی از خط‌مشی (به عنوان مثال یادگیری از طریق انجام دادن) نیز به‌شمار می‌رود، ممکن است تغییرات ظریف اما مهم در خروجی مدل مشهود نباشد. این کاستی‌ها با پیوندیافتن به مدل رشد رمزی[2]،

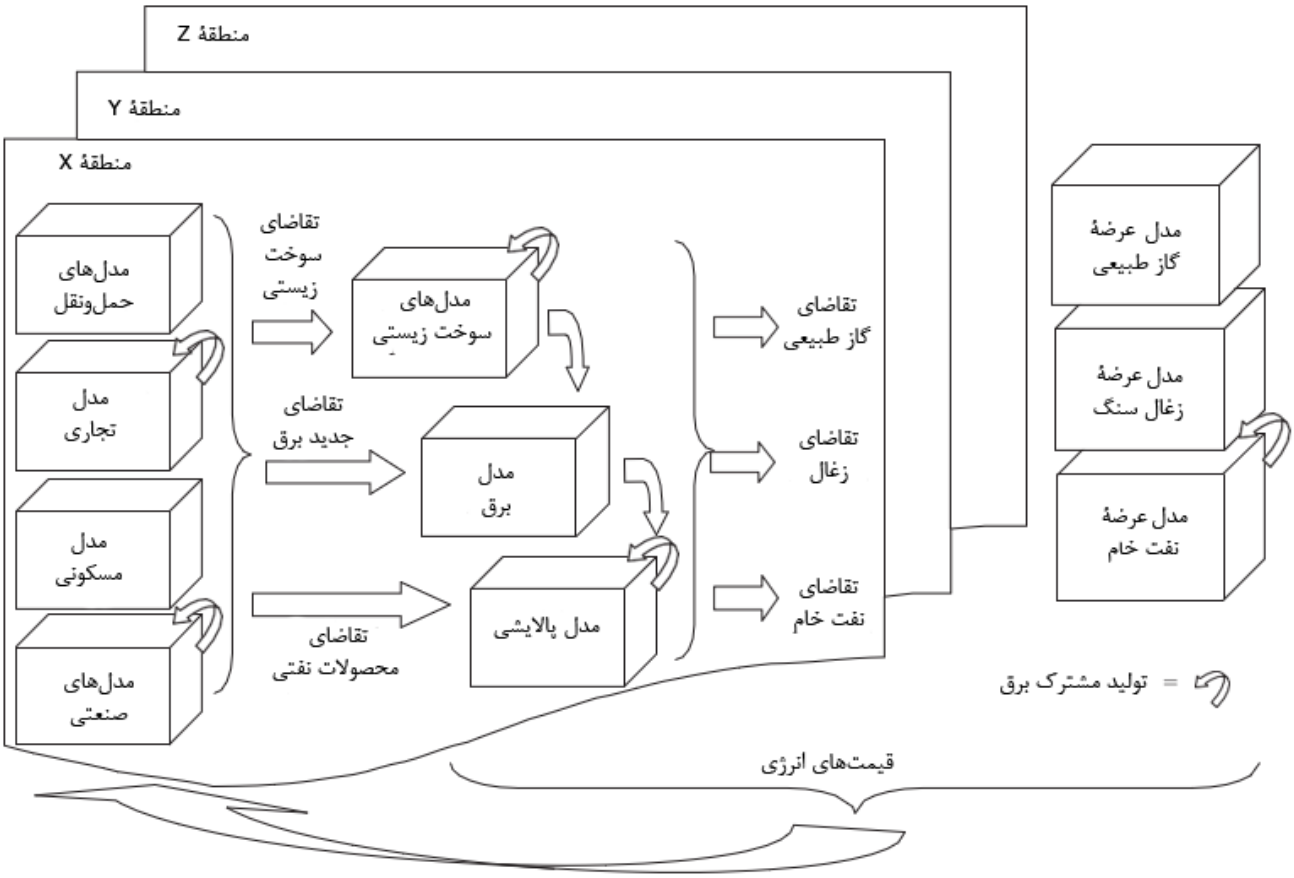
[1] Data Resources Incorporated
[2] Ramsey

که در آن سرمایه‌گذاری یک عامل است و با حل به صورت سالانه جبران می‌شود. با این حال، این فرآیند از نظر محاسباتی فشرده است و امکان دارد در شرایط خاصی مانند شوک قیمت نفت به راه حل نرسد.

ماژول اقتصاد کلان CIMS

CIMS با حرکت به سمت چارچوب تعادل عمومی مشابه آنچه در مدل‌های CGE یافت می‌شود، از رویکرد دیگری برای گنجاندن پویایی‌های اقتصادی در مدل شبیه‌سازی پایین به بالا استفاده می‌کند (باتایلی و همکاران، ۲۰۰۶). این چارچوب اثر یک خط‌مشی را با مقایسه تعادل یک بازار معمولی با تعادلی که توسط یک خط‌مشی ایجاد شده، تخمین می‌زند. عملکرد این مدل شامل تکرار دو مرحله متوالی در هر دوره پنج ساله، با تعداد تکرار لازم برای رسیدن به تعادل در هر دوره است. دامنه خط‌مشی می‌تواند از خط‌مشی اثرگذار بر یک فناوری واحد، مانند تخصیص یارانه به یک فناوری خاص گرفته تا یک رقابت فناوری، که در آن می‌توان استاندارد بهره‌وری را برای یک بازار واحد اعمال کرد و از آنجا تا مالیات کربن در سرتاسر حوزه اقتصاد و آلاینده‌هایی که اجرای سیستم تجاری را میسر می‌سازند در بر گیرد.

مرحله اول (شامل تعادل عرضه و تقاضای انرژی) به صورت شماتیک در شکل ۱۱,۲ توضیح داده شده است. در این مرحله، مدل‌های نشان دهنده بخش‌های تولیدکننده کالا و خدمات نهایی اقتصاد (مدل‌های حمل و نقل، مسکونی، تجاری و صنعتی در سمت چپ شکل) اجرا می‌شوند. شرکت‌ها و مصرف‌کنندگان در این بخش‌ها، سهام سرمایه را بر اساس الگوریتم‌های انتخاب فناوری CIMS انتخاب می‌کنند که هزینه‌های مالی و نامشهود را برای سرمایه، نیروی کار، انرژی و هزینه‌های انتشار آلاینده‌ها بر حسب مجموعه اولیه قیمت‌های ورودی به حداقل می‌رسانند. سپس، این مدل تقاضا و هزینه تحویل را بر حسب شکل‌های مختلف انرژی، از جمله هرگونه تأثیرات خط‌مشی (وسط و سمت راست شکل) محاسبه می‌کند. اگر هزینه تولید هر یک از این کالاها به‌اندازه مقدار آستانه‌ای (معمولاً ۵ درصد) نسبت به حالت عادی تغییر کرده باشد، مدل در حالت عدم تعادل در نظر گرفته می‌شود و بر اساس قیمت‌هایی که بر حسب هزینه‌های تولید جدید محاسبه شده‌اند دوباره اجرا می‌شود. قیمت‌ها با استفاده از مضرب‌هایی از مقادیر مطلق مبنا تنظیم می‌شوند. این مدل تا رسیدن به مجموعه تعادل جدیدی از قیمت‌ها و تقاضای انرژی، که معمولاً در سه مرحله اتفاق می‌افتد، تکرار می‌شود.



شکل ۱۱,۲ مدل جریان عرضه و تقاضای انرژی CIM

سپس در مرحله دوم، هنگامی که مجموعه تعادل جدید قیمت‌های انرژی به دست آمد، مدل میزان تغییر هزینه‌های تولید کالاها و خدمات معامله‌شده را محاسبه می‌کند. با فرض وجود بازارهای کاملاً رقابتی، این تغییرات مستقیماً به قیمت تبدیل می‌شوند. با استفاده از این قیمت‌های جدید، برای تقاضا برای کالاهای تجارت بین‌المللی با استفاده از کشش‌های قیمتی که از ویژگی آرمینگتون[1] پیروی می‌کنند، تعدیل می‌شود (در محاسبه کشش آرمینگتون، تقاضا از ترکیب تقاضای داخلی و بین‌المللی یک کالا حاصل می‌شود). تقاضا برای حمل و نقل بار با ارزش افزوده ترکیبی بخش‌های صنعتی مرتبط است، در حالی که حمل و نقل شخصی با استفاده از کشش مقداری کیلومتر سفر شخصی با قیمت شخصی تنظیم می‌شود. اگر تقاضا برای هر کالا یا خدمتی بیش از مقدار آستانه‌ای جابجا شده باشد، مدل در حالت عدم تعادل در نظر گرفته می‌شود و هر دو مرحله عرضه انرژی و تقاضای نهایی با استفاده از آخرین مجموعه قیمت‌ها و تقاضاهای جدید دوباره اجرا می‌شوند. این مدل تا زمانی که عرضه و تقاضا برای همه کالاها و خدمات به تعادل جدیدی برسد تکرار می‌شود. همچنین، این رویه

[1] Armington

همگرایی هر پنج سال یکبار تا رسیدن به پایان افق پیش‌بینی که می‌تواند از ۵ تا ۵۰ سال طول بکشد، تکرار می‌شود.

آن دسته از عوامل مهم پویایی که در CIMS وجود ندارد عبارتند از سرمایه، دستمزد و بازارهای ارز و همچنین تعادل مالی دولت. هر یک از این نقاط ضعف، نقطه قوت رویکرد CGE است، از این رو برای کاهش آنها بر استفاده از مدل‌ها و روش‌های CGE تلاش‌های زیادی شده است. سه رویکرد برای مقابله با این مشکلات استفاده می‌شود: CIMS که برای پارامترسازی مدل CGE فعلی استفاده می‌شود، پویایی‌های دیگر CGE که می‌تواند به CIMS اضافه شود یا استفاده از CIMS برای جایگزینی مستقیم توابع تولید در چارچوب CGE فعلی. در مورد اول، با استفاده از CIMS، کشش‌های جانشینی بلندمدت بین سرمایه و انرژی و بین سوخت‌ها با به کارگیری انواعی قیمت‌های انرژی محاسبه شده است (باتیلی، ۲۰۰۶). این کشش‌ها در مدل CGE برای کانادا جهت استفاده در تحلیل خط‌مشی گنجانده شده‌اند. همچنین، آزمایش‌ها برای افزودن بازارهای سرمایه و دستمزد به CIMS و پیوند مستقیم CIMS به یک سیستم CGE موجود به عنوان جایگزینی برای عملکردهای استاندارد تولید CES ادامه دارند.

۵ آیا آینده مدل‌های پایین به بالا مدل‌های بالا به پایین هستند؟ ترکیب مدل‌های بالا به پایین با ویژگی‌های پایین به بالا

وضعیت که این همه مدت بالا به پایین بوده است برای من مانند پایین به بالا است.

(هانتیگتون، ۱۹۹٤، ص۸۳۳)

هدف ترکیب ویژگی‌های صراحت تکنولوژیک، واقع‌گرایی اقتصاد خرد و بازخوردهای اقتصاد کلان در یک خط‌مشی مدل‌سازی یکسان، محدود به مدل‌سازی پایین به بالا نیست. در واقع، چون تیم‌های مدل‌سازی بالا به پایین بسیار بیشتر تیم‌های مدل‌سازی پایین به بالا هستند، به ویژه آنهایی که از مدل‌های CGE استفاده می‌کنند، اکثر محققین سعی کرده‌اند از طریق افزودن ویژگی صراحت تکنولوژیکی به مدل CGE یا مدل فعلی اقتصادسنجی کلان، مشکل را از سمت مخالف، یعنی از منظر مدل‌سازی بالا به پایین بررسی کنند.

از لحاظ تاریخی، دو پارامتر کلیدی برای توصیف ظرفیت تغییرات تکنولوژیکی در مدل‌های بالا به پایین استفاده شده است: ESUB و AEEI. مدل‌های ESUB قابلیت جایگزینی بین هر دو جفت ورودی کل (سرمایه، نیروی کار، انرژی، مواد) و بین اشکال مختلف انرژی نهایی ناشی از تغییر نسبی قیمت‌ها را دارند. هرچه ESUBهای سرمایه–انرژی و بین‌سوختی بیشتر باشد، هزینه خط‌مشی‌های کاهش مصرف انرژی یا انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتر خواهد بود. AEEI نشان می‌دهد که تکامل فنی بهره‌وری انرژی را با چه نرخی

مستقل از قیمت بهبود می‌بخشد. AEEI تابعی از تغییرات در فناوری و گردش سهام سرمایه است. هرچه AEEI بالاتر باشد، اقتصاد با سرعت بیشتری در استفاده از انرژی به بهره‌وری می‌رسد (و ضمناً شدت گازهای گلخانه‌ای جهانی را کاهش می‌دهد). هنگام تجزیه و تحلیل هر نوع خط‌مشی که مستلزم تعدیل فناوری بلندمدت باشد، بسیار مهم است که هر دو نوع پارامتر به طور دقیق پویایی سیستم را منعکس کنند (باتایلی، ۲۰۰۶).

خط‌مشی‌گذاران مایل‌اند بدانند که خط‌مشی‌های‌شان تا چه اندازه بر ویژگی‌ها و هزینه‌های مالی فناوری‌های آینده و تمایل احتمالی مصرف‌کنندگان و کسب و کارها برای اتخاذ این موارد اثرگذار هستند. اگر ESUB و AEEI از روی داده‌های کلی و تاریخی تخمین زده شوند، هیچ تضمینی وجود ندارد که مقادیر این پارامترها در آینده تحت خط‌مشی‌های مختلف برای بهبود محیط زیست معتبر باقی بمانند (گروب و همکاران، ۲۰۰۲). به عنوان مثال، ظهور وسایل نقلیه هیبریدی بنزینی-برقی احتمالاً AEEI بخش حمل و نقل را افزایش می‌دهد، زیرا با قادر ساختن مصرف‌کننده به انتخاب بین سرمایه و انرژی در پاسخ به قیمت نهاده نسبی‌اش، امکان بهبود بهره‌وری انرژی و افزایش ESUB را فراهم می‌کند. در مقیاس بزرگ‌تر، تا همین اواخر انگیزه چندانی برای طراحی و تجاری‌سازی فناوری‌هایی با آلایندگی گازهای گلخانه‌ای صفر یا نزدیک به صفر وجود نداشت. امروزه چنین فناوری‌هایی در سرتاسر جهان در حال توسعه هستند. هر قدر خط‌مشی گازهای گلخانه‌ای جهانی بیشتر توسعه می‌یابد و شرکت‌ها آن را بیشتر در انتظارات و سرمایه‌گذاری خود مد نظر قرار می‌دهند، این احتمال وجود دارد که هزینه تخمینی کاهش گازهای گلخانه‌ای جهانی کاهش یابد، اما رویکردهای ESUB و AEEI برای مدل‌سازی فناوری در مدل‌های بالا به پایین با این پویایی مشکل خواهند داشت. به واسطه درگیری فزاینده با این مشکلات پارامترسازی دراز مدت، محققان در حال بررسی راه‌هایی برای برخورد درون‌زا با تغییرات تکنولوژیکی هستند. با این حال، در پیوند دادن شواهد دنیای واقعی با تخمین پارامترهای کلی تغییرات تکنولوژیکی در این مدل‌ها توفیق چندانی به دست نیامده است (لوشل ۲۰۰۲).

خط‌مشی‌گذاران همچنین به سمت خط‌مشی‌های فناوری خاص در قالب اعتبارات مالیاتی، یارانه، مقررات و برنامه‌های اطلاعاتی سوق داده می‌شوند، به ویژه در مواردی که برای بهبود محیطی معین، ممکن است هزینه‌های مرتبط با آلاینده‌ها بالا باشد. این امر خط‌مشی‌گذاران را تشویق می‌کند تا ترکیبی از خط‌مشی‌ها را به کار گیرند که می‌کوشند واکنش عمومی به افزایش قابل توجه و احتمالی قیمت انرژی را به حداقل برسانند. از آنجایی که مدل‌های مرسوم بالا به پایین تغییرات فناوری را به صورت پدیده‌ای انتزاعی و کلی (همراه با مقادیر پارامترهای ESUB و AEEI) نشان می‌دهند، این رویکرد به خط‌مشی‌گذاران کمک می‌کند تا فقط ابزارهای خط‌مشی سطح اقتصادی، مانند مالیات‌ها و مجوزهای قابل مبادله را ارزیابی کنند. مدل مفیدتر مدلی است که

بتواند اثر ترکیبی خط‌مشی‌های مبتنی بر قیمت در سطح اقتصاد و خط‌مشی‌های متمرکز بر فناوری را ارزیابی کند. مورد دوم مستلزم نمایش صریح فناوری‌های جداگانه‌ای است که مدل‌های بالا به پایین فاقد آن هستند (جاکارد، ۲۰۰۵).

برای ترکیب‌سازی مدل‌های بالا به پایین به‌کمک ویژگی صراحت تکنولوژیکی، چندین روش مختلف ایجاد شده است:

- استفاده از روال‌های حل مسئله مکمل ترکیبی برای شبیه‌سازی انتخاب‌های گسسته و محدود فناوری (بورینگر، ۱۹۹۸؛ بورینگر و راترفورد، ۲۰۰۸)
- استفاده از توابع لئونتیف با نسبت ورودی ثابت برای نمایش فناوری‌ها و رقابت‌های شبیه‌سازی شده بین فناوری‌ها بر اساس هزینه چرخه عمر (سندزز، ۲۰۰٤؛ و شوماخر و سندز، ۲۰۰۷ با استفاده از مدل SGM؛ بابیکر و همکاران، ۲۰۰۱؛ مک‌فارلند و همکاران، ۲۰۰٤؛ و سو وینگ، ۲۰۰۸ با استفاده از مدل MIT–EPPA)
- کالیبراسیون توابع استاندارد CES برای در نظر گرفتن جایگزینی فناوری گسسته (هانسون و لایتنر، ۲۰۰٤؛ لایتنر و هانسون، ۲۰۰٦ با استفاده از مدل AMIGA)
- استفاده از توابع پوش محاسبه شده بر اساس مدل پایین به بالا به نیابت از پاسخ تکنولوژیکی در یک مدل CGE (گرسی و هورکاد، ۲۰۰٦؛ با استفاده از مدل‌های POLES و IMACLIM-S)
- انتقال فعال متغیرها بین یک مدل بالا به پایین و یک مدل حمل و نقل پایین به بالا (برای مثال، شیفر و یاکوبی، ۲۰۰۵ و ۲۰۰٦ با استفاده از مدل MIT-EPPA)
- ترکیب تعداد کافی از معادلات در یک چارچوب اقتصادسنجی کلان (کوهلر و همکاران ۲۰۰٦ با استفاده از مدل E3ME)

این کار به طور کلی محدود به تولید برق یا صنایعی با مصرف بالای انرژی و با گزینه‌های متفاوت برای فناوری است (به عنوان مثال، شوماخر و ساندز، ۲۰۰۷، از آن برای بخش آهن و فولاد استفاده کردند). سایر نویسندگان در این زمینه عبارتند از: جاکوبسن، ۱۹۹۸؛ کوپمانس و تی‌ولده، ۲۰۰۱؛ موریس و همکاران، ۲۰۰۲؛ فرای و همکاران، ۲۰۰۳؛ و بوزتی و همکاران، ۲۰۰٦).

برای مدل‌سازی واقعی شوک‌های بزرگ خط‌مشی انرژی، به ویژه شوک‌های مربوط به قیمت‌های بالای کربن، وجود این پیشرفت‌ها برای CGE و مدل‌های اقتصاد کلان ضروری بوده است. با این حال به نظر می‌رسد که برای افزودن جزئیات مهم فناوری به مدل‌های بالا به پایین موانع جدی وجود دارد که مانع از تحلیل

کامل مدل‌های پایین به بالا می‌شود. در رابطه با مدل‌سازی CGE که به دلیل مطلوبیتش نسبت به مدل‌های تخمینی اقتصاد کلان اکثر مدل‌سازی‌های بالا به پایین توسط آن انجام شده است، مهم‌ترین مسئله کالیبراسیون اولیه ماتریس حسابداری اجتماعی است. افزودن هر فناوری جدید (اگر به صورت یک بخش تولیدکننده مدل شود) می‌تواند منجر به افزوده شدن روابط جدیدی با سایر متغیرهای موجود شود. احتمالاً بیشترین پیشرفت در توسعه روشی استاندارد برای افزودن ویژگی تفکیک فناوری مدیون مدل‌سازانی است که از مدل MIT-EPPA استفاده کرده‌اند (به عنوان مثال، سو وینگ، ۲۰۰۸). در حالی که امکان افزودن تعدادی بخش جدید به مدل، فراتر از تعدادی معین، وجود دارد، اما کالیبراسیون ماتریس حسابداری اجتماعی ممکن است با شیوه‌های فعلی غیرممکن باشد. همچنین در حال حاضر تکرار هزاران فناوری عرضه و تقاضای انرژی موجود در چارچوب‌های پیچیده پایین به بالا فراتر از امکان است. شاید نسل‌های آینده چارچوب‌های CGE بر این محدودیت غلبه کنند.

با این حال، این سوال باقی می‌ماند که چه میزان جزئیات تکنولوژیکی واقعاً ضروری و واقع‌بینانه است. آنهایی که از مدل‌سازی بالا به پایین استفاده می‌کنند معتقدند که پیش‌بینی‌های مربوط به ویژگی‌های فناوری بسیار نامشخص و تنها برای دوره‌های زمانی محدود جوابگو هستند. در مقابل، طرفداران رویکرد پایین به بالا اصرار دارند که طیف گسترده‌ای از جزئیات فناوری «کاملا ضروری» وجود دارد که از آن جمله می‌توان به رقابت‌ها بر سر حداقل دفعات تعویض سوخت و بهره‌وری انرژی در سطح بخش، فناوری‌های جدید بالقوه و توانایی اعمال مقررات برای زیر مجموعه‌ای از فناوری‌ها اشاره کرد. استدلال‌های هر دو گروه نشان می‌دهد که هنگام ساخت مدل باید به یک نقطه نهایی در ایجاد توازن بین این عوامل برسیم.

برای سهولت کالیبراسیون، در مدل‌های CGE از توابع CES برای نمایش تولید استفاده کنند. این کار شاید برای بخش‌هایی که ورودی‌های‌شان در طیف گسترده‌ای از ترکیب‌های ورودی (مانند سرمایه و نیروی کار در خدمات) به راحتی جایگزین یکدیگر شوند کافی باشد، اما در بسیاری از بخش‌ها، سرمایه، نیروی کار و انرژی به راحتی قابل جایگزینی نیستند، بلکه جایگزینی آنها به صورت «توده‌های» گسسته امکان‌پذیر است. توابع CES در نمایش روش انتخاب فناوری گسسته، توده‌ای یا ناپیوسته مشکل دارند. لایتنر و هانسون (۲۰۰۶) با تلاش برای کالیبره‌کردن توابع CES با داده‌های موجود، مستقیماً با این موضوع مقابله می‌کنند اما گرسی و هورکاد (۲۰۰۶) از تابع پوش برای نمایش اجزای مدل POLES 4 در IMACLIM-S CGE استفاده می‌کنند. گزینه دیگری توسط مک‌کیتریک (۱۹۹۸) ارائه شد. او فرم‌های عملکردی تعمیم‌یافته، مانند فرم

ترانسلوگ،[1] فرم درجه دوم نرمال‌شده یا فرم لئونتیف تعمیم‌یافته، را به عنوان جایگزینی برای CES معرفی کرد. این فرم‌ها می‌توانند شکل هر تابع تولید ممکنی را به خود بگیرند. با اینکه موارد دیگری نیز برای طرفداری از این گزینه‌ها وجود دارد (برای مثال، مک کیبین و ویلکاکسن ۱۹۹۹، اجرای مدل G-cubed)، اما دشواری زیاد در تخمین پارامترها برای مدل‌های CGE و یافتن داده‌ها برای انجام این کار، باعث شده که اکثر افراد از این مدل به عنوان جایگزینی برای مدل‌های کالیبره شده استفاده نکنند.

مجموعا در حالی که هر دو گروه مدل‌سازان پایین به بالا و بالا به پایین تلاش فعالی برای افزودن بازخوردهای کلان اقتصادی، در مورد اول و افزودن ویژگی صراحت تکنولوژیک، در مورد دوم کرده‌اند، هیچ یک به طور کامل موفق نبوده است و احتمالاً هر دو رویکرد برای آینده قابل پیشی‌بینی بهترین گزینه هستند.

٦ خلاصه و تحولات آتی

... همه مدل‌ها اشتباه هستند، اما برخی از آنها مفیدتر هستند.

(باکس، ۱۹۷۹، ص ۲۰۲)

آنچه باعث توسعه مدل‌های پایین به بالا می‌شود کماکان عبارت است از نیاز به توصیف اقتصاد انرژی یا اجزای آن در سطح بسیار بالاتری از نظر فناوری و جزئیات فرآیندی نسبت به جایگزین‌های موجود. این ژانر با مدل‌های تک‌بخشی شروع شد و هدف از طراحی آن توضیح صریح جریان‌های ورودی و خروجی اشکال انرژی بر اساس فرآیندها یا به طور کلی، سیستم اقتصاد انرژی بود. این رویکرد تجزیه و تحلیل مصرف انرژی، مشوقی برای حرکت به سمت تفکیک فناوری بود و نیاز فزاینده به ابزارهای خط‌مشی که بتوانند فناوری‌هایی با هزینه‌های یکسان و خدمات یکسان اما با وضعیت‌های متفاوت از نظر انرژی و آلایندگی را از هم تفکیک کنند، عاملی برای تقویت این حرکت بود. پس از رواج مدل‌سازی فناوری‌ها، چالش بعدی انتخاب فناوری مناسب از بین گزینه‌های موجود توسط شرکت‌های مدل‌سازی و مصرف‌کنندگان بود. استفاده از روش حداقل‌سازی هزینه –که در برخی حوزه‌ها به آن بهینه‌سازی نیز گفته می‌شود– در کنار نیاز به مدل‌سازی چشم‌انداز در حال گسترش اقتصاد، در نهایت امکان توسعه مدل‌های پیش‌بینی بسیار پیچیده برای کل سیستم انرژی را فراهم و انگیزه‌ها را برای این مدل‌سازی ایجاد کرد که از این بین می‌توان به توسعه نسخه‌های مختلف MARKAL اشاره کرد.

همچنین، پیشرفت‌های فنی در انجام محاسبات، به مدل‌های پایین به بالا اجازه می‌دهد تا ساختار سیستم انرژی (به عنوان مثال جریان فرآورده‌های نفتی از چاه‌ها به انباره‌ها، پالایشگاه‌ها و پردازنده‌ها، به توزیع‌کنندگان

[1] translog

و خرده‌فروشان و در نهایت به مصرف نهایی) را به شکل واقعی‌تری شبیه‌سازی کنند که این امر در نهایت منجر به شکل‌گیری خانواده‌ای از مدل‌های شبیه‌سازی می‌شود. این مدل‌ها از نظر ساختار واقعی‌تر شده‌اند و مدل‌هایی در حال ظهور هستند که برای انواع انرژی، جریان کل سیستم انرژی را از منابع اولیه گرفته تا تبدیل انرژی، توزیع و صنایع نگهدارنده و تا مصرف‌کنندگان مختلف نشان می‌دهند. این حرکت به سمت یک ساختار واقع‌گرایانه، انگیزه‌ای موازی و البته با موفقیت کمتر را برای شبیه‌سازی واقعی‌تر عوامل پویای انتخاب فناوری، اعم از رفتار سرمایه‌گذاری شرکت یا رفتار مصرفی مصرف‌کننده، ایجاد کرده است.

فراتر از واقع‌گرایی اقتصاد خرد، مدل‌سازان «پایین به بالا» به تدریج پی به ضرورت گنجاندن رفتارهای اقتصادی فراتر از سیستم انرژی برده‌اند. این وضع منجر به گنجاندن بازخوردهای پیچیده‌تری در این کلاس از مدل شده است. ماهیت صریح فناوری این مدل‌ها به این معنی است که این بازخوردها تمرکزشان بر تنظیم تقاضا برای انرژی با استفاده از کالاها و خدمات در پاسخ به تغییرات در هزینه تحویل آنها است که به طور کلی با استفاده از کشش‌های تقاضای خود قیمت و معادله‌های اولیه اقتصاد کلان یا شبیه‌سازی کامل مدل‌های اقتصاد کلان انجام‌پذیر است. با این حال به طور کلی پذیرفته شده است که این روش‌ها فقط برای تنظیمات مستقیم اقتصادی بر مبنای تغییر قیمت انرژی مناسب هستند و نه آنچه که برای تأثیر کلی روی دستمزدها، هزینه سرمایه، نرخ تبدیل ارز و بودجه دولتی رخ می‌دهد. این «تأثیرات ثانویه اقتصاد کلان» تا مدت‌ها نگرانی اصلی در رویکردهای رایج اقتصاد کلان و CGE بود. در عین حال، مدل‌سازان اقتصاد کلان و CGE، به خصوص هنگام مدل‌سازی خط‌مشی‌های کاهش جدی گازهای گلخانه‌ای جهانی، نقص فناورانه روش‌ها خود را پذیرفته و برای بهبود آن تلاش کرده‌اند.

دو رویکرد اساسا متفاوت بالا به پایین و پایین به بالا به اهداف یکسان تحلیل خط‌مشی، این پرسش را پدید می‌آورند که آیا با هماهنگ‌سازی بر اساس یکی از این دو رویکرد می‌توان سیستم انرژی را مدل‌سازی کرد یا خیر. هر الگوی جدیدی برای مدل‌سازی باید تمام خصوصیات زیر را در خود داشته باشد:

۱. جریان‌های پولی و فیزیکی باید به صراحت بیان و در نظر گرفته شوند.

۲. عوامل مجزایی که نماینده مصرف‌کنندگان، شرکت‌ها، دولت و مابقی جهان هستند باید طوری ترسیم شوند که آن رفتار را بتوان صراحتاً به تصمیم‌گیرنده مذکور تخصیص داد.

۳. نمایش کاملاً انتها به انتهای مصرف نهایی، تبدیل، تأمین و فعالیت‌های صادراتی و وارداتی باید فراهم و در بستر اقتصادی گسترده‌تر مربوطه گنجانده شود.

٤. چارچوب مدل باید کاملاً بر مبنای معماری‌های نرم‌افزاری عمومی، قوی و انعطاف‌پذیری باشد که از طریق محاسبه درون‌زای قیمت بازار، امکان ایجاد تعادل بین همه ورودهای بازار را فراهم می‌کنند و یا تا حد امکان به حالت تعادل عمومی نزدیک می‌شوند.

۵. چنین چارچوبی برای تمام فرآیندهای لازم عرضه و تقاضا انرژی دارای اجزای بخشی پایین به بالای یکپارچه و قابل فراخوانی، با اجزای فرعیِ به‌اندازه کافی گسسته و تفکیک شده برای فناوری است.

٦. سرانجام، چارچوب باید مقیاس‌پذیر باشد تا در صورت نیاز بتواند امکان ایجاد مدل‌های ساده و پیچیده‌تر اما با مؤلفه‌های فرعی قابل تعویض را فراهم کند.

به طور خلاصه، مدل‌های پایین به بالا به طور فزاینده‌ای جزئی‌تر و پیچیده‌تر شده‌اند و روزبه‌روز پویایی سیستم انرژی را بیشتر نمایش می‌دهند. در عین حال، قابلیت‌هایی برای شبیه‌سازی روابط بین سهام فیزیکی و اقتصاد به این مدل‌ها بیشتر اضافه شده است. در نهایت، الزامات خط‌مشی انرژی که همه این روندها را هدایت می‌کنند، بدون تغییر باقی می‌مانند و به پیش‌برد توسعه ادامه می‌دهند.

یادداشت

۱. در اغلب موارد، تکامل مدل‌های سیستم انرژی برای کل اقتصاد از مدل‌های تک‌بخشی آغاز می‌شود. در برخی از چارچوب‌ها از جمله NEMS و نسخه‌ای از MARKAL، از ISTUM به عنوان نقطه شروع استفاده می‌شود (گرینینگ، ۲۰۰۷). ISTUM در آزمایشگاه شمال غربی اقیانوس آرام و تحت نظارت وزارت انرژی ایالات متحده توسعه یافت.

منابع

Argonne National Laboratory (2001), *Greenhouse Gas Mitigation Analysis Using ENPEP: A Modeling Guide,* Vienna: International Atomic Energy Agency.

Babiker, M., J. Reilly, M. Mayer, R. Eckaus, I. Wing and R. Hyman (2001), *The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis Model: Revisions, Sensitivities, and Comparisons of Results*, Cambridge, MA: MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Massachusetts Institute of Technology.

Bahn, O., A. Haurie, S. Kypreos and J.-P. Vial (1996), 'A decomposition approach to multiregional envi- ronmental planning: a numerical study', in C. Carraro and A. Haurie (eds), *Operations Research and Environmental Management*, Dordrecht: Kluwer Academic, pp. 119–32.

Bahn, O. and S. Kypreos (2003), 'Incorporating different endogenous learning formulations in MERGE,' *Energy*, 19(4), 333–58.

Barreto, L. and S. Kypreos (2002), 'multi-regional technological learning in the energy-systems MARKAL model', *Global Energy Issues*, 17(3), 189–213.

Bataille, C., M. Jaccard, J. Nyboer and N. Rivers (2006), 'Towards general equilibrium in a technology-rich model with empirically estimated behavioral parameters', *The Energy Journal*, 27 (Special Issue on Hybrid Modeling of Energy–Environment Policies: Reconciling Bottom-up and Top-down), 93–112.

Blesl, M., A. Das, U. Fahl and U. Remme (2007), 'Role of energy efficiency standards in reducing CO2 emissions in Germany: an assessment with TIMES', *Energy Policy*, 35(2), 772–85.

Böhringer, C. (1998), 'The synthesis of bottom-up and top-down in energy policy modeling', *Energy Economics*, 20(3), 233–48.

Böhringer, C. and T. Rutherford (2008), 'Combining bottom-up and top-down', *Energy Economics*, 30(2), 574–96.

Bosetti, V., C. Carraro, M. Galeotti, E. Massetti and M. Tavoni (2006), 'WITCH: a world induced technical change hybrid model', *The Energy Journal*, 27 (Special Issue on Hybrid Modeling of Energy–Environment Policies: Reconciling Bottom-up and Top-down), 13–38.

Box, G. (1979), 'Robustness in the strategy of scientific model building', in R.L. Launer and G.N. Wilkinson (eds), *Robustness in Statistics*, New York: Academic Press, pp. 201–36.

Center for Energy, Environment, and Economic Systems Analysis (CEEESA) (2002), *Energy and Power Evaluation Program* (ENPEP): *Model Overview*, Argonne, IL: Argonne National Laboratory.

Chae, K.N., D.G. Lee, C.Y. Lim and B.W. Lee (1995), 'The role of nuclear energy system for Korean long- term energy supply strategy', *Progress in Nuclear Energy*, 29(Supplement 1), 71–8.

Christov, C., K. Simeonova, S. Todorova and V. Krastev (1997), 'Assessment of mitigation options for the energy system in Bulgaria', *Applied Energy*, 56(3–4), 299–308.

Condevaux-Lanloy, C. and E. Fragniere (2000), 'An approach to deal with uncertainty in energy and environ- mental planning: the MARKAL case', *Environmental Modeling and Assessment*, 5(3), 145–55.

Connor-Lajambe, H. (1988), 'Renewable energy and long-term energy planning', *The Energy Journal*, 9(3), 143–51.

Criqui, P. (2001), 'POLES: prospective outlook on long-term energy systems', Institut d'Économie et de Politique de l'Énergie, Grenoble, France, available at: http://www.upmf-grenoble.fr/iepe/textes/ POLES8p_01.pdf (accessed August 2006).

Dayo, F.B. and A.O. Adegbulugbe (1988), 'Utilization of Nigerian natural gas resources: potentials and opportunities', *Energy Policy*, 16(2), 122–30.

Deam, R.J., M.A. Laughton, J.G. Hale, J.R. Isaac, J. Leather, F.M. O'Carroll and P.C. Ward (1973), 'World energy modelling: the development of western European oil prices', *Energy Policy*, 1(1), 21–34.

Difiglio, C. and D. Gielen (2007), 'Hydrogen and transportation: alternative scenarios', *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(3), 387–405.

Fishbone, L.G. and H. Abilock (1981), 'MARKAL, a linear-programming model for energy systems analysis: technical description of the BNL version', *Energy Research*, 5(4), 353–75.

Fragniere, E. and A. Haurie (1996a), 'MARKAL–Geneva: a model to assess energy–environment choices for a Swiss canton', in C. Carraro and A. Haurie (eds), *Operations Research and Environmental Management*, Dordrecht: Kluwer Academic, pp. 41–68.

Fragniere, E. and A. Haurie (1996b), 'A stochastic programming model for energy/environment choices under uncertainty', *International Journal of Environment and Pollution*, 6(4–6), 587–603.

Frei, C., P. Haldi and G. Sarlos (2003), 'Dynamic formulation of a top-down and bottom-up merging energy policy model', *Energy Policy*, 31(10), 1017–31.

Gabriel, S.A., A.S. Kydes and P. Whitman (2001), 'The National Energy Modeling System: a large-scale energy–economic equilibrium model', *Operations Research*, 49(1), 14–25.

Ghersi, F. and J.C. Hourcade (2006), 'Macroeconomic consistency issues in E3 modeling: the continued fable of the elephant and the rabbit', *The Energy Journal*, 27 (Special Issue on Hybrid Modeling: New Answers to Old Challenges), 39–62.

Gielen, D.J., M.A.P.C. de Feber, A.J.M. Bos and T. Gerlagh (2001), 'Biomass for energy or materials? A Western European systems engineering perspective', *Energy Policy*, 29(4), 291–302.

Gielen, D.J., T. Gerlagh and A.J.M. Bos (1998), *Matter 1.0: A Markal Energy and Materials System Model Characterisation*, Petten: Netherlands Energy Research Foundation (ECN).

Gielen, D. and M. Taylor (2007), 'Modeling industrial energy use: the IEA's energy technology perspectives', *Energy Economics*, 29(4) (Special Issue on the Modeling of Industrial Energy Consumption), 889–912.

Goldstein, G.A. (1995), MARKAL–MACRO: *A Methodology for Informed Energy, Economy and Environmental Decision Making*, Brookhaven, NY: Brookhaven National Laboratory.

Goldstein, G.A. and L.A. Greening (1999), 'Energy planning and the development of carbon mitigation strategies: using the MARKAL family of models', available at: http://www.ecn.nl/unit_bs/etsap/ (accessed June 6, 2001).

Greening, L.A. (2007), 'Industrial energy consumption forecasting: the things that matter', in L. Kavanagh and K. Kissock (eds), *Improving Industrial Competitiveness: Adapting to Volatile Energy Markets, Globalization, and Environmental Constraints*, Washington, DC: American Council for an Energy Efficient Economy.

Greening, L.A. and E. Schneider (2003a), 'Economic implications of the US spent nuclear fuel legacy', paper presented at the Western Economic Association 78th Annual Conference, Denver, CO, June 15.

Greening, L.A. and E. Schneider (2003b), 'The US spent nuclear fuel legacy and the sustainability of nuclear power', *IAEE Newsletter*, 12(4), 12–19.

Gritsevskyi, A. and N. Nakicenovic (2000), 'Modeling uncertainty of induced technological change', *Energy Policy*, 28(13), 907–21.

Grubb, M., I. Köhler and D. Anderson (2002), 'Induced technical change in energy and environmental modeling: analytical approaches and policy implications', *Annual Review of Energy and the Environment*, 27, 271–308.

Hadley, S.W. and W. Short (2001), 'Electricity sector analysis in the Clean Energy Futures Study', *Energy Policy*, 29(14), 1285–98.

Hafele, W. and A.S. Manne (1975), 'Strategies for a transition from fossil to nuclear fuels', *Energy Policy*, 3(1), 3–23.

Hamilton, L.D., G.A. Goldstein, J. Lee, A.S. Manne, W. Marcuse, S.C. Morris and C.O. Wene (1992), *MARKAL–MACRO: An Overview*, Brookhaven, NY: Brookhaven National Laboratory.

Hanson, D. and J.A.S. Laitner (2004), 'An integrated analysis of policies that increase investments in advanced energy-efficient/low-carbon technologies', *Energy Economics*, 26(4), 739–55.

Hoffman, K.C. and D.W. Jorgenson (1977), 'Economic and technological models for evaluation of energy policy', *Bell Journal of Economics*, 8(2), 444–66.

Hoffman, K.C. and D.O. Wood (1976), 'Energy system modeling and forecasting', *Annual Review of Energy and the Environment*, 1, 423–53.

Horne, M., M. Jaccard and K. Tiedemann (2005), 'Improving behavioral realism in hybrid energy–economy models using discrete choice studies of personal transportation decisions', *Energy Economics*, 27(1), 59–77.

Hourcade, J.-C., M. Jaccard, C. Bataille and F. Ghersi (2006), 'Hybrid modeling: new answers to old challenges', Introduction to the special issue *The Energy Journal*, 27 (Special Issue on Hybrid Modeling of Energy–Environment Policies: Reconciling Bottom-up and Top-down), 1–12.

Huntington, H. (1994), 'Been top-down so long looks like bottom-up to me', *Energy Policy*, 22(10), 833–39.

Jaber, J., M. Mohsen, S. Probert and M. Alees (2001), 'Future electricity-demands and greenhouse-gas emissions in Jordan', *Applied Energy*, 69(1), 1–18.

Jaccard, M. (2005), 'Hybrid energy–economy models and endogenous technological change', in R. Loulou, J.-P.Waaub and G. Zaccour (eds), *Energy and Environment*, New York: Springer, pp. 81–110.

Jaccard, M., A. Bailie and J. Nyboer (1996), 'CO2 emission reduction costs in the residential sector: behavioral parameters in a bottom-up simulation model', *The Energy Journal*, 17(4), 107–34.

Jaccard, M., J. Nyboer, C. Bataille and B. Sadownik (2003), 'Modeling the cost of climate policy: distinguish- ing between alternative cost definitions and long run cost dynamics', *The Energy Journal*, 24(1), 49–73.

Jacobsen, H. (1998), 'Integrating the bottom-up and top-down approach to energy–economy modeling: the case of Denmark', *Energy Economics*, 20(4), 443–61.

Johnsson, B.R. and C.O. Wene (1993), 'CHP production in integrated energy systems: examples from five Swedish communities', *Energy Policy*, 21(2), 176–90.

Josefsson, A., J. Johnsson and C.O. Wene (1996), 'Community-based regional energy–environment planning', in C. Carraro and A. Haurie (eds), *Operations Research and Environmental Management*, Dordrecht: Kluwer Academic, pp. 3–24.

Kanudia, A. and R. Loulou (1999), 'Advanced bottom-up modeling for national and regional energy planning in response to climate change', *International Journal of Environment and Pollution*, 12(2/3), 191–216.

Keppo, I. and S. Rao (2006), 'International climate regimes: effects of delayed participation', *Technological Forecasting and Social Change*, 74(7), 962–79.

Klaassen, G. and K. Riahi (2007), 'Internalizing externalities of electricity generation: an analysis with MESSAGE–MACRO', *Energy Policy*, 35(2), 815–27.

Köhler, J., T. Barker, D. Anderson and H. Pan (2006), 'Combining energy technology dynamics and macro- econometrics: the E3MG model', *The Energy Journal*, 27 (Special Issue on Hybrid Modeling of Energy–Environment Policies: Reconciling Bottom-up and Top-down), 113–34.

Koomey, J.G., R.C. Richey, J.A. Laitner, R.J. Markel and C. Marnay (2001), 'Technology and greenhouse gas emissions: an integrated scenario analysis using the LBNL–NEMS model', *Advances in the Economics of Environmental Resources*, 3, 175–219.

Koopmans, C.C. and D.W. te Velde (2001), 'Bridging the energy efficiency gap: using bottom-up information in a top-down energy demand model', *Energy Economics*, 23(1), 57–75.

Kydes, A.S. (2007), 'Impacts of a renewable portfolio generation standard on US energy markets', *Energy Policy*, 35(2), 809–14.

Kypreos, S. (1996), ‘Allocation of carbon tax revenues to national and international mitigation options’, in C. Carraro and A. Haurie (eds), *Operations Research and Environmental Management*, Dordrecht: Kluwer Academic, pp. 133–52.

Kypreos, S. (2005), ‘Modeling experience curves in MERGE (Model for Evaluating Regional and Global Effects)’, *Energy*, 30(14), 2721–35.

Labriet, M. and R. Loulou (2003), ‘Coupling climate damages and GHG abatement costs in a linear programming framework’, *Environmental Modeling and Assessment*, 8(3), 261–74.

Labriet, M., R. Loulou and A. Kanudia (2004), ‘Global energy and CO2 emission scenarios – analysis with a 15-region world MARKAL model’, in A. Haurie and L. Viguier (eds), *The Coupling of Climate and Economic Dynamics*, Boston/Dordrecht/London: Kluwer Academic, pp. 205–35.

Laitner, J.A.S. and D. Hanson (2006), ‘Modeling detailed energy-efficiency technologies and technology policies within a CGE framework’, *The Energy Journal*, 27 (Special Issue on Hybrid Modeling of Energy– Environment Policies: Reconciling Bottom-up and Top-down), 151–69.

Lee, C.M. and K.J. Lee (2007), ‘A study on operation time periods of spent fuel interim storage facilities in South Korea’, *Progress in Nuclear Energy*, 49(4), 303–12.

Lejtman, T.M. and J.P. Weyant (1981), ‘Managing an oil bonanza, an analysis of alternative Mexican export policies’, *Energy Policy*, 9(3), 186–96.

Löschel, A. (2002), ‘Technological change in economic models of environmental policy: a survey’, *Ecological Economics*, 43(2/3), 105–26.

Loulou, R. and A. Kanudia (1999), ‘Minimax regret strategies for greenhouse gas abatement: methodology and application’, *Operations Research Letters*, 25(5), 219–30.

Loulou, R., A. Kanudia and D. Lavigne (1996), ‘GHG abatement in central Canada with interprovincial cooperation’, *Energy Studies Review*, 8(2), 120–29.

Loulou, R. and M. Labriet (2007), ‘ETSAP-TIAM: TIMES integrated assessment model part 1: model structure’, *Computational Management Science*, 24(1), 7–40.

Loulou, R. and D. Lavigne (1996), ‘MARKAL model with elastic demands: application to greenhouse gas emission control’, in C. Carraro and A. Haurie (eds), *Operations Research and Environmental Management*, Dordrecht: Kluwer Academic, pp. 201–20.

Loulou, R., U. Remne, A. Kanudia, A. Lehtila and G. Goldstein (2005), 'Documentation for the TIMES model', Energy Technology Systems Analysis Programme, available at: http://www.etsap.org/tools.htm (accessed 25 June 2007).

Manne, A. (1976), 'ETA: a model for energy technology assessment', *Bell Journal of Economics*, 7(2), 379–406.

Manne, A. (1979), 'ETA–MACRO: a model for energy–economy interactions', in R. Pindyck (ed.), *Advances in the Economics of Energy and Resources*, vol. 2, Greenwich, CT: JAI Press, pp. 205–34.

Manne, A. and L. Barreto (2004), 'Learning-by-doing and carbon dioxide abatement', *Energy Economics*, 26(4), 621–33.

Manne, A.S., R. Mendelsohn and R. Richels (1995), 'MERGE: a model for evaluating regional and global effects of GHG reduction policies', *Energy Policy*, 23(1), 17–34.

Manne, A. and R. Richels (1978), 'A decision analysis of the US breeder reactor program', *Energy*, 3(6), 747–67.

Manne, A. and R. Richels (1990a), 'CO2 emission limits: an economic cost analysis for the USA', *The Energy Journal*, 11(2), 51–74.

Manne, A.S. and R.G. Richels (1990b), 'The costs of reducing US CO2 emissions – further sensitivity analyses,' *The Energy Journal*, 11(4), 69–78.

Manne, A. and R.G. Richels (1992), *Buying Greenhouse Gas Insurance: The Economic Costs of CO2 Emission Limits*, Cambridge, MA: MIT Press.

Manne, A. and R. Richels (1995), 'The greenhouse debate: economic efficiency, burden sharing and hedging strategies', *The Energy Journal*, 16(4), 1–37.

Manne, A. and R. Richels (1999), 'The Kyoto Protocol: a cost-effective strategy for meeting environmental objectives?', *The Energy Journal*, 20 (Special Issue on The Costs of the Kyoto Protocol: A Multi-model Evaluation), 1–23.

Manne, A. and R. Richels (2004), 'The impact of learning-by-doing on the timing and costs of CO2 abatement,' *Energy Economics*, 26(4), 603–19.

Manne, A., R.G. Richels, and J.P. Weyant (1979), 'Energy policy modeling: a survey', *Operations Research*, 27(1), 1–36.

Manne, A. and C.O. Wene (1992), 'MARKAL–MACRO: a linked model for energy–economy analysis', Brookhaven, NY: Brookhaven National Laboratory.

McFarland, J., J. Reilly and H. Herzog (2004), 'Representing energy technologies in top-down economic models using bottom-up information', *Energy Economics*, 26(4), 685–707.

McKibbin, W. and P. Wilcoxen (1999), 'The theoretical and empirical structure of the G-cubed model,' *Economic Modeling*, 16(1), 123–48.

McKitrick, R. (1998), 'The econometric critique of computable general equilibrium modeling: the role of functional forms', *Economic Modeling*, 15(4), 543–73.

Messner, S., A. Golodnikov and A. Gritsevskii (1996), 'A stochastic version of the dynamic linear programming model MESSAGE III', *Energy*, 21(9), 775–84.

Messner, S. and L. Schrattenholzer (2000), 'MESSAGE–MACRO: linking an energy supply model with a macroeconomic module and solving it iteratively', *Energy*, 25(3), 267–82.

Mirasgedis, S., G. Conzelmann, E. Georgopoulou, V. Koritarov and Y. Sarafidis (2004a), 'Long-term GHG emissions outlook for Greece: results of a detailed bottom-up energy system simulation', paper presented at the 6th IAEE European Conference on 'Modeling in Energy Economics and Policy', Zurich, Switzerland, September 2–3.

Mirasgedis, S., Y. Sarafidis, E. Georgopoulou, D.P. Lalas and C. Papastavros (2004b), 'Mitigation policies for energy related greenhouse gas emissions in Cyprus: the potential role of natural gas imports', *Energy Policy*, 32(8), 1001–11.

Molnár, S. (1997), 'Assessment of mitigation measures and programs in Hungary', *Applied Energy*, 56(3–4), 325–39.

Morris, S., G. Goldstein and V. Fthenakis (2002), 'NEMS and MARKAL–MACRO models for energy– environmental–economic analysis: a comparison of the electricity and carbon reduction projections', *Environmental Modeling and Assessment*, 17(3), 207–16.

Neubauer, F., E. Westman and A. Ford (1997), 'Applying planning models to study new competition: analysis for the Bonneville Power Administration', *Energy Policy*, 25(3), 273–80.

Rafaj, P. and S. Kypreos (2007), 'Internalisation of external cost in the power generation sector: analysis with global multi-regional MARKAL model', *Energy Policy*, 35(2), 828–43.

Rao, S., K. Ilkka and R. Keywan (2006), 'Importance of technological change and spillovers in long-term climate policy', *The Energy Journal*, 27 (Special

Issue on Endogenous Technological Change and the Economics of Atmospheric Stabilization), 123–39.

Riahi, K. and R.A. Roehlr (2000), 'Greenhouse gas emissions in a dynamics-as-usual scenario of economic and energy development', *Technological Forecasting and Social Change*, 63(2–3), 175–205.

Riahi, K., E.S. Rubin and L. Schrattenholzer (2004a), 'Prospects for carbon capture and sequestration technologies assuming their technological learning', *Energy*, 29(9–10), 1309–18.

Riahi, K., E. Rubin, M. Taylor, L. Schrattenholzer and D. Hounshell (2004b), 'Technological learning for carbon capture and sequestration technologies', *Energy Economics*, 26(4), 539–64.

Rivers, N. and M. Jaccard (2005), 'Combining top-down and bottom-up approaches to energy–economy modeling using discrete choice methods', *The Energy Journal*, 26(1), 83–106.

Sands, R. (2004), 'Dynamics of carbon abatement in the second-generation model', *Energy Economics*, 26(4), 721–38.

Sato, O., K. Tatematsu and T. Hasegawa (1998), 'Reducing future CO2 emissions – the role of nuclear energy,' *Progress in Nuclear Energy*, 32(3/4), 323–30.

Schaefer, A. and H. Jacoby (2005), 'Technology detail in a multisector CGE model: transport under climate policy', *Energy Economics*, 27(1), 1–24.

Schaefer, A. and H. Jacoby (2006), 'Experiments with a hybrid CGE–MARKAL model', *The Energy Journal*, 27 (Special Issue on Hybrid Modeling of Energy–Environment Policies: Reconciling Bottom-up and Top- down), 171–7.

Schumacher, K. and R.D. Sands (2007), 'Where are the industrial technologies in energy–economy models? An innovative CGE approach for steel production in Germany', *Energy Economics*, 29(4), (Special Issue on Industrial Energy Consumption), 799–825.

Seebregts, A., T. Kram, G.J. Schaeffer and A. Bos (2000), 'Endogenous learning and technology clustering: analysis with MARKAL model of the Western European energy system', *International Journal of Global Energy Issues*, 14(1), 289–320.

Sue Wing, I. (2008), 'The synthesis of bottom-up and top-down approaches to climate policy modeling: electric power technology detail in a social accounting framework', *Energy Economics*, 30(2), 547–753.

Wene, C.O. (1996), ‘Energy–economy analysis: linking the macroeconomic and systems engineering approaches’, *Energy*, 21(9), 809–24.

Zhang, Z. and H. Folmer (1998), ‘Economic modelling approaches to cost estimates for the control of carbon dioxide emissions’, *Energy Economics*, 20(1), 101–20.

۱۲ ساختار و کاربرد مدل UK MARKAL

راماچاندران کانان[1]، پول اکینز[2] و نیل اشتراکان[3]*

۱ مقدمه

در فصل قبل مدل پرکاربرد بهینه‌سازی برنامه‌نویسی خطی پویا و بالا به پایین MARKAL مرور و معرفی شد. MARKAL در دهه ۱۹۷۰ ساخته شد و پس از آن همواره از طریق تحلیل سیستم‌ها و فناوری انرژی[4] (ETSAP) تحت حمایت آژانس بین‌المللی انرژی[5] (IEA) بوده است و در مطالعات متعددی که در سطح وسیع درباره سیاست‌گذاری انرژی انجام شده مورد استفاده قرار گرفته است: از جمله پروژه چشم‌اندازهای فناوری انرژی IEA (IEA, 2006). فصل حاضر به شرح دقیق‌تر کاربرد این مدل پرداخته و گزارشی درباره توسعه و استفاده اولیه مدل MARKAL پادشاهی متحده بریتانیا[6] ارائه می‌کند. بخش ۲ ساختار کلی و فرآیند روش‌شناختی مدل MARKAL را شرح می‌دهد. در بخش ۳ فرآیندهای کالیبراسیون و اعتبارسنجی و فرضیه‌های داده‌های ورودی در توسعه UK MARKAL توضیح داده خواهد شد. اطلاعات بیشتر درباره توسعه مدل UK MARKAL در استراچان و همکاران[7] (۲۰۰۶، ۲۰۰۸الف) ارائه شده است. در بخش ٤ نتایج روشنی که از مدل به دست آمده ارائه خواهد شد تا قدرت تحلیلی، دامنه خروجی‌ها و نحوه کنار آمدن با عدم قطعیت‌ها نشان داده شود. در بخش ۵ نتیجه‌گیری ارائه خواهد شد.

۲ توصیف مدل MARKAL

مدل سیستم انرژی MARKAL یک چارچوب مدل‌سازی بهینه‌سازی هزینه داده–مدار، غنی از فناوری و پایین به بالا است. کمیت بهینه، کل هزینه سیستم انرژی است و متغیرهای تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاری و عملکرد همه عناصر به هم مرتبط هستند. این مدل مبتنی بر خدمات انرژی است و کل سیستم انرژی از واردات و تولید داخلی منابع سوخت گرفته تا پردازش سوخت و بازنمایی زیرساخت‌ها، تبدیل به حاملان انرژی ثانویه و فناوری‌های مصرف نهایی را شامل می‌شود.

---

[1] Ramachandran Kannan

[2] Paul Ekins

[3] Neil Strachan

[4] Energy Technology and Systems Analysis Program

[5] International Energy Agency

[6] United Kingdom

[7] Strachan & et al

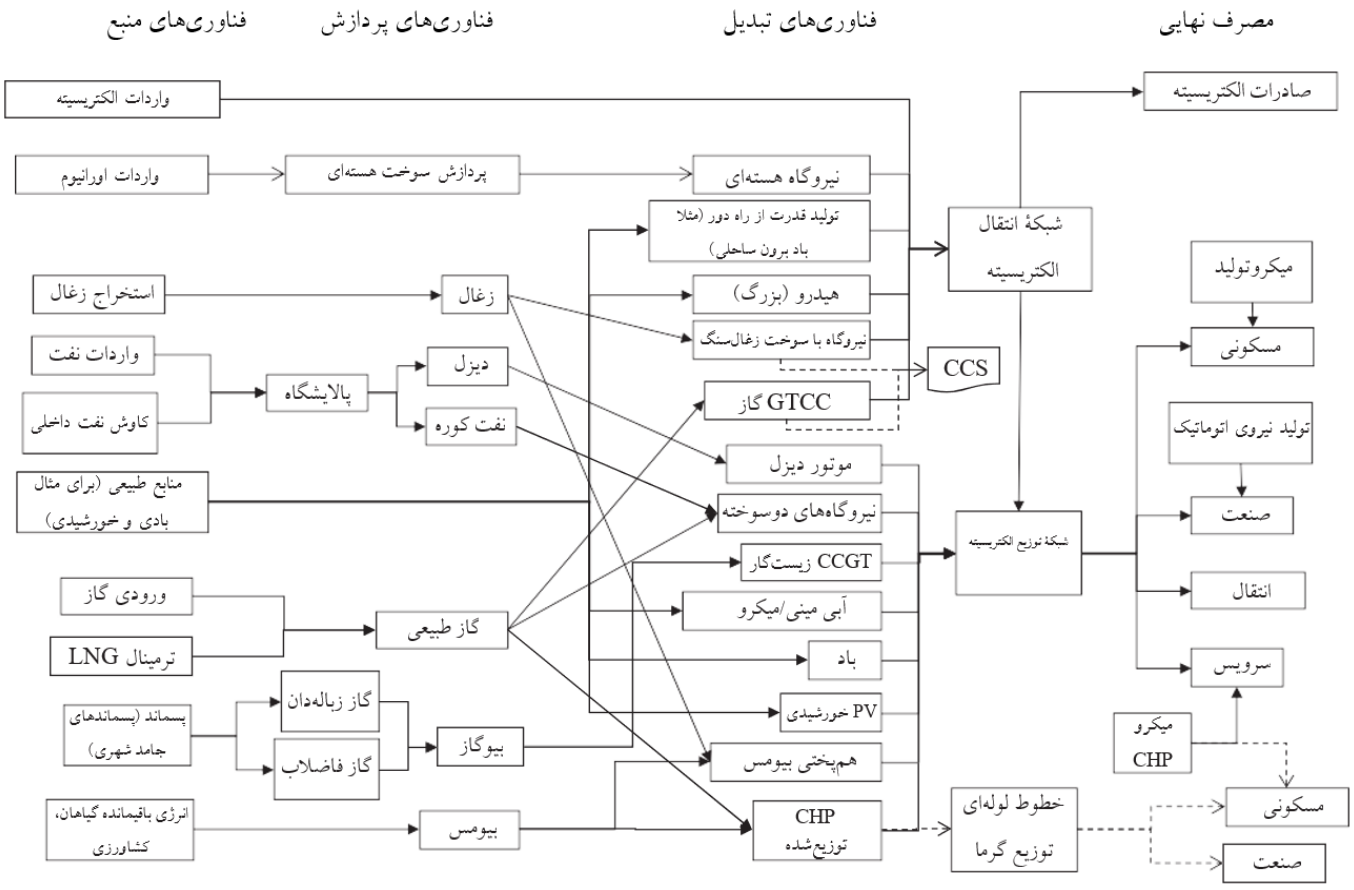
سیستم انرژی مرجع

سیستم انرژی مرجع MARKAL[1] (RES) یک توصیف شبکه‌ای از جریان انرژی است و تمام فناوری‌هایی را که در تولید، انتقال و استفاده از اشکال مختلف انرژی نقش دارند (یا می‌توانند نقش داشته باشند) به دقت توصیف می‌کند. برای تأمین خدمات انرژی مورد نیاز فعالیت‌های اقتصادی، (که با نام «انرژی مفید» نیز شناخته می‌شوند) از فناوری‌ها/دستگاه‌های تقاضایی استفاده می‌شود که حامل‌های انرژی را به تقاضاهای مفید انتقال می‌دهند. برای مثال تقاضای خدمات انرژی در بخش مسکونی شامل گرمایش فضا، آب گرم، روشنایی، پخت و پز و غیره می‌شود. حامل‌های انرژی قابل ذخیره مانند بنزین و دیزل از طریق فناوری‌های فرآیندی تولید می‌شوند در حالی که اشکال غیرقابل ذخیره انرژی مانند الکتریسیته و گرما به وسیله فناوری‌های تبدیلی تولید می‌گردند. فناوری‌های تبدیلی و فرآیندی از اشکال اولیه انرژی به دست آمده از فناوری‌های منبع انرژی استفاده می‌کنند. یک RES بسیار ساده شده – با تمرکز بر مؤلفه الکتریسیته از کل مدل – ساختار این مدل را روشن‌تر می‌کند. به شکل ۱۲,۱ نگاه کنید. فناوری‌های منبع به ابزارهایی اطلاق می‌شود که انرژی از طریق آن‌ها به سیستم انرژی وارد (یا از آن خارج) می‌شود نه از طریق کاربرد نهایی. استخراج/معدن‌کاوی، منابع تجدیدپذیر، واردات‌ها و غیره از این جمله هستند. فناوری‌های فرآیند به آن دسته از فناوری‌هایی اطلاق می‌شود که یک حامل انرژی را به دیگری تبدیل یا منتقل می‌کند؛ برای مثال پالایشگاه نفت، تأسیسات غنی‌سازی سوخت هسته‌ای، زیرساخت خطوط لوله و غیره. منظور از فناوری‌های تبدیلی آن دسته از فناوری‌هایی است که یک حامل انرژی را به الکتریسیته یا حرارت تبدیل می‌کنند؛ مثلا نیروگاه‌های برق و فرآیندهای تولید مرکّب برق و گرما (CHP). مقصود از فناوری‌های تقاضا، فناوری‌هایی هستند که حامل انرژی را مصرف می‌کنند تا تقاضاهای خدماتی انرژی مصرفی یعنی انرژی مفید را تأمین کنند.

ممکن است این مدل‌ها محدودیت‌هایی داشته باشند که برای تکرار جنبه‌های فیزیکی، مقرراتی و سیاست‌گذاری سیستم انرژی مدل‌سازی‌شده، طراحی شده‌اند. این مدل‌ها به نحوی طراحی شده‌اند که بهینه‌سازی در یک چارچوب مهندسی و اقتصادی واقعی از به کارگیری زیرساخت‌ها، سوخت‌ها و فناوری‌های نوین اتفاق می‌افتد. لازم به ذکر است که MARKAL مدلی هزینه–بنیاد است و راه حل برای توسعه بازار انرژی هزینه–بهینه را در طیف وسیعی از مفروضات ورودی اجرا می کند. در این مدل به عنوان مدلی آینده‌نگر، فرض بر آن است که همه مشارکت کنندگان بازار، دانش بینِ زمانی خوبی از توسعه اقتصادی و سیاست‌گذاری‌های آینده دارند. اطلاعات دقیق‌تر درباره سیستم مدل‌سازی MARKAL از جمله منطق

[1] MARKAL's Reference Energy System

اقتصادی این مدل توازن جزئی، توضیح درباره فرآیند خطی‌سازی تقاضا و تأمین انرژی و نیز ساختار دقیق ریاضیاتی بهینه‌سازی در لولو[1] و همکاران (۲۰۰٤الف) ارائه شده است.



یادداشت: CCGT = توربین گازی سیکل ترکیبی (همان GTCC - سیکل ترکیبی توربین گازی)

شکل ۱۲,۱ نمونه‌ای تجمیعی از سیستم انرژی مرجع MARKAL

[1] Loulou

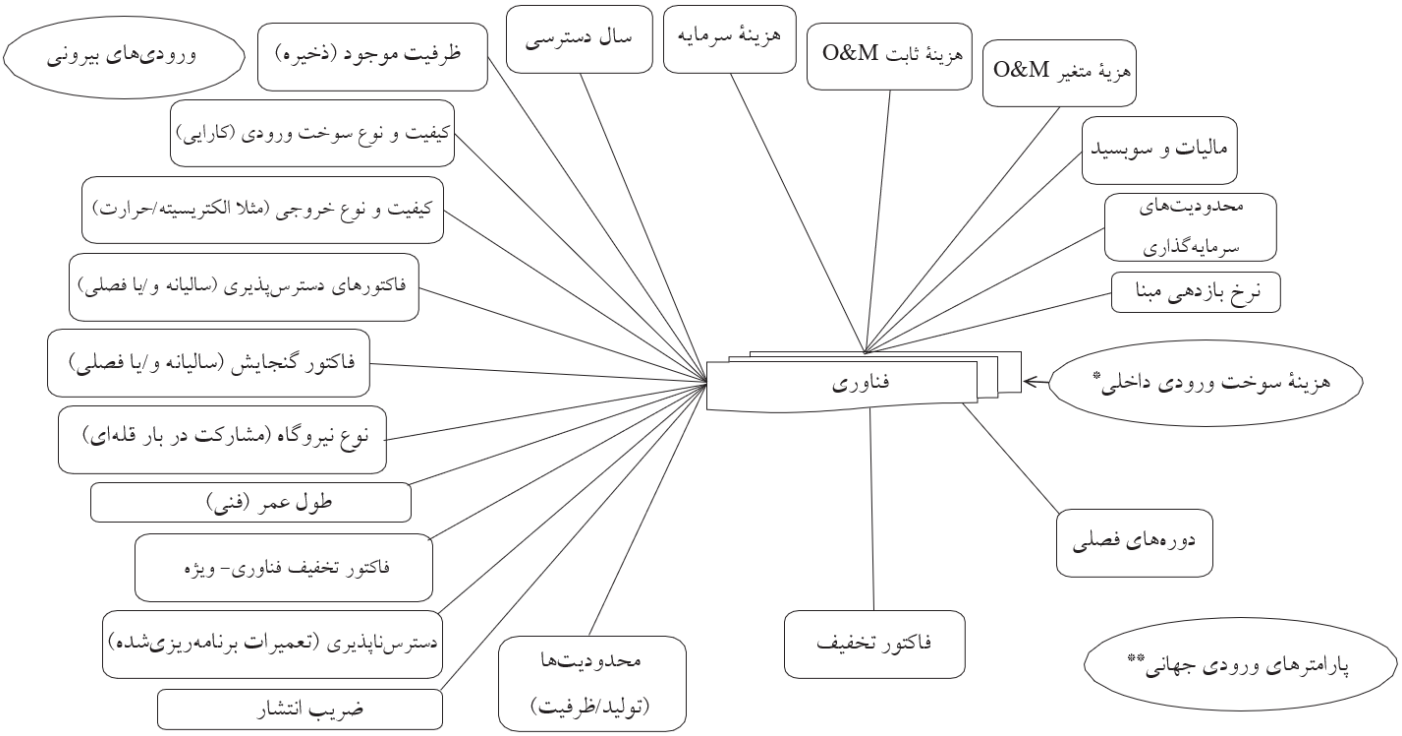
ورودی و خروجی مدل

لازم به ذکر است که در MARKAL منظور از «فناوری» طیف کامل متغیرهای موجود در مدل است از جمله تأمین منابع انرژی، خطوط لوله‌کشی، پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌های برق، فناوری‌های مصرف نهایی و اقدامات محافظتی. حاملان انرژی این فناوری‌ها را به هم متصل می‌کنند.

یکی از ورودی‌های اصلی این مدل، تقاضای خدمات انرژی و فناوری‌های مصرف نهایی و تأمین مربوطه است. این مدل می‌تواند هزاران فناوری داشته باشد که هرکدام پارامترهای گام-زمانی و مستقل از زمان خود را دارند. به این ترتیب ورودی اصلی دیگر این مدل، بازنمود واقعی فناوری‌ها است. معمولا تقاضای خدمات انرژی به پتاژول (PJ) یا میلیارد وسیله-نقلیه[1] (bvkm) بیان می‌شود. پارامترهای ورودی برای هر فناوری شامل کارایی فنی، طول عمر، سرمایه و هزینه‌های عملیاتی و غیره است. مؤلفه انتشار در این مدل، اثرات محیطی سیستم انرژی را در بر می‌گیرد. از حامل‌های انتشار برای ردگیری انتشار در منبع انرژی و سطح فناوری استفاده می‌شود. شکل ۱۲,۲ پارامترهای ورودی معمول لازم برای بازنمود هر فناوری را نشان می‌دهد.

مدل MARKAL برای برآورده کردن هر نیاز خدماتی به خصوص مجموعه دقیقی از خروجی‌های هزینه-بهینه را حاضر می‌کند تا ویژگی‌های تکاملی سیستم انرژی مشخص شود. خروجی‌های اصلی شامل هزینه‌های سیستم انرژی، واردات، صادرات و تولید محلی منابع، استفاده از خطوط لوله‌کشی و پالایشگاه‌ها، ترکیب فناوری و سوخت، سرمایه‌گذاری در ظرفیت و تولید الکتریسیته، هزینه‌های حاشیه‌ای سوخت‌ها از جمله جزئیات فصلی و روزانه الکتریسیته و حرارت، سطح انتشار در محیط زیست و قیمت‌های سایه‌ای انتشار می‌باشد (رجوع شود به بخش ٤). علاوه بر این، وقتی که مدل در حالت MACRO اجرا شود (پایین را ببینید) سطح تقاضای حاصله، یکی از متغیرهای اصلی مدل است. همچنین نسخه MACRO جزئیاتی درباره GDP، سرمایه‌گذاری و مصرف در سطح اقتصادی هم به دست می‌دهد.

[1] billion vehicle-kilometers



یادداشت‌ها:

*زیرساخت لازم برای انتقال سوخت را در نظر می‌گیرد.

**درمورد تمام حاملان انرژی و فناوری‌ها صادق است. O&M = بهره‌برداری و نگهداری

شکل ۱۲,۲ پارامترهای ورودی معمول برای فناوری تولید الکتریسیته

در نظر گرفتن عدم قطعیت

یکی از نقاط قوت اصلی رویکرد بهینه‌سازی MARKAL، داشتن رویکرد سیستماتیک به عدم قطعیت است. این رویکرد از طریق تحلیل «اگر-آنگاه» حاصل می‌شود. هدف از چنین تحلیلی کمیت‌سنجی حساسیت‌ها و نقاط بحرانی حرکت بین مقوله‌های فناوری و گذرگاه‌های انرژی است. این اتفاق از طریق چندین سناریوی حساسیت ممکن می‌شود. نتایج دیگری که در بخش دیگر این فصل به آن‌ها اشاره شده نمونه‌ای از نحوه تعبیر و نگاه به پیچیدگی نگرش‌هایی است که از یک مدل انرژی به دست می‌آیند. به دست آمدن سناریوهای جایگزین نتیجه آن است که داده‌های ورودی (یعنی بخش اصلی فرایض این مدل) هم از نظر پارامتریکی و هم از نظر دامنه‌های فناورانه، براساس هزینه ثابت، هزینه متغیر و کارآمدی متغیر ارزیابی شده است. این دامنه‌ها معمولا از طریق ارزیابی منابع داده انرژی جا افتاده تعیین می‌شوند که با مقایسه و مطالعه دقیق پیشینه تحقیقات

میسر می‌شود (برای مثال اسمیت[1]، ۲۰۰۷ را مشاهده کنید). همچنین، تعیین اعتبار داده‌ها از طریق مشورت با ذی‌نفعان و بازبینی تخصصی مضاعف زنجیره‌های انرژی بخصوص هم ممکن است.

نقاط ضعف و قوت مدل

مدل MARKAL هم مثل دیگر مدل‌های انرژی دارای ضعف‌ها و قوت‌هایی است و برای ضعف‌هایش راه حل‌هایی وجود دارد. MARKAL مدل پرکاربرد، تأییدشده و همواره در حال تکامل برای ارزیابی طیف وسیعی از مسائل مربوط به سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی محیط زیست و انرژی است. این مدل چارچوب مدل‌سازی منسجم، آزاد و شفافی دارد که در آن فرض داده‌ها آزاد است و هر نتیجه تا علل فناورانه‌اش قابل ردگیری است. چارچوب تحلیلی جاافتاده این مدل (محاسبه توازن حداقل هزینه در بازارهای کارآمد یا تحت نظارت) برای ارزیابی نقش فناوری در دست یافتن به اهداف سیاست‌گذارانه و محیط زیستی کاملا مناسب است. این مدل کل سیستم انرژی را در بر می‌گیرد و به این ترتیب امکان ارزیابی جامع وابستگی بخش‌ها به همدیگر در رقابت بر سر منابع محدود (انرژی و مالی) و نیز به دست آمدن سود مشترک از فعالیت‌ها فراهم می‌شود.

نقاط ضعف MARKAL در فشرده بودن داده‌های آن است که توصیف مشخصات فناوری‌ها و سیستم انرژی مرجع را در بر می‌گیرد. در این مدل هم مثل بقیه مدل‌ها نتایج به کیفیت داده‌های ورودی فناوری و دیگر ارزش‌های پارامتری وابسته است و می‌تواند به کوچک‌ترین تغییرات در فرایض داده‌ها حساس باشد. با این وجود، منحنی‌های تأمین پلکانی و الگوریتم‌های سهم بازار می‌توانند تا حدی این شرایط را جبران کنند اما می‌توان از تحلیل حساسیت گسترده برای بررسی آستانه‌ها و نقاط عطف بین گذرگاه‌های مختلف فناوری انرژی استفاده کرد. MARKAL توانایی کمی برای مدل‌سازی رفتار–مثلاً هزینه‌های پنهان تغییر فناوری– دارد. اما محدودیت‌های رشد، هزینه‌های استهلاک، نرخ «بازدهی مبنا» (بیشتر یا کمتر از نرخ تنزیل معمولی) و (در برخی نسخه‌ها) انعطاف‌پذیری تقاضا تا حدی این امر را جبران می‌کنند. در نهایت تصویری که MARKAL از تأثیر اقتصادی سیاست‌گذاری انرژی به دست می‌دهد به ماژول نئوکلاسیک ساده MACRO یا استفاده از نسخه تقاضای انعطاف‌پذیر این مدل محدود است.

MARKAL–MACRO

MARKAL–MACRO (M–M) بین مدل دقیق سیستم‌های انرژی (MARKAL) و یک مدل رشد ساده نئوکلاسیک پیوند سخت برقرار می‌کند. به این ترتیب M–M ویژگی‌های فناورانه غنی MARKAL هر سیستم انرژی را با یک مدل توازن کلی بین زمانی پویا ترکیب می‌کند. به کمک این ویژگی، M–M امکان

[1] Smith

پاسخ زیربخشی طرف-تقاضا را برای تکمیل بهینه‌سازی گذرگاه فناوری طرف-تأمین فراهم می‌کند. همچنین امکان تحلیل اثرات سیاست‌گذاری‌های مختلف انرژی و محیط زیستی در رشد اقتصادی را فراهم می‌آورد. M–M عملکرد تأسیسات تنزیل‌شده در معرض محدودیت‌های بودجه ملی را به بالاترین حد خود می‌رساند. در M–M نیز همچون MARKAL علاوه بر تأمین‌کننده‌ها و مصرف‌کننده‌های انرژی (بازار انرژی) سه عامل اقتصادی دیگر دخیل هستند. این سه عامل اقتصادی، تولیدکننده‌ها -که دیگر کالاها و خدمات را تأمین می‌کنند- مشتری‌ها و بازار سرمایه عام هستند. فرض بر آن است که همه این بازارها در یک بخش و با پیش‌نگری عالی عمل می‌کنند. تغییرات تقاضا به هرگونه انعطاف قیمت پاسخ می‌دهد و با قیمت نسبت عکس دارند. با این وجود تقاضاهای بخش‌های فرعی بسته به تأثیر اقتصادی کاهش‌ها -که از طریق حواشی تقاضا بیان می‌شود- واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهند. معادلات ریاضی دقیق M–M در لولو و همکاران[1] (۲۰۰٤ب) ارائه شده است.

چهار ویژگی اصلی M–M به ترتیب زیر هستند:

- محاسبه صریح GDP و دیگر متغیرهای ماکرو -مصرف، سرمایه‌گذاری-
- پاسخ به تقاضا به دلیل تغییر در قیمت انرژی. در این فرمولاسیون اگرچه همه تقاضاهای بخش‌های فرعی به یک اندازه انعطاف قیمت دارند اما بسته به تأثیر تقاضاهای مختلف برای خدمات انرژی در هزینه کل، پاسخ‌ها متفاوت خواهد بود. در شرایط مساوی این انعطاف‌پذیری و پاسخ اضافی، سیستم هزینه‌های سیاست‌گذاری کمتری به دست می‌دهد.
- تغییرات خود به خودی تقاضا -برای مثال درباره افزایش مسافرت هوایی- این امکان را فراهم می‌کند که مدل M–M تحلیل سناریو را زمانی انجام دهد که تقاضاها از رشد اقتصادی جدا شده‌اند.
- همچون گذشته تعامل‌های سیستم انرژی و تغییر فناورانه در داخل MARKAL

سرمایه، کار و تقاضای خدمات انرژی عوامل ورودی تولید هستند. از خروجی اقتصاد برای سرمایه‌گذاری، مصرف و پرداخت بین صنایع هزینه انرژی استفاده می‌شود. از سرمایه‌گذاری برای ساختن سهام سرمایه -در حال استهلاک- استفاده می‌شود اما کار بیرونی است. M–M برای بریتانیا اجرا شده است (برای توضیح دقیق‌تر و نتایج حاصله از مدل MARKAL–MACRO رجوع شود به استراچان و همکاران[2]، ۲۰۰۸الف).

۳ توسعه مدل نوین UK MARKAL

[1] Loulou & et al

[2] Strachan & et al

مدل UK جدید که در این فصل توصیف شد، نسخه گسترده و پیشرفته‌تری از مدل سال ۲۰۰۳ است که برای آماده‌سازی وایت‌پیپر انرژی UK 2003 به کار رفت (DTI, 2003). برای ساخت مدل جدید، ویژگی‌های خاص سیستم انرژی UK بر این مدل منطبق شد؛ از جمله مجموعه فناوری‌های بسیار دقیق و تأیید شده منبع، فرآیند، تبدیل و کاربرد نهایی، تقاضاهای خدمات انرژی تفکیک‌شده و محدودیت‌های مبتنی بر جنبه‌های سیاست‌گذارانه، فیزیکی و تنظیمی. بهبودهای اساسی این نسخه از مدل MARKAL به ترتیب زیر هستند:

- به روزرسانی کامل پارامترهای فناوری
- در نظر گرفتن منحنی‌های تأمین منابع وارداتی و محلی
- مشخص کردن فرآیندهای انرژی من جمله بخش پالایش، گذرگاه‌های هیدروژی (تولید، توزیع و ذخیره) و چرخه سوخت هسته‌ای کامل
- تخصیص فناورانه دقیق بخش‌های کاربردی نهایی خصوصاً بخش‌های صنعت، حمل و نقل، مسکونی و خدماتی
- ترسیم روشن همه زیرساخت‌های سوخت و فراهم کردن امکان ردیابی بخشی سوخت و انتشار
- ترسیم روشن پیکربندی‌های شبکه الکتریسیته از جمله شبکه‌های میکرو و از راه دور
- در نظر گرفتن ماژول MACRO برای فراهم کردن امکان پاسخ به تقاضاها و محاسبه اثرات مصرف و GDP

برای ساخت مدل UK ویژگی‌های اصلی سیستم انرژی UK تعریف شدند. این ویژگی‌ها شامل تأمین منابع، فناوری‌های تبدیل انرژی، تقاضاهای خدمات انرژی و فناوری‌های مورد استفاده برای پاسخگویی به این تقاضاها هستند. این امر با تکیه بر یک پایگاه غنی داده فناوری انجام می‌شود که از مدلی آماده به دست آمده (FES, 2003) و با ورکشاپ‌های ذی‌نفعان و طیف وسیعی از منابع داده که توسط متخصصان بازبینی شده، تکمیل شده است. ورودی این مدل شامل سطوح پایه قیمت جهانی انرژی (DTI, 2006b) و جزئیات تقاضاهای خدمات انرژی در واحدهای انرژی مفید است.

مدل UK صدها محدودیت دارد که برای تکرار جنبه‌های فیزیکی، مقرراتی و سیاستگذارانه کل سیستم انرژی UK طراحی شده‌اند. چنانکه در آمار ملی شامل فصل‌های مرتبط و تجارت خارجی فقط-اینترنت (پیوست g) منتشر شده است. این مدل در سال پایه خود (۲۰۰۰) با ۱ درصد از ظرفیت فناوری نصب‌شده و خروجی الکتریسیته، مصرف انرژی و تدارکات منابع واقعی کالیبره شده است. این امر الزام می‌کند که کاربرد و ظرفیت باقیمانده فناوری، تعریف شود و مشخص می‌کند که این نیروگاه‌ها چه وقت از کار افتاده می‌شوند و به

این ترتیب با پیشرفت مدل در گام‌های ۵ ساله به سمت سال ۲۰۷۰ امکان سرمایه‌گذاری در فناوری‌های جدید را فراهم می‌کند. تا تاریخ از کار افتادگی، کل هزینه فناوری‌های جدید باید با هزینه‌های حاشیه‌ای نیروگاه‌هایی که کنار گذاشته شده‌اند، رقابت کند.

علاوه بر کالیبراسیون، توجهی جدی به همگرایی نزدیک-مدت (۲۰۰۵-۱۰) تقاضاهای بخشی انرژی و انتشار کربن با خروجی اکونومتریک مدل انرژی DTI معطوف شد. بنابراین، مدل UK MARKAL از سیستم انرژی UK با برآوردهای استاندارد دولت و نیز اجرای سیاست‌های اصلی موجود درخصوص محیط زیست و اقتصاد، همراستا هستند. همه سیاست‌گذاری‌هایی که بعد از سال ۲۰۰۷ تصویب شده‌اند، در نظر گرفته شده‌اند. در این برآوردها MARKAL در مدت ۵ سال به سمت تکامل بهینه گذرگاه‌های انرژی و گسترش و مصرف فناوری پیش خواهد رفت. در بخش ٤ نتایج روشنگری از سناریوهای کاهش طولانی‌مدت کربن تشریح شده و مورد بحث قرار گرفته‌اند.

مفروضات کلیدی

همانطور که قبلا اشاره شد MARKAL به تعدادی پارامتر سیستمی و ورودی کلیدی احتیاج دارد که دستورالعمل بیرونی درباره قیمت انرژی بالادستی از آن جمله است. در نسخه به روزرسانی‌شده MARKAL منابع تجدیدپذیر و فسیلی محلی و واردات فسیلی به جای مقادیر گسسته، در منحنی تأمین نشان داده شده است. جدول ۱۲,۱ دامنه قیمت واردات سوخت‌های فسیلی را در ۲۰۰۰ یورو نشان می‌دهد. جهت تبدیل این قیمت‌ها به یکدیگر، هم برای گام‌های تأمین با قیمت بالاتر و هم برای سوخت‌های تصفیه شده وارداتی از ضرایب به هم فزاینده کالیبره‌شده از قیمت‌های نسبی مبنا استفاده شده است. بر روی این قیمت‌های ورودی، تحلیل حساسیت سیستماتیک بیشتر هم می‌توان انجام داد.

برای خدمات انرژی یا تقاضای انرژی «مفید» در واحدهای فیزیکی می‌توان از نمایش بیرونی مشابهی استفاده کرد (برای مثال میلیارد کیلومتر وسیله نقلیه برای حالت حمل و نقل). تقاضاهای خدمات انرژی به کاربردهای نهایی خاصی تقسیم می‌شوند. برای مثال در بخش مسکونی این کاربردها شامل پخت و پز، روشنایی، گرمایش فضا، گرمایش آب و تهویه مطبوع می‌شود. تقاضاهای خدمات انرژی آتی به کمک بررسی پیشینه تحقیقاتی محاسبه شد مثلا از برآورد تعداد خانه‌ها و دیگر متغیرهای به دست آمده از مطالعات مؤسسه تحقیقات ساختمان[1] (BRE) (رجوع شود به www.bre.co.uk؛ شوروک و همکاران[2]، ۲۰۰۵؛ پوت و

[1] Building Research Establishment

[2] Shorrock & et al

مکنزی[1]، ۲۰۰۶)، پیش‌بینی انرژی نهایی از مدل انرژی DTI (2006b)، مدل حمل و نقل DTF (2005) و غیره.

سال	قیمت پایه			قیمت‌های بالا			قیمت‌های پایین		
	نفت $/bbl	گاز p/therm	زغال $/GJ	نفت $/bbl	گاز p/therm	زغال $/GJ	نفت $/bbl	گاز p/therm	زغال $/GJ
۲۰۰۵	۵۵/۰	۴۱/۰	۲/۴	۵۵/۰	۴۱/۰	۲/۴	۵۵/۰	۴۱/۰	۲/۴
۲۰۱۰	۴۰/۰	۳۳/۵	۱/۹	۶۷/۰	۴۹/۹	۲/۴	۲۰/۰	۱۸/۰	۱/۴
۲۰۱۵	۴۲/۵	۳۵/۰	۱/۹	۶۹/۵	۵۱/۴	۲/۶	۲۰/۰	۱۹/۵	۱/۲
۲۰۲۰	۴۵/۰	۳۶/۵	۱/۸	۷۲/۰	۵۳/۰	۲/۶	۲۰/۰	۲۱/۰	۱/۰
۲۰۲۵	۴۷/۵	۳۸/۱	۱/۹	۷۲/۰	۵۶/۰	۲/۶	۲۲/۵	۲۲/۵	۱/۱
۲۰۳۰	۵۰/۰	۳۹/۶	۲/۰	۷۷/۰	۵۹/۰	۲/۸	۲۵/۰	۲۴/۰	۱/۲
۲۰۳۵	۵۲/۵	۴۱/۱	۲/۱	۸۲/۰	۵۹/۰	۳/۰	۲۷/۵	۲۵/۵	۱/۳
۲۰۴۰	۵۵/۰	۴۲/۶	۲/۲	۸۲/۰	۵۹/۰	۳/۰	۳۰/۰	۲۷/۰	۱/۳
۲۰۴۵	۵۵/۰	۴۲/۶	۲/۲	۸۲/۰	۵۹/۰	۳/۰	۳۲/۵	۲۸/۵	۱/۴
۲۰۵۰	۵۵/۰	۴۲/۶	۲/۲	۸۲/۰	۵۹/۰	۳/۰	۳۵/۰	۳۰/۰	۱/۵

یادداشت: bbl = بشکه؛ GJ = گیگاژول

جدول ۱۲,۱ قیمت سوخت‌های فسیلی وارداتی بیرونی (۲۰۰۰ یورو)

شکل ۱۲,۳ نمونه‌هایی از تقاضای خدمات انرژی برای حالت‌های منتخب در بخش حمل و نقل را نشان می‌دهد. دقت داشته باشید که تنها حمل و نقل محلی (برای کشتی‌رانی و هوانوردی) همراستا با حسابداری انتشار ملی در اجراهای مدل در نظر گرفته شده است.

[1] Pout & et al

شکل ۱۲,۳ تقاضاهای خدمات انرژی حمل و نقل در حالت منتخب

برای مدل MARKAL باید طیفی از پارامترهای سیستمی نیز تعریف شوند. تغییر فصلی و روزانه تقاضاهای خدمات انرژی، حاشیه ذخیره الکتریسیته برای پاسخگویی به پیک‌های آنی روزانه –بعلاوه ظرفیت ذخیره– و طیفی از فاکتورهای انتشار برای CO_2 و SO_2 که براساس سوخت‌های ورودی ردگیری می‌شوند، از جمله این پارامترها هستند. انتشارهای بخشی (کشاورزی، الکتریسیته، صنعت، مسکونی، خدمات (تجاری)، حمل و نقل و فرآیندهای جریان بالادستی (استخراج گاز/نفت و پالایشگاه‌ها)) نیز ردگیری می‌شوند.

نهایتا یکی از پارامترهای سیستمی اصلی، نرخ تنزیل برای مبادله‌های بین زمانی است. پارامتر مدل جهانی ترجیح زمان اجتماعی است که ترجیح زمانی (هم ترجیح زمانی خالص و هم عنصر احتمال فاجعه که سود سرمایه‌گذاری را حذف می‌کند) بعلاوه مقدار مربوط به رشد درآمد آتی و کاهش سودمندی حاشیه‌ای سودهای آینده را نشان می‌دهد. دولت بریتانیا از نرخ تنزیل ۳/۵ درصد استفاده می‌کند (HMT, 2006). با این حال در UK MARKAL فناوری‌ها، نرخ بازدهی مبنا یا تنزیل بالاتری دارند که منحصر به فناوری است. این امر برای جبران ریسک بازار و ترجیحات مشتری تدبیر شده است. الکتریسیته و دیگر سرمایه‌گذاری‌های فناوری تبدیلی برای نشان دادن ناپایداری بازار فعلی از نرخ ۱۰ درصد استفاده می‌کنند، درحالی که گزینه‌های فناوری

مصرف نهایی جدید و پیشرفته باید بتوانند از پس نرخ بازدهی مبنای ۲۵ درصد برآیند تا موانع مستند ریسک یا فاکتورهای غیراقتصادی مثل دسترسی به اطلاعات منعکس شود (رجوع شود به ترین[1]، ۱۹۸۵). نرخ تنزیل سنجه دیگری است که می‌توان تحلیل حساسیت را درباره‌اش اعمال کرد.

یکی از مسائل روش‌شناختی اصلی، رسیدگی به حفاظت از انرژی است. علاوه بر نرخ بازدهی مبنای ۲۵ درصدی جذب، گزینه‌های ذخیره انرژی نیز باید در چارچوب هزینه–بهینه MARKAL بیشتر استانداردسازی شود. به این ترتیب اطمینان حاصل می شود که دست کم در مورد پایه کسب و کار معمول، نرخ تاریخی جذب ذخایر ادامه پیدا می‌کند. سپس در اجراهای کربن–محدود به مدل، آزادی طولانی‌مدت داده می‌شود تا اگر هزینه–بهینه بود مقیاس‌های شتابدهی‌شده حفظ انرژی انتخاب شوند. لازم است به سه نوع کارآیی انرژی در این مدل توجه کنیم:

- فناوری‌های کم مصرف: ابزارهایی که حاملان انرژی را تولید می‌کنند یا تقاضاهای خدمات انرژی در سطوح پایین سوخت ورودی را برطرف می‌کنند (برای مثال دیگ‌های بخار و خودروهای هیبریدی که به گذرگاه انرژی کلی MARKAL گره خورده‌اند.
- حفظ انرژی: دستگاه‌هایی که تقاضای خدمات انرژی را کاهش می‌دهند (مثلا عایق کردن اتاق زیرشیروانی) که در این مدل «حفاظت» نامیده شده‌اند.
- تغییر رفتاری: پاسخ به قیمت انرژی ایرادشده (برای مثال کاهش دمای ترموستات منزل) که فقط در استفاده از نسخه MACRO در نظر گرفته می‌شود.

پایگاه داده فناوری

یکی از ورودی‌های اصلی مدل، نمایش واقعی هزینه‌های آتی فناوری است که از طریق هزینه‌های عملیاتی و پوشش سرمایه، کارآمدی، دسترس‌پذیری، طول عمر عملکرد و ویژگی‌های فصلی و روزانه ممکن می‌شوند (شکل ۱۲,۱ را مشاهده کنید). استخراج فسیل، فرآیندهای انرژی، (مثل پالایشگاه‌ها)، زیرساخت‌ها، فناوری‌های هسته‌ای، وسایل نقلیه کاربری نهایی، ساختمان‌ها، صنایع و بیشتر فناوری‌های الکتریسیته و صنعت، از محصولات برای نمایش پیشرفت در طول زمان استفاده می‌کنند درحالی که براساس پیشینه تحقیقات منتشرشده (مک‌دونالد و شراتنهولزر[2]، ۲۰۰۲) و پیش‌بینی‌های جذب فناوری جهانی (کمیسیون اروپا، ۲۰۰۵) نرخ یادگیری فناوری‌های تجدیدپذیر هیدروژن و الکتریسیته که کمتر بالغ هستند به صورت بیرونی محاسبه می‌شود. اصولی که خط مشی این روند را مشخص می‌کنند به ترتیب زیر هستند:

[1] Train

[2] McDonald & Schrattenholzer

- فرض بر آن بود که فناوری‌ها، رشد جهانی داشته باشند و از پیشرفت‌های اتفاق افتاده در طراحی، مهندسی و تولید بهره ببرند.
- داده‌های عملکردی و هزینه‌ها، نمایش‌گر فناوری‌هایی در نظر گرفته شد که استفاده تجاری دارند و از مزایای تولید حجیم، نصب خوب و عملیات‌ها بهره برده‌اند.
- مالیات انرژی و دیگر مکانیزم‌های مالی در نقطه‌ای مناسب در زنجیره انرژی داخل می‌شوند.

مستندات دقیق از پارامترهای ورودی مدل و فرایض اصلی نیز در دسترس است (کانان و همکاران[1]، ۲۰۰۷). همانطور که قبل‌تر اشاره شد، داده‌های فناوری مورد استفاده در این مدل، از فرآیند اعتبارسنجی و تضمین کیفی گسترده‌ای عبور کرده‌اند (برای جزئیات بیشتر رجوع شود به استراچان و همکاران[2]، ۲۰۰۸الف).

کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل

مدل UK MARKAL برای عموم در دسترس است و به گونه‌ای طراحی شده است که فرض‌ها، منابع داده و کارکردش حتی‌المقدور شفاف باشد. پیشینه این مدل در وب‌سایت مرکز مطالعات انرژی بریتانیا[3] (UKERC) در دسترس است (www.ukerc.ac.uk). همچنین در خصوص کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل، فعالیت‌هایی از جمله برگزاری ورکشاپ برای تولید الکتریسیته و حمل و نقل جاده‌ای انجام شده است. همچنین تعدادی مرور دو جانبه بخشی (درخصوص مسیرهای هسته‌ای، هیدروژن، بیومس و ربایش و ذخیره کربن (CCS) انجام شده است. علاوه بر این‌ها یک داوری تخصصی توسط یکی از متخصصان مرکز انرژی هلند[4] (ECN) انجام شد که منجر به بهبود مدل گردید.

از نقطه نظر کالیبراسیون، MARKAL دقیقا با نمودارهای DUKES (۲۰۰۶) برای سال مبنا (۲۰۰۰) برای تقاضای انرژی نهایی (به ازای هر بخش)، تقاضای الکتریسیته و انتشار CO_2 منطبق است. مصرف انرژی سال ۲۰۰۰ MARKAL، ۶۱۵۸ پتاژول است (= 10^{15} ژول) که اگر حمل و نقل هوایی بین‌المللی (469 PJ) و مصرف سوخت فسیلی غیرانرژی (514 PJ) را در نظر بگیریم برابر است با کل انرژی مصرفی ۱۷۰/۵۶ میلیون تن نفت (mtoe) یا ۷۱۴۱ پتاژول. در دوره‌های زمانی آتی مدل MARKAL روند خود را برای این معیار و معیارهای دیگر خواهد داشت.

---

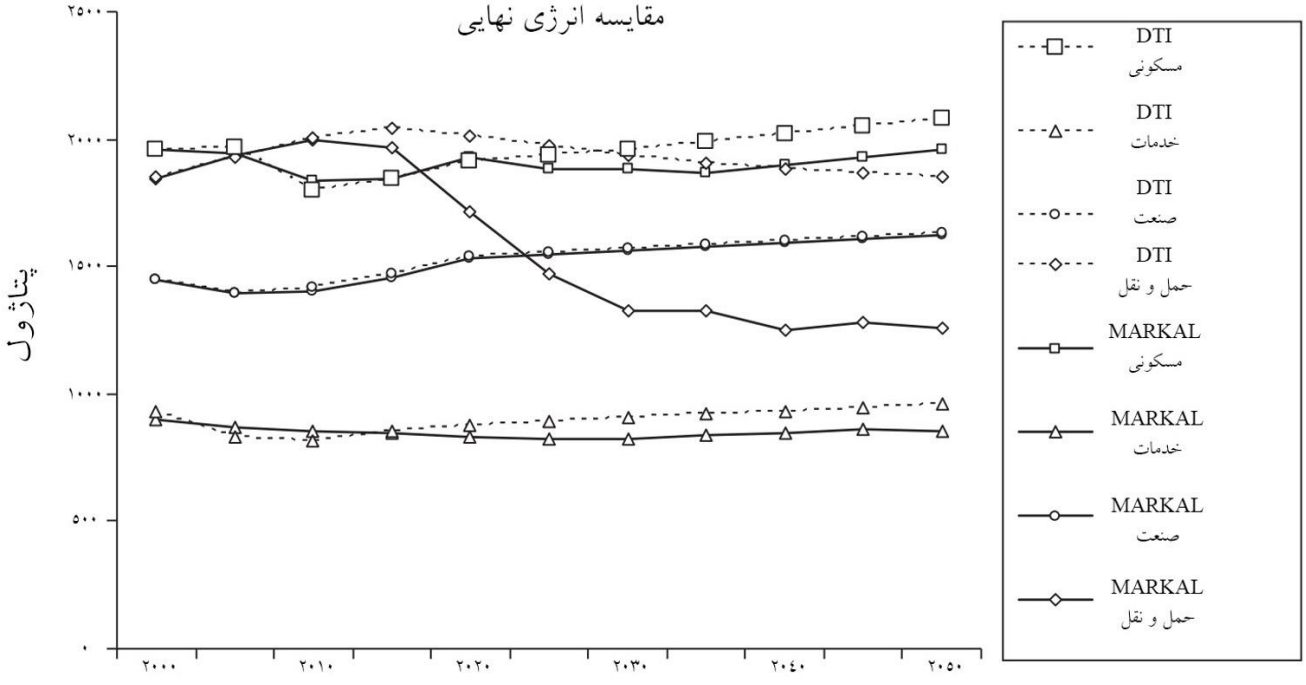
[1] Kannan & et al

[2] Strachan & et al

[3] UK Energy Research Centre

[4] Energy Centre of the Netherlands

علی‌رغم تفاوت‌های بارزی که بین این مدل‌ها وجود دارد، خروجی‌های مدل MARKAL به پیش‌بینی انرژی کوتاه–مدت مدل انرژی DTI بسیار نزدیک هستند. تقاضای انرژی نهایی MARKAL (خروجی مدلی که مبتنی بر تقاضاهای خدمات انرژی است) با برآورد مجموع تقاضاهای بخشی انرژی در واحدهای انرژی واقعی DTI (۲۰۰۶ب) مقایسه شده است. اعتبار تقاضاهای انرژی به کمک منابع دیگری مثل داده‌های ساختمانی BRE (شوروک و همکاران[1]، ۲۰۰۵؛ پوت و مکنزی[2]، ۲۰۰۶) و دپارتمان برآورد حمل و نقل[3] (DfT, 2005; FES, 2006) تایید شد. شکل ۱۲,٤ مقایسه انرژی نهایی بین مدل انرژی DTI و MARKAL را نشان می‌دهد. این مدل‌ها در ۲۰۰۵ با ۰/۳ درصد و در سال ۲۰۱۰ با ۰/۹ درصد برای کل تقاضای انرژی همگرایی داشتند. در سال‌های بعد (پس از ۲۰۱۰) به دلیل افزایش سرعت تغییر در فناوری‌ها (برای مثال به وجود آمدن ماشین‌های هیبریدی) سطح تقاضای انرژی MARKAL کمتر می‌شود. تقاضاهای انرژی MARKAL برنامه‌های تصویب‌شده تا ۲۰۲۰ (مثلا فاز ۱ و ۲ الزام افزایش بازدهی انرژی[4] (EEC)، تعهد انرژی‌های تجدیدپذیر) را در نظر می‌گیرند (DEFRA, 2005a).



شکل ۱۲,٤ همگرایی انرژی نهایی مدل MARKAL–DTI

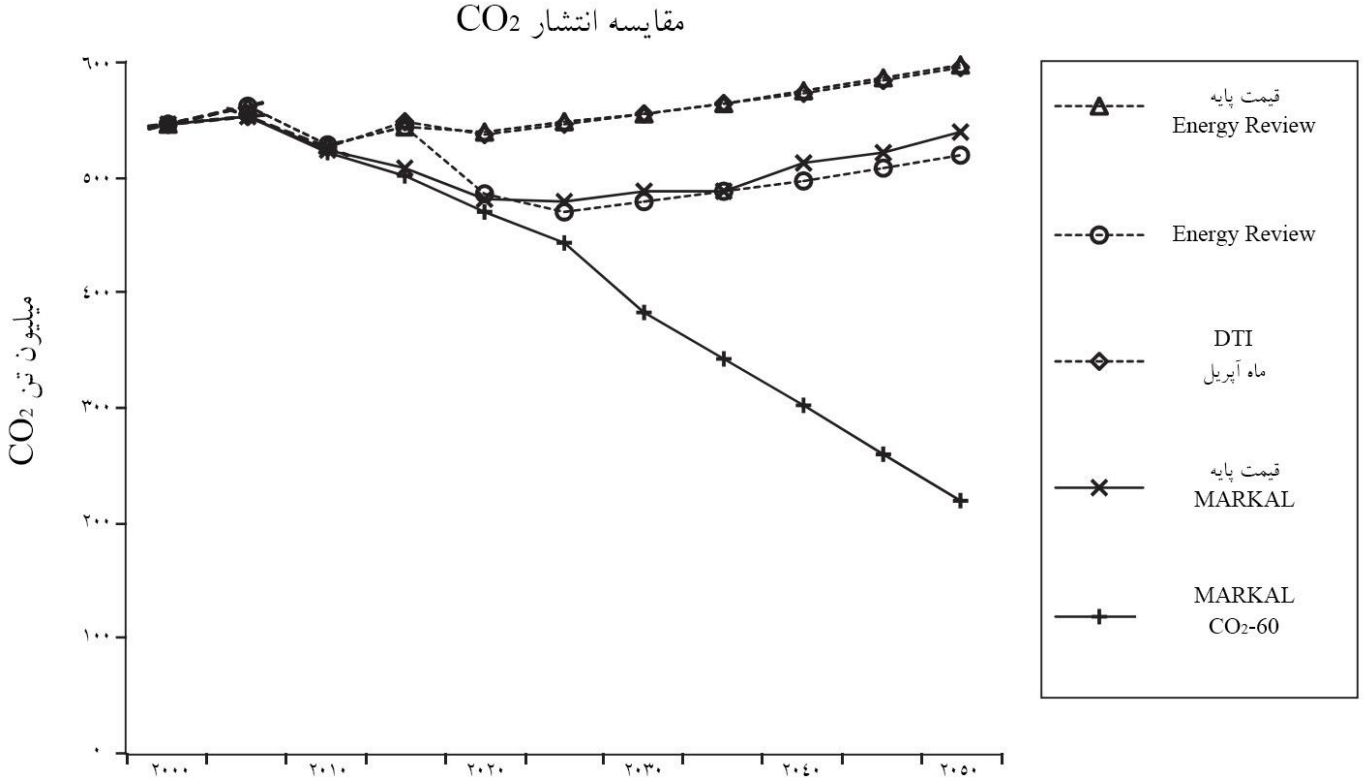
[1] Shorrock & et al

[2] Pout & Mackenzie

[3] Department for Transport projections

[4] energy efficiency commitment

در شکل ۱۲,۵ مقایسه بین مدل انرژی DTI و MARKAL را با تمرکز بر کل انتشار CO_2 مشاهده می‌کنید. MARKAL ۵٤٤/۸ میلیون تن CO_2 ($mtCO_2$) یا ۱٤۸/٦ میلیون تن کربن (mtC) تولید می‌کند که دقیقا بر ۲۰۰۰ منطبق است (DEFRA, 2005b). انتشارهای MARKAL در ۲۰۰۵ بیشتر از سطوح ۲۰۰۰ است اما ۱/۵ درصد از DTI (و انتشارهای واقعی ۲۰۰۵) کمتر است. توجه داشته باشید که MARKAL با برآوردهای قبلی (آپریل) DTI برای انتشارهای ۲۰۰۵ همراستا است (DTI, 2006b). این اختلاف می‌تواند نتیجه علل کوتاه‌مدتی مثل بالا بودن قیمت گاز طبیعی باشد که باعث شد برای مصارف صنعتی و تولید الکتریسیتهف به زغال سنگ روی آورده شود. انتشارهای DTI و MARKAL در سال ۲۰۱۰ در ۰/۵ درصد به هم می‌رسند.



شکل ۱۲,۵ همگرایی انتشار CO_2 مدل MARKAL–DTI

در سال‌های بعد MARKAL انتشار کربن کمتری دارد که به دلیل تغییرات سریع فناوری (کارآیی بیشتر و جایگزینی سوخت) می‌باشد. انتشار در سال‌های بعد با برآوردهایی که در آن‌ها از مقیاس‌های تعیین شده بازنگری انرژی استفاده شد، منطبق است (ER, DTI, 2006c). این بدان معنا نیست که MARKAL از همان معیارهایی استفاده می‌کند که در بازنگری مشخص شده است اما به نظر منطقی می‌رسد که مدل که راه

حل مقرون به صرفه را انتخاب کند –به شرط آنکه موانع غیربهای تمام‌شده مد نظر باشد و فناوری‌ها قابلیت کاهش‌دهنده خود را به جا آورده باشند– برآوردهای مبنایی به دست دهد که با موردی که سیاست‌های دولت می‌خواهد به این برسد منطبق باشد. توجه داشته باشید که انتشار بخشی CO_2 در دو مدل در بخش‌ها کشاورزی، بالادستی، هیدروژن و الکتریسیته به راحتی قابل مقایسه نیست.

٤ یافته‌های شاخص

در این بخش شاخص‌هایی که بر اساس نسخه استاندارد (توازن جزئی) مدل UK MARKAL جدید اجرا شدند، ارئه شده و مورد بحث قرار خواهند گرفت. همانطور که در مقدمه اشاره شد، نتایج دیگر (شامل تعاملات اقتصاد کلان و پاسخ تقاضاهای جمعی) در استراچان و همکاران[1] (۲۰۰۸الف) و استراچان و کانان[2] (۲۰۰۷، ۲۰۰۸) ارائه شده است. هنگام مشاهده هر کدام از نتایج باید دقت داشت که در این مدل‌سازی پیچیده، کدام فرض‌ها و فناوری‌ها مد نظر بوده است. در اجراهای متعدد و تحت مفروضات مشترک و با استفاده از داده‌های داوری از مجموعه دقیقی از نتایج اصلی مدل پیروی شد که نشان دهنده گام آغازین در مشخص کردن عدم اطمینان در نتایج مدل و بینش‌های سفت و سخت است. در این بخش مجموعه یکپارچه‌ای از نتایج UK MARKAL برای دو اجرای مختلف با جزئیات شرح داده می‌شود:

- مورد پایه: انتشارهای مبنای برآورد شده (از جمله ارزیابی‌های سیاست‌گذاری تصویب‌شده)
- مورد CO_2-٦٠: مثل بالا اما با اعمال محدودیت CO_2 در سرتاسر اقتصاد در ۳۰ درصد پایین‌تر از سطح ۲۰۰۰ در ۲۰۳۰ و کاهش خطی به ٦٠ درصد پایین‌تر از سطح ۲۰۰۰ در ۲۰۵۰. این امر با اهداف طولانی مدت CO_2 بیان‌شده در RCEP (۲۰۰۰) همراستا است و به عنوان هدف دولت در وایت‌پیپر انرژی نیز پذیرفته شده است (DTI, 2007).

عناصر اصلی اجرایی مدل‌ها در جدول ۱۲,۲ خلاصه شده است. بیشتر این‌ها در قسمت دیگری از این فصل مورد بحث قرار گرفته‌اند. نکته قابل توجه این است که در حالت پایه، سنجه‌های جذب ذخایر انرژی در برآوردهای نزدیک–مدت کدگذاری شده‌اند (DEFRA, 2005a) و به تعمیم‌دهی خطی این برآوردها برای نمایش سطوح تاریخی جذب ذخیره انرژی محدود می‌شوند. در مورد محدودیت CO_2-٦٠، مدل، آزادی طولانی‌مدت‌تری دارد که اگر مقرون به صرفه بود ذخیره انرژی در پتانسیل فنی خود را انتخاب کند.

[1] Strachan & et al

[2] Strachan & Kannan

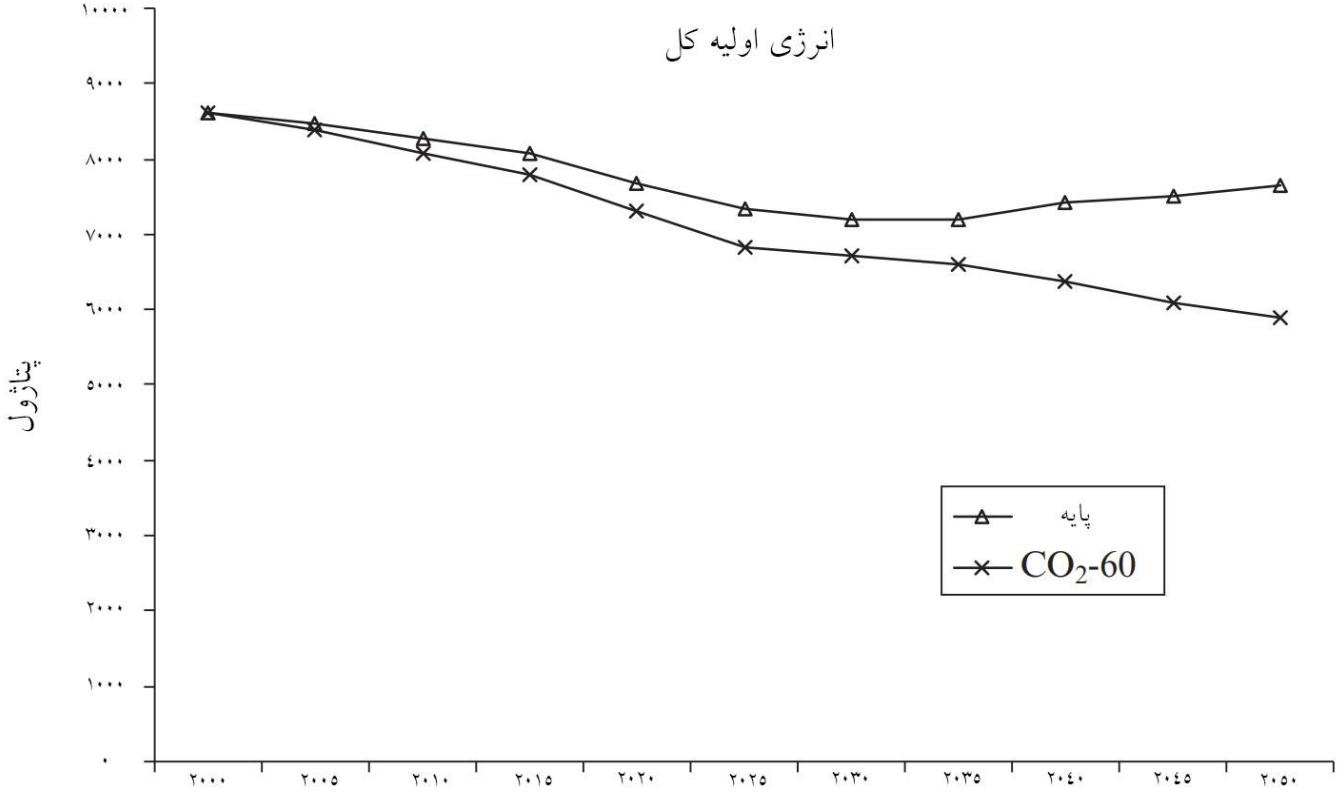
جدول ۱۲,۲ خلاصه پارامترهای ورودی شاخص مرکزی

پارامتر	مقدار/منبع
بازه زمانی	۲۰۷۰-۲۰۰۰ در گام‌های ۵ ساله (گزارش‌دهی تنها تا ۲۰۵۰)
پوشش بخشی	کل سیستم انرژی از تولید منبع انرژی تا مصرف نهایی از طریق پردازش سوخت، عرضه زیرساخت‌ها، تبدیل به حاملان انرژی ثانویه (از جمله الکتریسیته، حرارت و هیدروژن) بخش‌های مصرف نهایی شامل صنعت، خدمات، مسکونی، حمل و نقل و کشاورزی
پارامترهای ورودی	تقاضاهای خدمات انرژی: تخمین زده شده از دامنه‌ای از تحقیقات پیشین (برای مثال، پیش‌بینی خانوار) و پیش‌بینی‌های تقاضای انرژی دولت جزئیات فناوری و منابع انرژی (شکل ۱۲,۲ را ببینید) قیمت سوخت: سطح واردات پایه DTI (۲۰۰۶ب)؛ منحنی تأمین گام به گام محلی و واردات (شکل ۱۲,۱ را ببینید)
نرخ تنزیل	۱۰ درصد جهانی (نرخ سرمایه‌گذاری بازار) ۲۵ درصد برای فناوری‌های کاربردی پیشرفته و جدید شامل ذخیره‌ها برای نمایش الزامات افزایش دوره بازپرداخت
رسیدگی به کارآمدی انرژی و فناوری آتی	دوره‌ها برای فناوری‌های پردازشی، الکتریسیته، صنعتی، حمل و نقل، مسکونی و تجاری منحنی‌های آموزش بیرونی برای فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر کمتر توسعه یافته نرخ تاریخی جذب ذخایر در مورد پایه ادامه دارند و بعد موارد CO_2-محدود آزادی طولانی مدت (پس از ۲۰۲۰) دارند.
اقدامات مالیات و سیاست‌گذاری	شامل: مالیات تغییر اقلیم (CCL)، عوارض هیدروکربن، دستورالعمل نیروگاه احتقاق بزرگ، الزام انرژی‌های تجدیدپذیر (الکتریسیته و حمل و نقل جاده‌ای)، تعهدات کارآمدی انرژی (EEC). طرح مبادله انتشار اتحادیه اروپا (EUETS) هنوز در نظر گرفته نشده است.
انتشار	CO_2 و SO_2. در کل سیستم CO_2 بیشتر از طریق مصرف نهایی، بخش‌های الکتریسیته و بالادستی و فرآیند تولید هیدروژن ردگیری می‌شود.
کالیبراسیون	ناظر به سال پایه ۲۰۰۰ DUKES (۲۰۰۶): انرژی نهایی، انرژی اولیه، انتشارات CO_2، تولید الکتریسیته، منابع سوخت: تجمعی (در ۱ درصد) و جداسازی بخشی (در ۲ درصد) مدل انرژی کوتاه مدت DTI (۲۰۰۶ب): انرژی بخشی و انتشار CO_2، ۱ درصد در ۲۰۰۵ و ۲ درصد در ۲۰۱۰.
کلاهک انتشار CO_2-۶۰:	۳۰ درصد کاهش تا ۲۰۳۰؛ روند خطی حدود ۶۰ درصد کاهش تا ۲۰۵۰

شکل ۱۲,۵ تفاوت بین دو اجرا را از نظر انتشار CO_2 در کل اقتصاد با و بدون کلاهک تصفیه گاز خروجی نشان می‌دهد. با رسیدن به هدف ٦۰ درصدی که برابر است با کاهش ۳۲۰ $mtCO_2$ یا ۸۷ mtC در ۲۰۵۰، کل کاهش آلودگی CO_2 قابل توجه است. برای تبدیل بین این دو در مقدار CO_2 مساوی، مقادیر کربن را به ٤٤/۱۲ ضرب می‌کنیم.

تقاضاهای انرژی اولیه

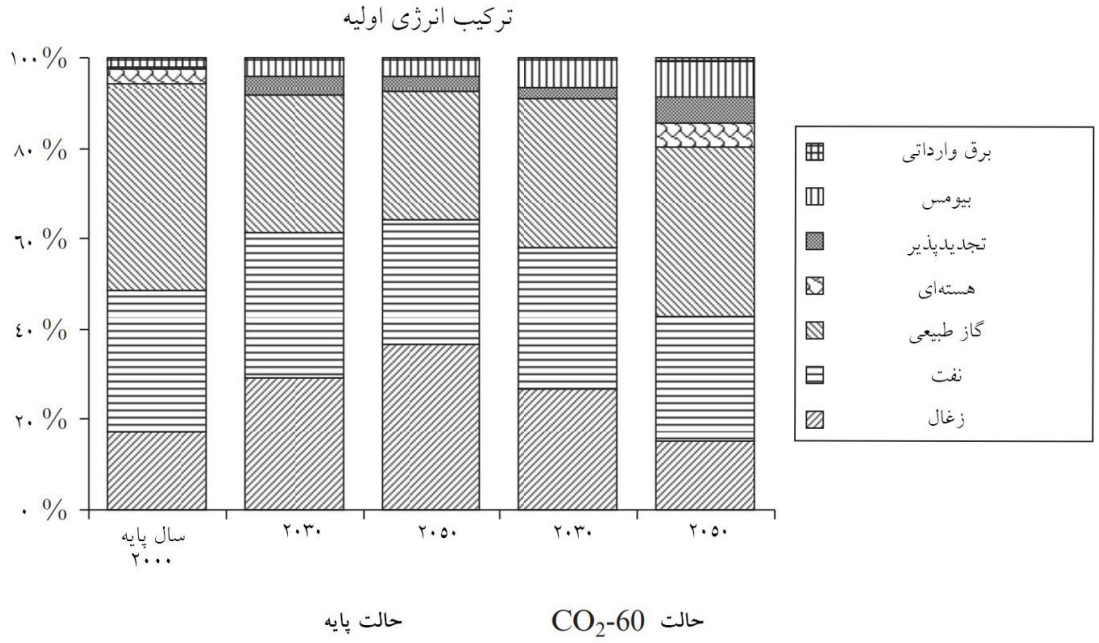
شکل ۱۲,٦ نشان دهنده مصرف انرژی اولیه در کل اقتصاد است. کاهش انرژی اولیه تا حدی در نتیجه بهبود کارآمدی بالادستی و پایین‌دستی از جمله گزینه‌های ذخیره‌سازی، اتفاق افتاده است. بهبود کل کارآمدی انرژی در مورد محدودیت CO_2-٦۰ تا حدی بیشتر است. در ۲۰۵۰ افزایش انرژی اولیه نشان دهنده تغییر به منبع انرژی است که کارآیی انرژی کمتری دارد اما میزان کربن هم کمتر است زیرا در این مدل تلاش بر دکربنیزه کردن و رسیدن به هدف کاهش CO_2 است.



شکل ۱۲,٦ تقاضاهای انرژی اولیه در سراسر اقتصاد

شکل ۱۲,۷ سهم انرژی اولیه با سوخت را در موارد پایه و محدودیت CO_2 مقایسه می‌کند. در مورد پایه، به دلیل افزایش تولید الکتریسیته، کاربرد زغال افزایش بسیار می‌یابد در حالی که سهم گاز طبیعی در حدود یک سوم ثابت باقی می‌ماند چون در بخش‌های مسکونی، خدماتی و صنعتی مستقیما کاربرد دارد. مصرف نفت کاهش نسبی نشان می‌دهد چون در بخش حمل و نقل کارآیی بیشتری دارد و بعدها در بعضی حالت‌ها به هیدروژن تغییر پیدا می‌کند. انرژی هسته‌ای از ترکیب انرژی UK خارج می‌شود. در مورد محدود CO_2-۶۰ گاز طبیعی سهم اولیه خود در انرژی را در حدود ٤٥ درصد حفظ می‌کند چون نسبتا مصرف کارآمد و انتشار کمتری دارد. زغال‌سنگ به تولید الکتریسیته با استفاده از پتانسیل ذخیره کربن نهایی UK محدود می‌شود. هسته‌ای در سطوح پایین باقی می‌ماند و بعد با نزدیک شدن به ۲۰۵۰ ذخایر آن افزایش می‌یابند. مصرف روغن به دلیل بهبود در کارآیی کاهش پیدا می‌کند و سپس با شتاب به هیدروژن تغییر پیدا می‌کند. منابع انرژی تجدیدپذیر از جمله بیومس رشد ثابتی دارد.

UK MARKAL یک بخش منابع کامل دارد که واردات، صادرات و تولید داخلی همه سوخت‌ها را پیگیری می‌کند. از جمله وظایف این بخش توصیف فناوری‌های توانمندسازی اصلی، مثل رابطین گاز طبیعی و ترمینال‌های گاز طبیعی مایع (LNG) و بخش پالایش، است. شکل ۱۲,۸ نشان دهنده پایان تولید داخلی سوخت‌های فسیلی خصوصا گاز طبیعی و نفت است. با این حال با افزایش تدریجی قیمت نفت میدان‌هایی که قبلا کم اهمیت بودند در سال‌های ۲۰۳۰-٤٥ اقتصادی می‌شوند. تولید زغال‌سنگ داخلی باقی می‌ماند البته در سطح پایین و کمتر از واردات زغال‌سنگ کک. شکل ۱۲,۹ رشد مورد پایه در واردات انرژی را نشان می‌دهد.

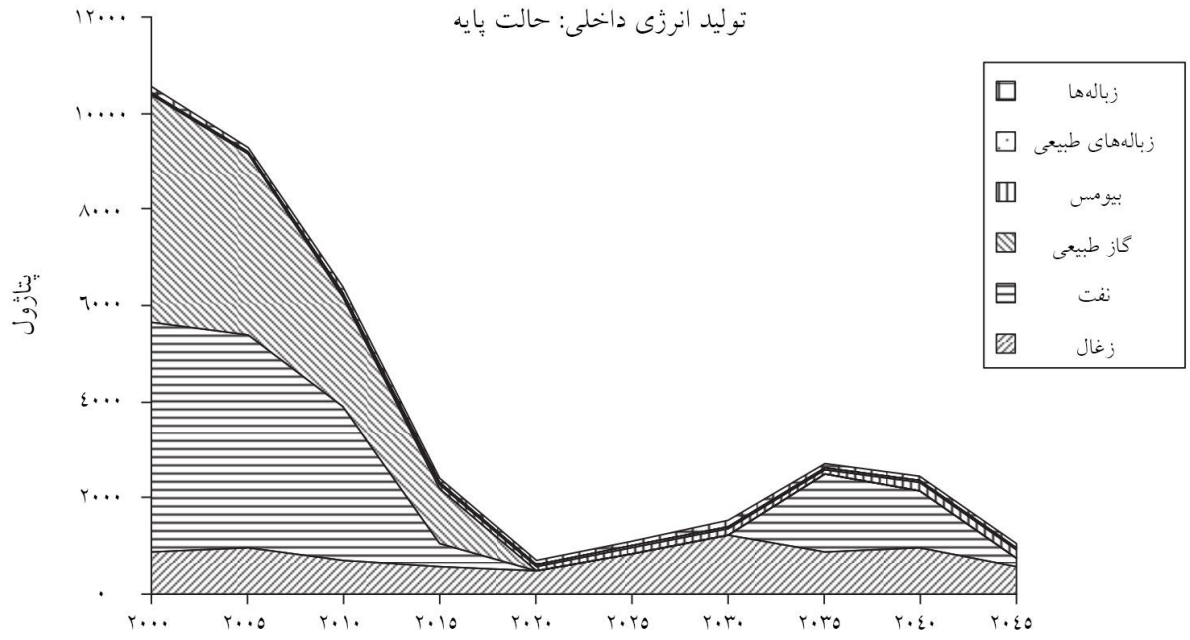


شکل ۱۲,۷ ترکیب انرژی اولیه در موارد محدودیت CO_2 و پایه

واردات نفت جای خود را به تولیدی که بعدا داخلی می‌شود می‌دهد (دقت کنید که صادرات انرژی فسیلی تا ۲۰۱۵ کاهش پیدا کرده و در ۲۰۳۰ قطع شده است به استثنای محصولات پالایش شده از موجودی پالایشی). واردات گاز طبیعی به استحکام خود باقی می‌ماند؛ اول از میادین نروژ و بعد گاز از خط لوله اروپا و توسعه ظرفیت بین رابطین. واردات LNG با استفاده از امکانات موجود یا آتی ثابت باقی می‌ماند.

ترکیب تولید الکتریسیته

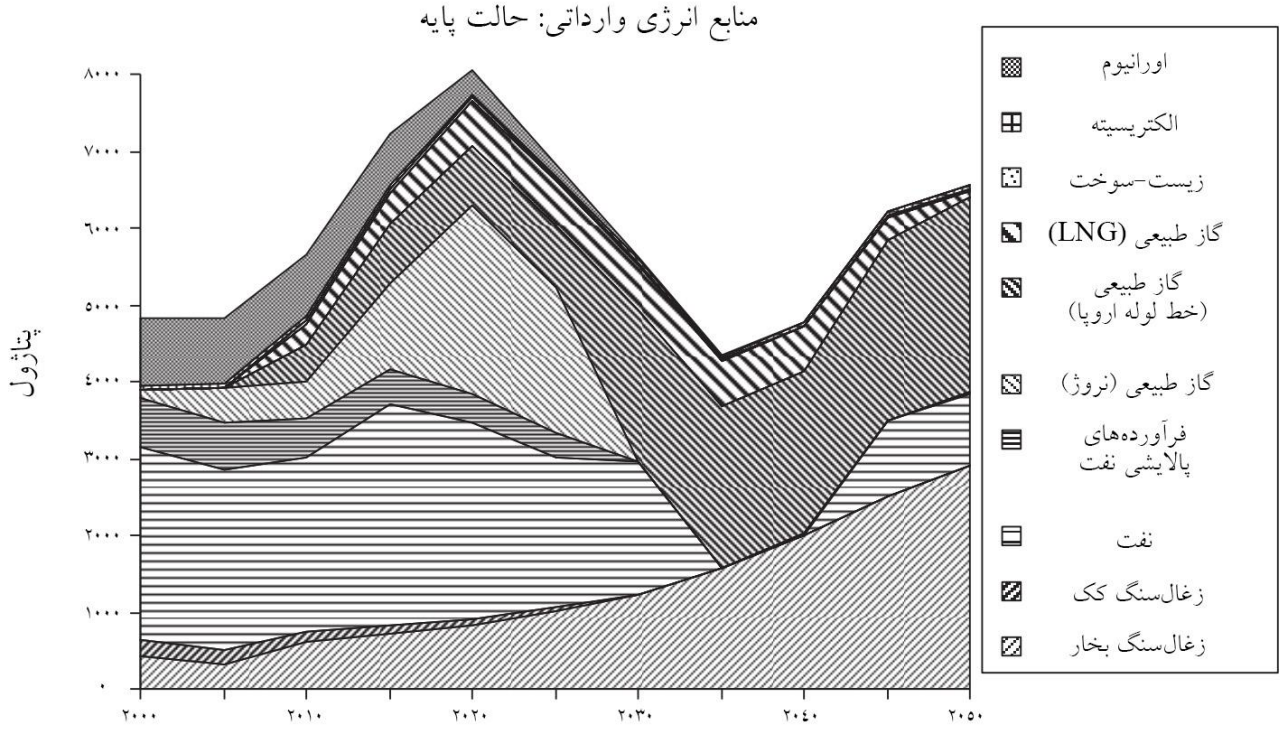
شکل ۱۲,۱۰ ترکیب تولید الکتریسیته در ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ را در غیاب و با اعمال محدودیت CO_2 نشان می‌دهد. توجه کنید که کل تولید الکتریسیته به دلیل تغییر بین دیگ بخار الکتریکی و دیگر گزینه‌های مصرف نهایی، متغیر است. در حالت پایه مزایای جدید تولید زغال‌سنگ غالبیت آن بر تولید الکتریسیته را تضمین کرده است. زیرساخت‌ها و منابع اندک گاز طبیعی تضمین می‌کند که از گاز در درجه اول مستقیما در کاربردهایی استفاده شود که مصرف نهایی کارآمد دارند. ظرفیت هسته‌ای بدون سرمایه‌گذاری مجدد کاهش یافته است.



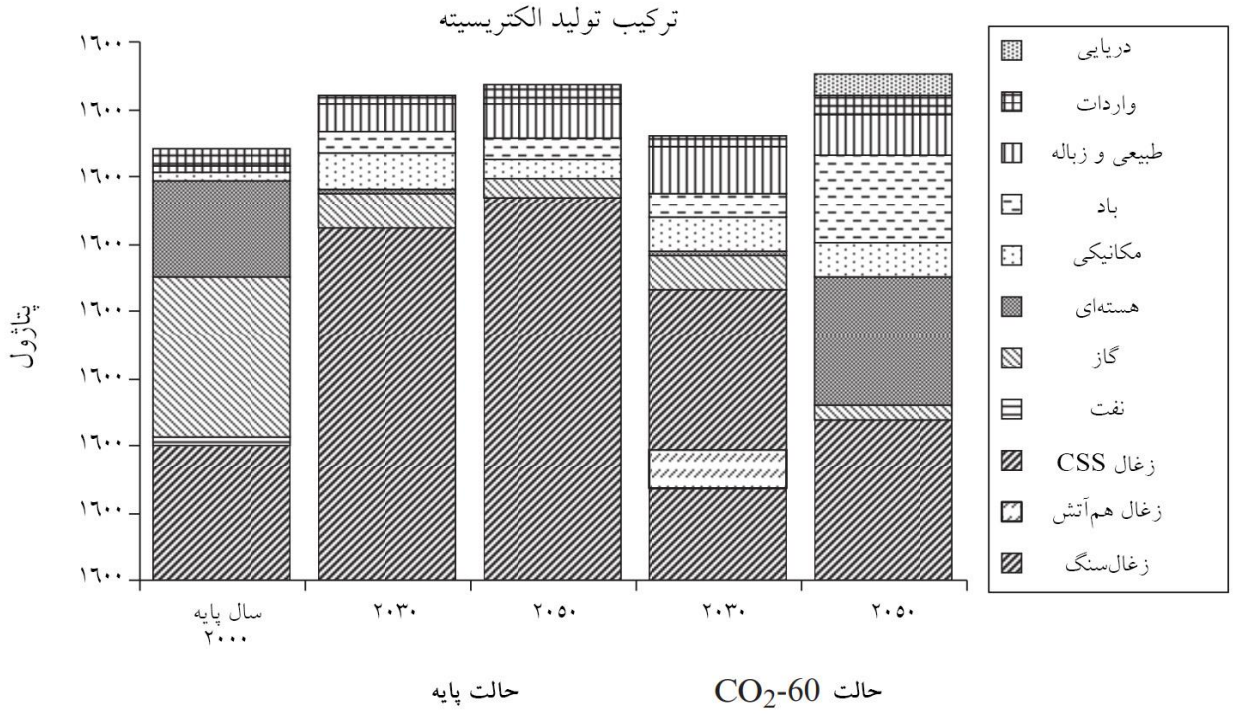
شکل ۱۲,۸ تولید داخلی سوخت فسیلی و تجدیدپذیرهای بهره‌برداری‌شده

با این حال گاز طبیعی از ۲۰۲۰ سهم ۳۷ درصدی خود در بازار الکتریسیته را حفظ می‌کند (و پس از این تاریخ در سطح پایین‌ترین ادامه پیدا می‌کند) و نیروگاه‌های هسته‌ای با عمر گسترش‌یافته تا ۲۰۲۰ (راکتور پیشرفته خنک‌شونده با گاز: AGR) و تا ۲۰۳۰ (راکتور آبی تحت فشار: PWR) کار می‌کنند.

در مورد محدود CO_2-۶۰ تولید الکتریسیته نشان دهنده تغییر از هم‌سوختی زغال‌سنگ، CCS زغال سنگ که محدود به ظرفیت UK CCS است، بیومس، باد، هسته‌ای و در نهایت فناوری‌های دریایی در ۲۰۵۰ است. با اینکه CCS زغال سنگ قبل از نیروگاه اتمی جدید استفاده می‌شود، تا ۲۰۵۰ سهم انرژی هسته‌ای (با ۲۵,۵ درصد) با CCS زغال‌سنگ (با ۳۱,۵ درصد) قابل مقایسه است. رشد در ۲۰۵۰ در تولید الکتریسیته در مورد محدود نشان دهنده سخت بودن هدف ۶۰ درصدی است به گونه‌ای که تغییر به الکتریسیته (دکربنیزه شده) در فناوری‌های مصرفی اصلی (و الکترولیز هیدروژن) تبدیل به گزینه تخفیف حاشیه‌ای می‌شود.



شکل ۱۲,۹ واردات سوخت فسیلی، اورانیوم و زیست-سوخت

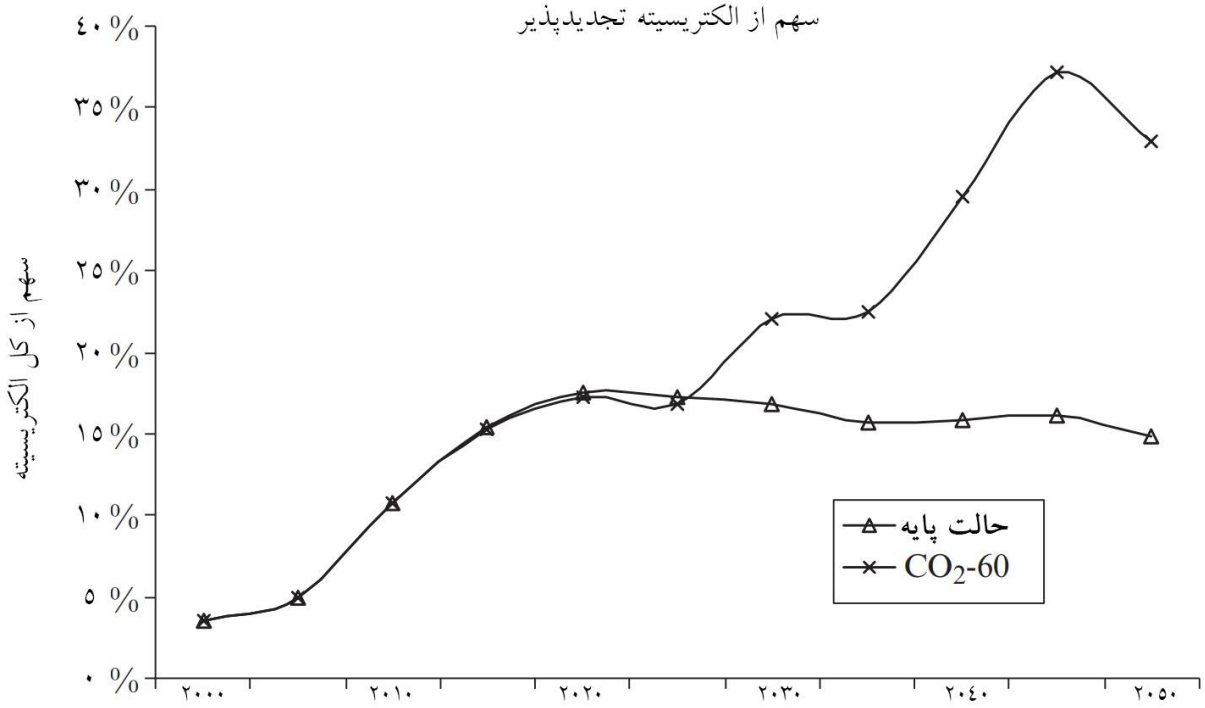


شکل ۱۲,۱۰ ترکیب تولید الکتریسیته در موارد پایه و CO_2 محدود

همانطور که در شکل ۱۲,۱۱ مشاهده می‌کنید، سهم الکتریسیته تجدیدپذیر پاسخگوی الزامات تجدیدپذیر (RO) است و حتی در مورد پایه، ۱۵ درصد بالای آستانه RO نگه داشته می‌شود. در مورد محدودیت در ۲۰۴۵ تجدیدپذیرها به سهم الکتریسیته ترکیبی ۳۷ درصد می‌رسند و بعد از آن به دلیل رشد هسته‌ای جدید قدری افول پیدا می‌کنند.

چشم‌اندازهای بخشی

با نگاهی فراتر از بخش الکتریسیته، مدل MARKAL، فرصت‌های بسیاری جهت انتقال میان تکنولوژی و مصرف‌کننده نهایی را می‌یابد. شکل ۱۲,۱۲ جزئیات سهم انرژی بخشی را نشان می‌دهد که اقدامات حفاظتی (دستگاه‌های ذخیره انرژی مثل عایق‌کاری کف) به آن اندازه تقاضا را کاهش می‌دهند. توجه داشته باشید که این مورد شامل دستگاه‌های کارآمدتر یا فناوری‌های تقاضا یا تغییر در رفتار نمی‌شود. اقدامات محافظتی رد مورد پایه مطابق با برآوردهای DEFRA (2005a) از پتانسیل نزدیک–مدت است و جذب طولانی–مدت نسبتا کم است.

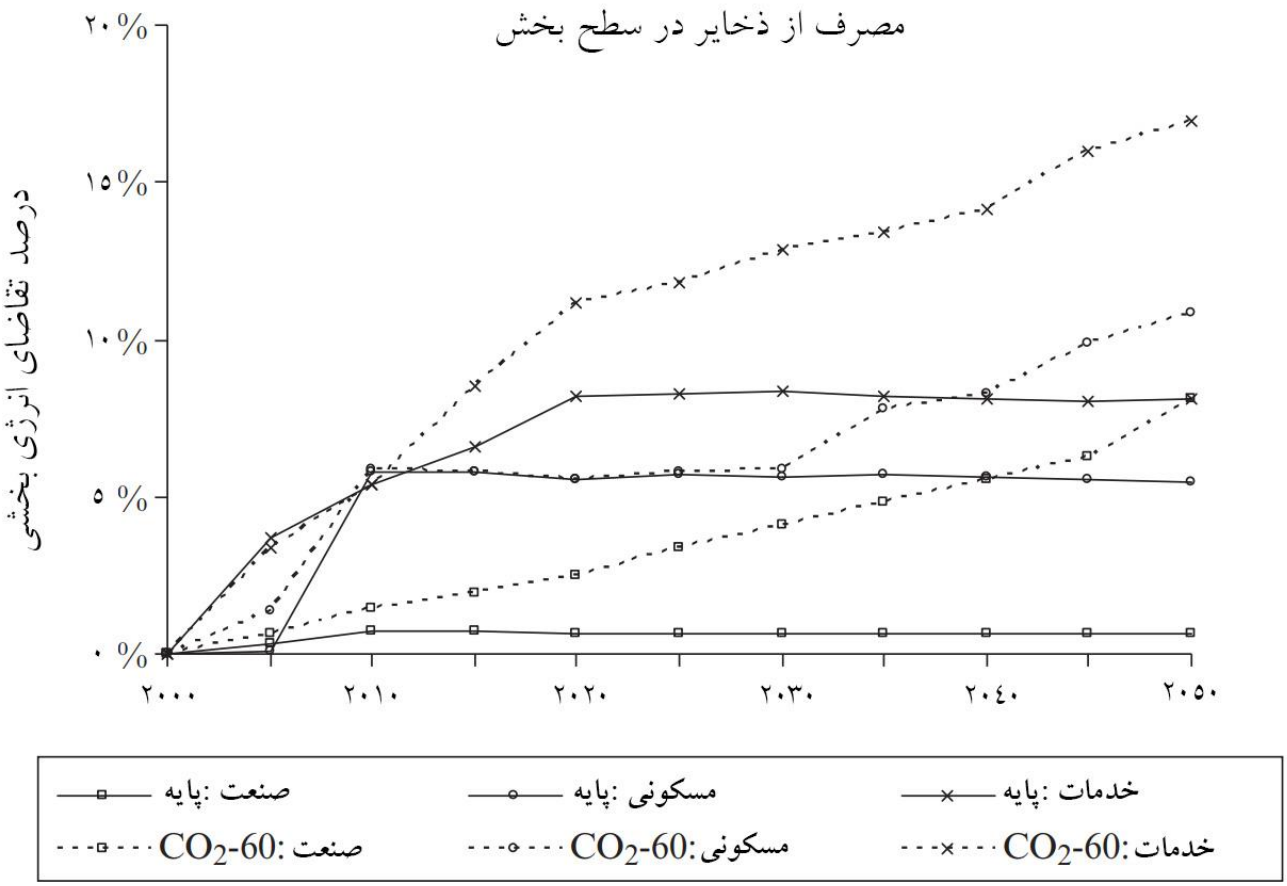


شکل ۱۲,۱۱ سهم تولید الکتریسیته مبتنی بر تجدیدپذیر

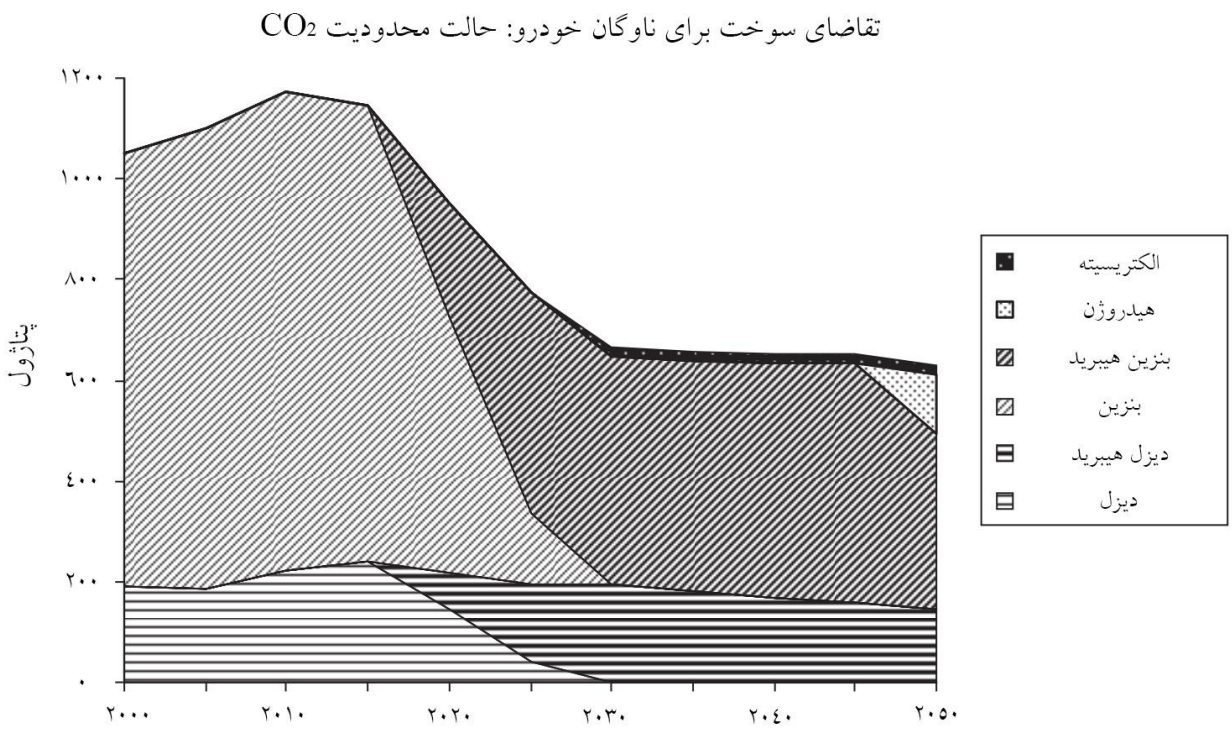
در مورد محدودیت CO_2 در نتیجه دسترسی بیشتر به پتانسیل فنی اقدامات محافظتی و تأثیر قیمت کربن، نقش محافظت خالص تا حد زیادی گسترش پیدا می‌کند و تا ۱۷ درصد تقاضای انرژی بخش خدماتی تا ۲۰۵۰ ذخیره می‌شود.

در نهایت، شکل‌های ۱۲,۱۳ و ۱۲,۱٤ با تمرکز بر بخش حمل و نقل، جزئیات انتقال فناوری در اتومبیل‌های شخصی و اتوبوس‌ها، وسایل نقلیه کالاهای سبک (LGVs) و وسایل نقلیه کالاهای سنگین (HGVs) در مورد محدودیت CO_2 را نشان می‌دهند. مشاهده می‌کنید که تولید نفت کاهش قابل توجهی داشته است که تا حد زیادی به علت کارآمدی (وسایل هیبرید معمولی) و جایگزینی با هیدروژن در سال‌های بعد است. قابل توجه است که تحت مقررات سوخت‌های تجدیدپذیر، حمل و نقل دیزل درصد کوچکی از بیودیزل را تشکیل می‌دهد. انتقال HGV، اتومبیل و LGV به هیبرید (هم بنزین و هم دیزل) از ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ اتفاق می‌افتد. جذب هیبرید کارآمد در مورد پایه هم اتفاق می‌افتد که به دلیل تعامل بین افزایش قیمت نفت و کاهش هزینه‌های تصاعدی موتورهای هیبریدی است. بازار خاص وسایل اتانولی و الکتریکی (خصوصا در دوره موقتی در LGVها) قبل از محدود شدن به دسترس‌پذیری منابع و ملزومات زیرساخت‌ها اتفاق می‌افتد. اتوبوس‌ها اولین وسایلی هستند که از سال ۲۰۲۵ تا ۲۰٤۰ به هیدروژن گذر می‌کنند. علت این امر تا حد زیادی به این بر

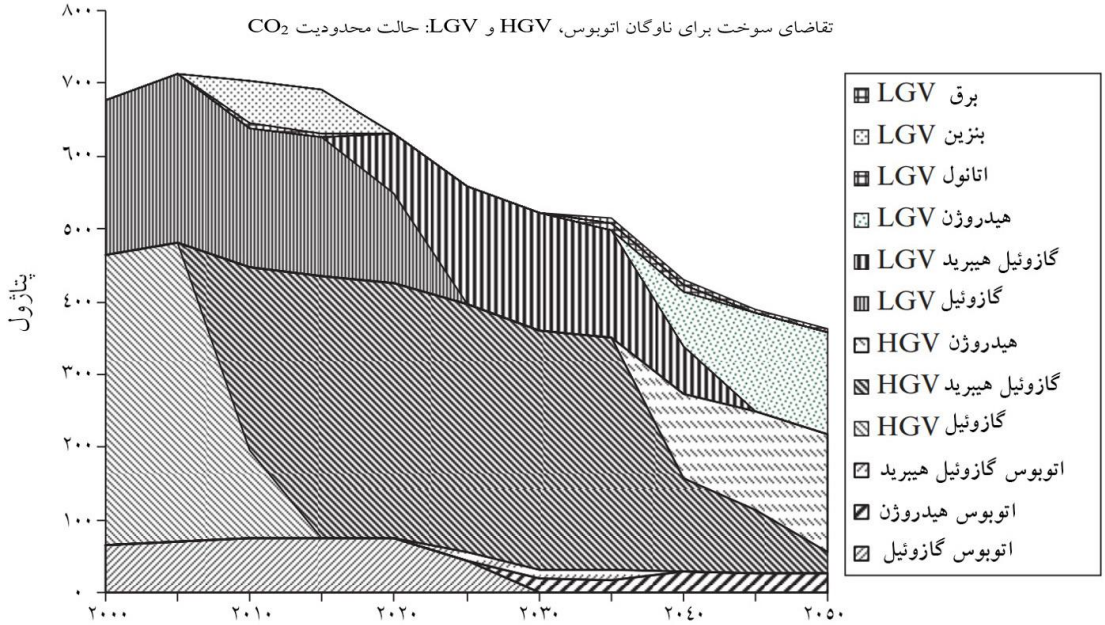
می‌گردد که زیرساخت جدیدی که برای سوخت‌رسانی به آن‌ها استفاده می‌شود ساده‌ترین زیرساخت است. پس از آن با گسترش زیرساخت هیدروژن، LGV، HGV و اتومبیل‌های شخصی به هیدروژن گذر می‌کنند. در آخر با اینکه اینجا نشان داده نشده اما به دلیل نبود فناوری جایگزین، در صنعت هوانوردی کاهش میزان کمتر آلودگی را شاهد خواهیم بود.



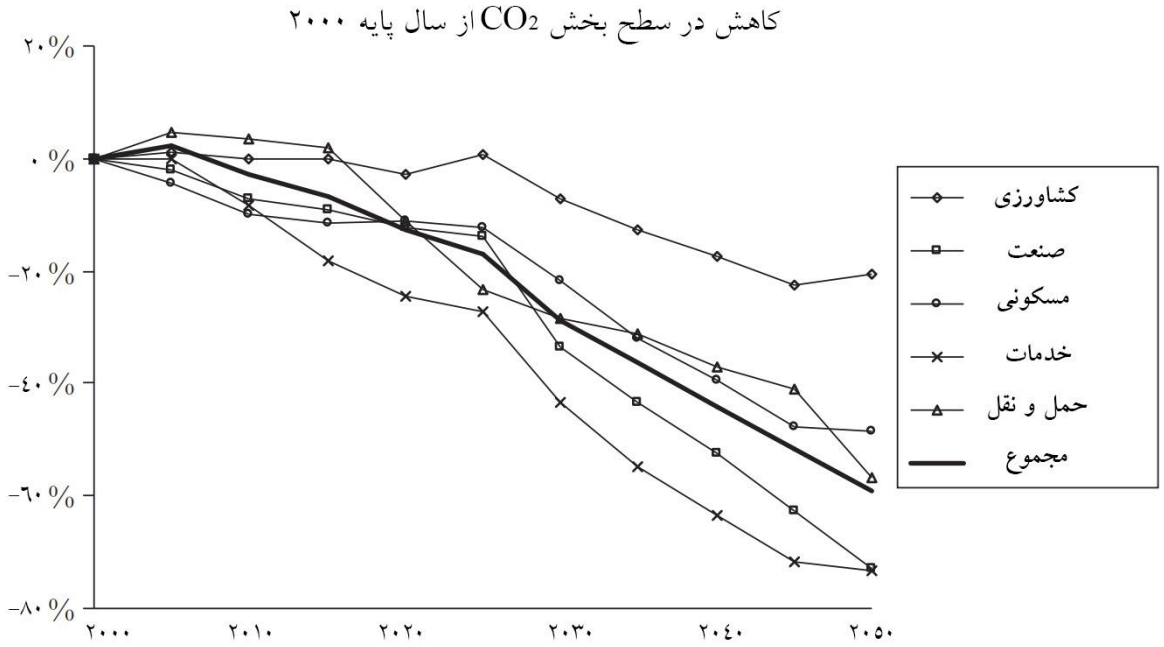
شکل ۱۲,۱۲ نقش بخشی اقدامات محافظتی



شکل ۱۲,۱۳ تحولات تکنولوژی در حمل و نقل خودروی شخصی

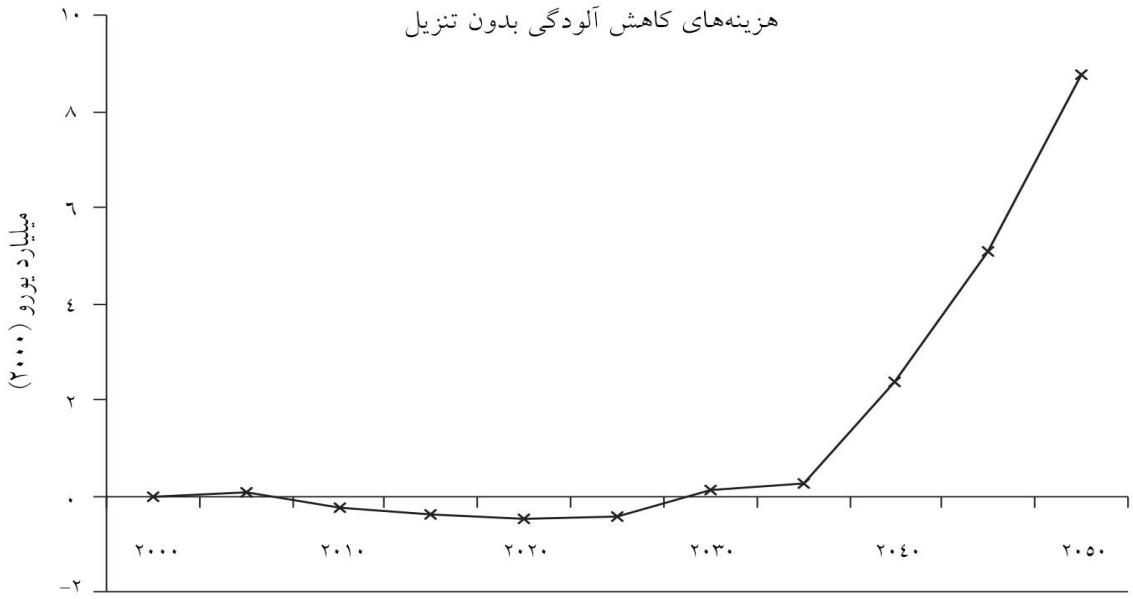


شکل ۱۲,۱۴ تحولات فناوری در حالت حمل و نقل اتوبوس، LGV و HGV



شکل ۱۲,۱۵ درصد دکربنیزاسیون بخشی

شکل ۱۲,۱۵ با مقایسه کاهش آلودگی CO_2 در بخش‌های مصرفی (با تخصیص انتشار هیدروژن و الکتریسیته برای تقاضاهای مرتبط) جزئیات دکربنیزاسیون بخشی را به صورت درصدی از سطح انتشار سال مبنای ۲۰۰۰ نشان می‌دهد. اگر قرار بود تمام بخش‌ها سهم برابری در رسیدن به کاهش انتشار ۶۰ درصدی داشته باشند همه آنها تا ۲۰۵۰ به ۶۰ درصد کاهش می‌رسیدند. در عوض بخش‌های خدماتی و صنعتی به دلیل استفاده از الکتریسیته دکربنه‌شده، تغییر سوخت به گاز طبیعی (که کارآمدتر است) و استفاده کردن از اقدامات محافظتی، بیشتر دکربنیزه می‌شوند. نقش بخش مسکونی در کاهش انتشار CO_2 کم است اما محافظت مقرون به صرفه زودتر در این بخش نفوذ کرده است. حمل و نقل، آخرین بخش بزرگی است که در آن دکربنیزاسیون اتفاق می‌افتد (با توجه به تغییر فناوری که در مورد پایه اتفاق افتاده است). کاهش CO_2 در دوره‌های بعد در حمل و نقل نشان دهنده وجود گزینه‌های کاهنده پر هزینه است که مستلزم استفاده از زیرساخت قابل توجهی است (هیدروژن یا زیست‌سوخت).



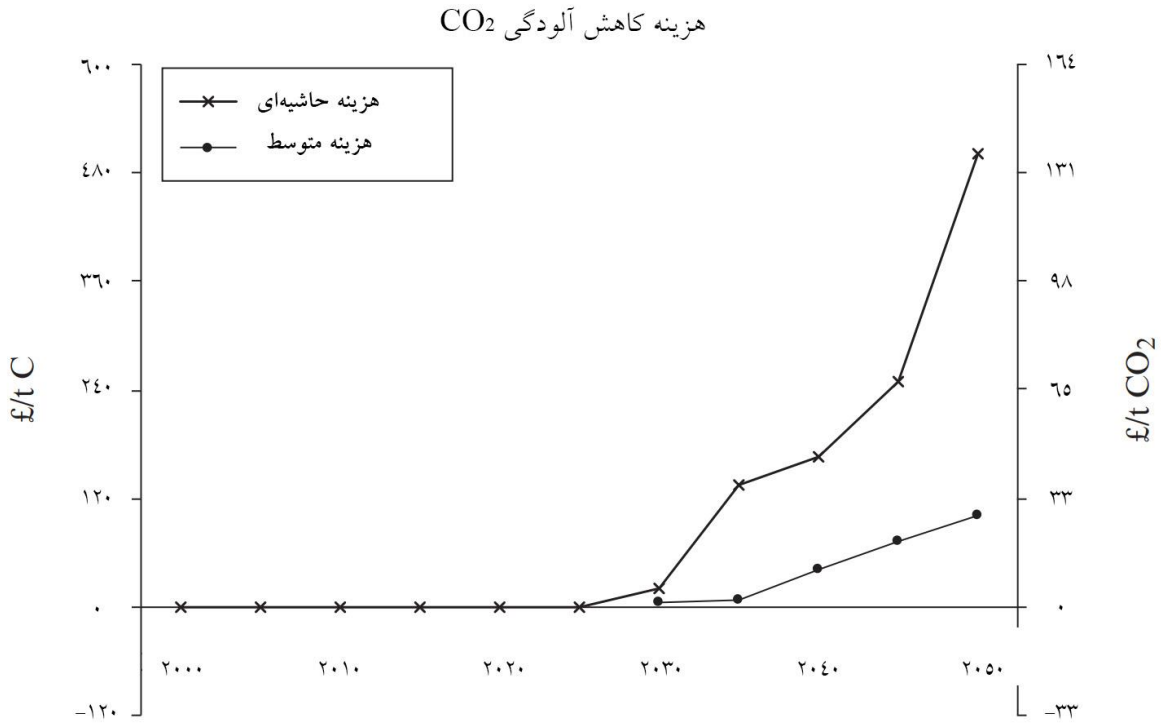
شکل ۱۲,۱۶ هزینه‌های کاهش آلودگی CO_2 در سراسر اقتصاد

هزینه‌های کاهش آلودگی

شکل ۱۲,۱۶ هزینه‌های کاهش آلودگی برای کاهش ۶۰ درصدی انتشار CO_2 را در سراسر اقتصاد نشان می‌دهد. در پی سود اقتصادی نزدیک-مدت در نتیجه اعمال زودهنگام اقدامات محافظتی، برای آنکه بخش انرژی به اندازه ۶۰ درصد، دکربنیزه شود باید هزینه‌های کاهش آلودگی به سرعت افزایش پیدا کند، این مقدار به مبلغ بدون تنزیل حدود ۸/۸ میلیارد یورو در سال می‌رسد. این مبلغ با کل هزینه‌های سیستم انرژی مقایسه می‌شود (با در نظر گرفتن همه جنبه‌های سیستم انرژی از هزینه منابع سوخت معدنی محلی و وارداتی، پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌های قدرت، انتقال و زیرساخت‌های توزیع گرفته تا تکنولوژی‌های مصرف نهایی از جمله وسایل نقلیه و کارافزارها) که (بدون تنزیل) به ارزش ۳۲۵ میلیارد یورو می‌رسد. این مبلغ نسبت به UK GDP فعلی که بیش از ۱ تریلیون یورو است بیان می‌شود اگرچه انتظار می‌رود که GDP بریتانیا در ۲۰۵۰ ۳/٤ تا ٤/٤ برابر بزرگ‌تر شود (با نرخ رشد سالیانه ۲/۵ الی ۳/۰ درصد).

هدف قاطعانه کاهش کربن در بالا بودن قیمت‌های سایه‌ای CO_2 مشخص است. شکل ۱۲,۱۷ قیمت‌های میانگین و حاشیه را نشان داده است. قیمت حاشیه‌ای کربن تا ۲۰۵۰ به یوروtCO_2/۱۳٦ (یا یورو۵۰۰/tC) می‌رسد. با این حال میانگین هزینه‌های کاهش آلودگی به طرز قابل توجهی کمتر از میانگین ساده قیمت‌ها در حاشیه است. میانگین هزینه‌های کاهش آلودگی در ۲۰۵۰ برابر با یوروtCO_2 /۲۷ (یا یورو۱۰۰/tC) است. این نشان می‌دهد که منحنی هزینه، کاهش توزیع نرمال ندارد، بلکه به سمت گزینه‌های ارزان‌تر برای کاهش آلودگی

میل می‌کند و وقتی هدف کاهش انتشار تا ٦٠ درصد برسد گزینه‌های گران، نسبتا کمتر هستند. توجه داشته باشید که دسترسی به گزینه‌های محافظت مقرون به صرفه، در مورد کاهش کربن منجر به سود خالص در سال‌های اولیه سیاست‌گذاری کاهش کربن می‌شود. در نهایت انتظار می‌رود که مکانیزم‌های انعطاف‌پذیری دیگر (مثل تبادل انتشار بین‌المللی یا تغییر رفتار) این هزینه‌های انتشار را تعدیل کنند.

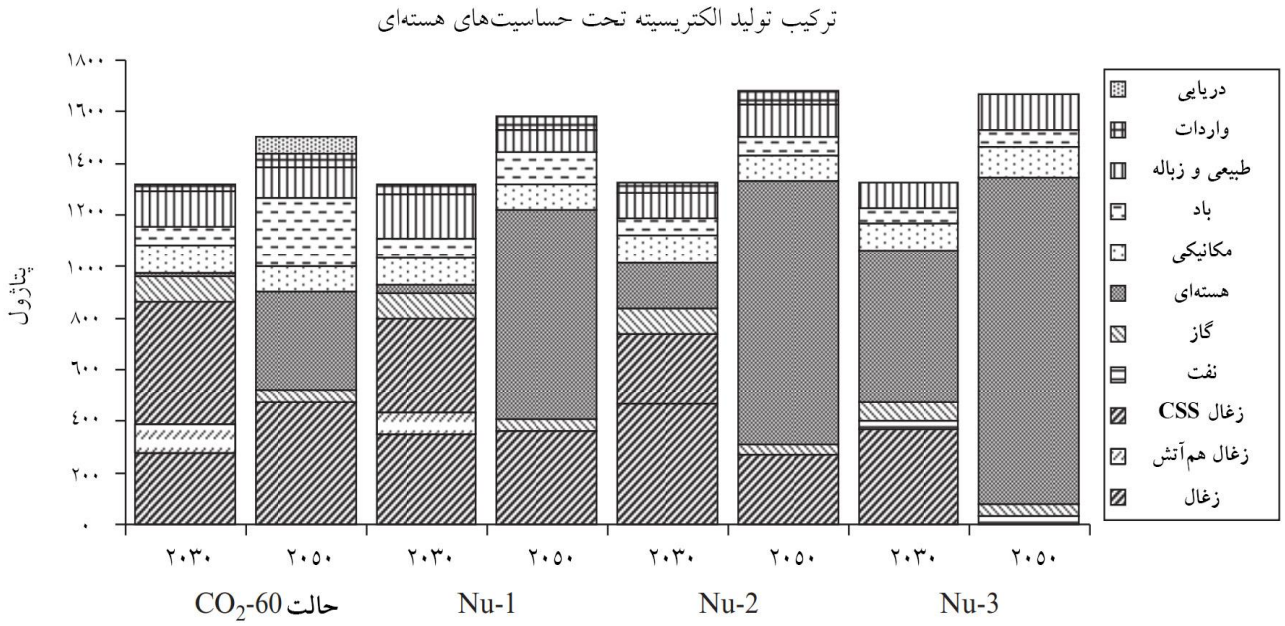


شکل ۱۲,۱۷ قیمت حاشیه‌ای و میانگین CO_2

تحلیل عدم اطمینان

اجراهای محدودیت CO_2 و پایه، حاصل مجموعه قابل قبولی از فرایض درباره تقاضاهای خدمات انرژی، هزینه منابع، ویژگی فناوری‌ها و غیره است. با این حال قدرت روش منسجمی مثل MARKAL در این است که به دیگر فرض‌های قابل قبول نگاه کرده و بین گذرگاه‌های انرژی مختلف سبک و سنگین کند. در این زیربخش، فقط به یکی از گذرگاه‌های ممکن با کاهش هزینه‌های هسته‌ای اشاره شد. عدم قطعیت حول ارزیابی هزینه‌های هسته‌ای می‌تواند یکی از مشکل برانگیزترین و تیره‌ترین مسائل در حوزه فناوری انرژی باشد (برای مطالعه بیشتر درباره مشکلات موجود در تعریف هزینه‌های هسته‌ای رجوع شود به SDC, 2006).

سه حساسیت ارائه شده در زیر، نتیجه یک سری اجرای تشخیصی از UK MARKAL هستند و نقاط بحرانی بین گذرگاه‌های فناوری مختلف را نشان می‌دهند. در اولین اجرا (Nu-1) فقط فرض شده که منحنی منبع اورانیوم یکنواخت است و در قیمت‌های ۲۰۱۰ باقی مانده است. بنابراین، در این مورد فرض بر آن است که گسترش استخراج اورانیوم با سرعت برابر با گسترش تقاضای جهانی اتفاق می‌افتد. در اجرای دوم (Nu-2) تأمین یکنواخت اورانیوم به علاوه کاهش ۳۰ درصدی در هزینه‌های غنی‌سازی در نظر گرفته شده است. در اجرای سوم (Nu-3) تأمین یکنواخت اورانیوم، کاهش ۳۰ درصدی در هزینه‌های غنی‌سازی به علاوه کاهش ۳۰ درصدی در هزینه‌های سرمایه فرض شده است. این پیشرفت آخر هزینه‌های سرمایه‌گذاری تولید هسته‌ای را تا حد برآوردهای خوش‌بینانه صنعتی کم نگه می‌دارد (WNA, 2005).



شکل ۱۲,۱۸ ترکیب تولید الکتریسیته تحت پیشرفت زنجیره هسته‌ای

شکل ۱۲,۱۸ تغییر ترکیب الکتریسیته را براساس پیشرفت‌های جمعی در اقتصاد الکتریسیته هسته‌ای نشان می‌دهد. تنها با تغییر مفروضات منابع اورانیوم، در ۲۰۵۰ تولید هسته‌ای به عنوان تولید بارپایه بدون کربن، بر CCS زغال‌سنگ غلبه می‌کند. حرکت به سمت پیشرفتی دیگر در هزینه‌های غنی‌سازی هسته‌ای تضمین می‌کند که تولید هسته‌ای در دوره موقت (۲۰۲۰–۵۰) بر CCS زغال‌سنگ هم غلبه می‌کند.

در حالی که پیشرفت بیشتر در هزینه‌های سرمایه هسته‌ای تضمین می‌کند که CCS زغال‌سنگ هیچگاه به عنوان گزینه کاهش‌دهنده انتخاب نشده است. بنابراین، رابطه بین تولید هسته‌ای و CCS زغال‌سنگ در دامنه قابل قبول عدم اطمینان این دو کلاس فناوری است و به این ترتیب نمی‌توان مشخص کرد که بر مبنای هزینه،

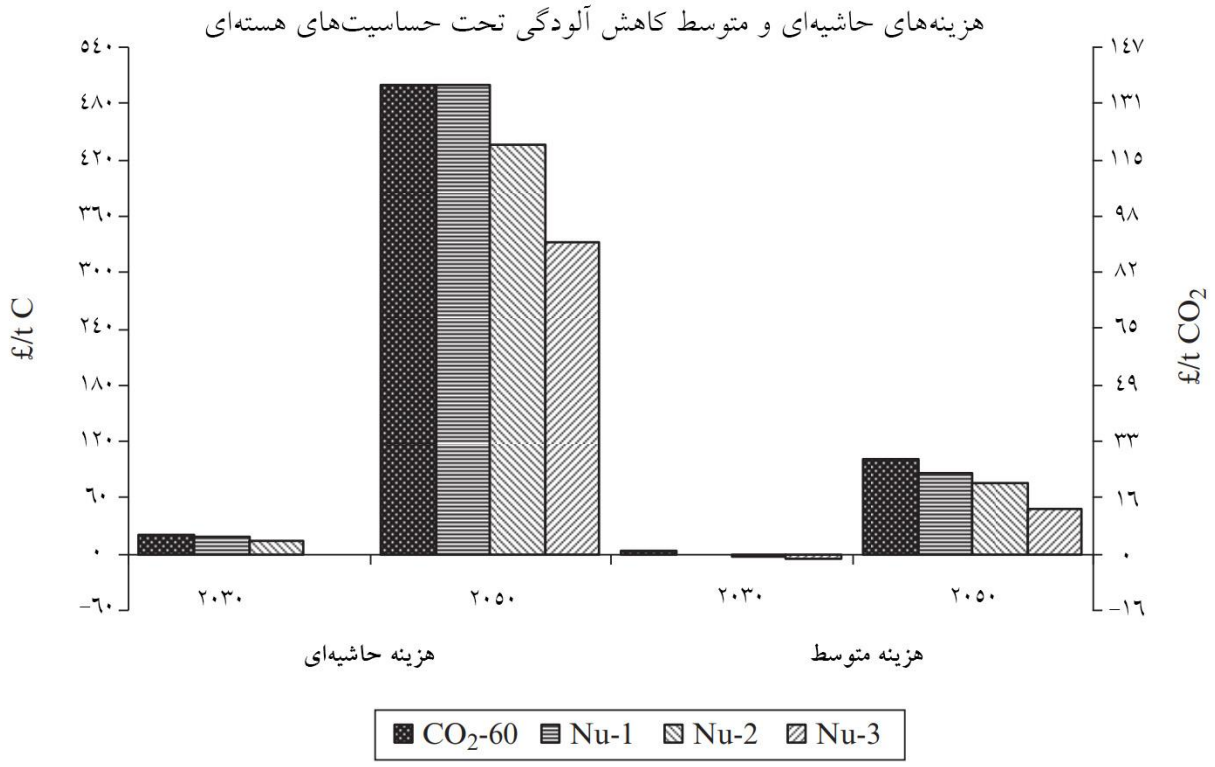
کدام یک بر دیگری برتری دارد. قابل توجه است که اقتصاد هسته‌ای در واقعیت مسئله بسیار پیچیده‌تری است. با اینکه اینجا نمایش داده نشده اما MARKAL می‌تواند مسائل دیگری مثل «سرمایه‌گذاری سنگین» –مثلا راه‌اندازی ناوگانی با ۱۰ ایستگاه– را با پرداخت‌های مقدماتی اجباری برای دفع و حذف، بررسی کند.

در نهایت بهبود فرض هزینه‌های هسته‌ای هم به این معنی است که سهم بازار انرژی‌های تجدیدپذیر از بین رفته است. این امر خصوصا درباره فناوری‌هایی که قبل از آنکه بتوانند در زمینه قیمت به رقابت بپردازند مستلزم صرفه‌جویی به یادگیری هستند، صدق می‌کند. از این جمله می‌توان به فناوری‌های بادی و دریایی اشاره کرد. سرعت رشد این فناوری‌ها آنقدر زیاد نیست که بتوانند با نیروگاه‌های هسته‌ای پیشرفته رقابت کنند. در نهایت واردات الکتریسیته هم محدود است و نیاز به ساخت ظرفیت اتصالی داخلی با شبکه فرانسوی را کمتر می‌کند.

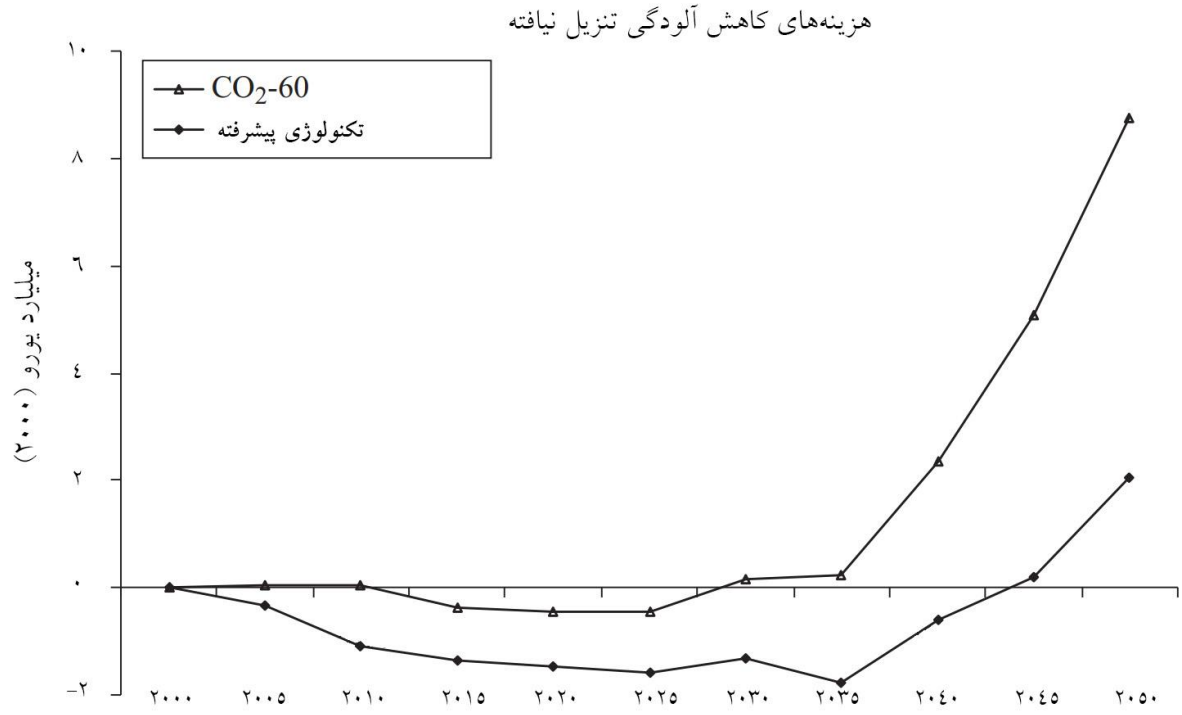
شکل ۱۲,۱۹ کاهش قیمت حاشیه‌ای و میانگین CO_2 از مفروضات هزینه فناوری هسته‌ای پیشرفته را نشان می‌دهد. کاهش در هر دو متریک مهم است و کاهش هزینه سیاست‌گذاری کنش‌پذیر، فقط پیشرفت در یک فناوری اصلی را نشان می‌دهد.

شکل ۱۲,۲۰ آخرین شکل مربوط به هزینه‌های فناوری نفوذگر عدم اطمینان است و سناریوی «بهترین مورد» را نشان می‌دهد که در آن به کل هزینه‌های کاهش آلودگی تحت مفروضات فناوری پیشرفته برای چندین کلاس فناوری اصلی از جمله محافظت، هسته‌ای، CCS زغال‌سنگ، تجدیدپذیر دور و تولید توزیعی (فسیلی و تجدیدپذیر) اشاره شده است. در سال ۲۰۵۰ هزینه‌های غیرتنزیل‌شده سراسر اقتصاد از ۸/۸ میلیارد یورو به حدود ۲ میلیارد یورو رسید.

در آخر توجه داشته باشید که فرض‌های تولیدکننده هزینه در بخش بالایی اجراهای مرکزی می‌توانستند به راحتی نمایش داده شوند و نشان دهند که عدم اطیمنان حول فرض‌های هزینه‌ساز به این اندازه زیاد است. سناریوهایی که در کلاس فناوری محدودیت دارند (مثل CCS یا بدون هسته‌ای) یا سناریوهایی با نوآوری کم می‌توانند از جمله این سناریوها باشند.



شکل ۱۲,۱۹ قیمت‌های حاشیه‌ای و میانگین کربن تحت زنجیره تأمین هسته‌ای بهبودیافته



شکل ۱۲,۲۰ کل هزینه‌های کاهش آلودگی با همه پیشرفت‌های فناورانه

۵ نتیجه‌گیری

در این فصل توسعه مدل جدید سیستم‌های انرژی UK MARKAL شرح داده شد. توسعه این مدل از طریق تم مدل‌سازی سیستم‌های انرژی مرکز مطالعات انرژی UK و به کمک پروژه‌ای تحت حمایت DTI و DEFRA برای تکمیل ورودی تحلیلی به وایت پیپر انرژی ۲۰۰۷ انجام شد.

در بحث مدل جدید UK MARKAL بازسازی کامل و بهینه‌سازی‌های انجام شده برای بهبود عملکرد و مهارت تحلیلی آن، پوشش داده شد. به عنوان بخشی از این توسعه، فرآیند اعتبارسنجی ذی‌نفعان و به روزرسانی، به شکل دقیق انجام شد. فرض‌های ورودی اصلی در اینجا خلاصه گردید. همچنین کالیبراسیون مدل با مدل انرژی اقتصادی DTI برای توافق کوتاه و بلند مدت در پیش‌بینی حالت اصلی انجام شد.

نتایج به دست آمده از مدل استاندارد جدید ارائه شده است. تمرکز این‌ها بر مشخص کردن عدم قطعیت‌ها بین گذرگاه‌های انرژی متعدد تحت سناریوهای کاهش طولانی مدت کربن است. کل تقاضای انرژی اولیه UK به دلیل بهبود کارآمدی انرژی در جوانب عرضه و تقاضا کاهش پیدا می‌کند. از نظر ترکیب اولیه در مورد پایه، زغال، غالب است چون تولید الکتریسیته مبتنی بر زغال است در حالی که گاز طبیعی در حدود یک سوم برای استفاده‌های مستقیم در بخش کاربرد ثابت باقی می‌ماند. مصرف نفت کاهش پیدا می‌کند چون سود کارآمدی در بخش حمل و نقل بیشتر است. انرژی هسته‌ای از ترکیب انرژی UK خارج می‌شود. با این حال در مورد کربن پایین (یعنی ٦٠ درصد کاهش انتشار تا ۲۰۵۰) انرژی هسته‌ای دوباره برمی‌گردد تا محدودیت کربن برطرف شود و گاز به دلیل انتشار نسبتا کمی که دارد سهم خود را حفظ می‌کند.

در بخش قدرت، تولید الکتریسیته برمبنای زغال‌سنگ در مورد پایه غالب است؛ علت این امر مزایای فناوری‌های جدید تولید زغال‌سنگ و هزینه کمتر آنها است. در مورد CO_2 محدود، با سخت‌تر شدن محدودیت کربن تولید الکتریسیته مبتنی بر زغال‌سنگ به CCS زغال، هم‌سوختی بیومس و فناوری‌های هسته‌ای و در نهایت دریایی تغییر می‌کند. سهم الکتریسیته مبتنی بر منابع تجدیدپذیر در ۲۰٤٥ قبل از آنکه عقب بنشیند به دلیل رشد انرژی هسته‌ای جدید به ۳۷ درصد می‌رسد.

از نظر کاهش، MARKAL طیف وسیعی از فرصت‌های کاهش را در بین بخش‌های کاربری نهایی پیدا می‌کند. همه بخش‌ها به یک اندازه دکربنه نمی‌شوند تا به ٦٠ درصد کاهش انتشار برسند –در عوض بخش قدرت به شدت دکربنه می‌شود. بخش حمل و نقل آخرین بخش مهمی است که باید از طریق تغییر اتومبیل‌های شخصی به اتوموبیل‌های هیبرید و بعد به هیدروژن و بیوسوخت، دکربنه بشود. جذب هیبریدهای کارآمد، به دلیل تعامل بین افزایش قیمت نفت و کاهش هزینه اضافی موتورهای هیبرید در مورد پایه اتفاق می‌افتد.

از نظر هزینه کاهش برای کاهش ۶۰ درصدی انتشار CO_2، سود کوتاه–مدت اقتصادی به دلیل نفوذ مقیاس‌های حفاظتی به سطح تنزیل‌نیافته حدود ۸/۸ میلیارد یورو در سال می‌رسد. قیمت حاشیه‌ای کربن تا ۲۰۵۰ به یورو tCO_2/۱۳۶ (یا یورو tC/۵۰۰) افزایش پیدا می‌کند. میانگین قیمت کاهش آلودگی به طور قابل توجهی کمتر از میانگین ساده قیمت‌ها در حاشیه است. میانگین قیمت کاهش آلودگی در ۲۰۵۰ یورو tCO_2/۲۷ (یا یورو tC/۱۰۰) است. این نشان می‌دهد که منحنی هزینه کاهش آلودگی، توزیع نرمال ندارد بلکه به طرف گزینه‌های ارزان‌تر کاهش آلودگی مایل است و گزینه‌های نسبتا گرانتر وقتی لازم است که هدف انتشار به ۶۰ درصد برسد. دقت داشته باشید که دسترسی به گزینه‌های حفاظتی مقرون به صرفه در مورد کاهش کربن در سال‌های اول سیاست‌گذاری کاهش کربن، سود خالص به دست می‌دهد. در نهایت انتظار می‌رود مکانیزم‌های انعطاف‌پذیری دیگر (مثل تبادل انتشارهای بین المللی یا تغییر رفتار) این قیمت‌های انتشار را تعدیل کنند.

هنگام مشاهده هرگونه نتایج تحت مجموعه فناوری‌های مشخص و دیگر فرایض چنین مدل‌سازی پیچیده‌ای باید دقت کرد. برای مثال عدم اطمینان در ارزیابی هزینه‌های CCS و هسته‌ای می‌تواند از تیره‌ترین و مشکل‌سازترین مسائل در کل حوزه فناوری انرژی باشد. تنها با تغییر فرایض منبع اورانیوم تولید هسته‌ای در تولید بار پایه بدون کربن در ۲۰۵۰ بر CCS زغال‌سنگ غلبه می‌کند. بهبود بیشتر در هزینه‌های غنی‌سازی هسته‌ای تضمین می‌کند که تولید هسته‌ای در دوره موقت (۲۰۲۰–۵۰) نیز بر CCS زغال‌سنگ غلبه می‌کند در حالی که پیشرفت بیشتر در هزینه‌های سرمایه هسته‌ای تضمین می‌کند که CCS زغال‌سنگ هیچ‌وقت به عنوان گزینه کاهش‌دهنده انتخاب نشود. بنابراین، رابطه بین تولید هسته‌ای و CCS زغال‌سنگ در دامنه قابل قبول عدم اطمینان این دو نوع فناوری قرار دارد و بنابراین، امکان ندارد که بتوان درباره اینکه از نظر قیمت کدام یک از دیگری بهتر است، تصمیم‌گیری کرد. این موضوع نشان دهنده گام آغازین در مشخص شدن عدم اطمینان در نتایج مدل و نگرش‌های سفت و سخت است.

یادداشت‌ها

* تحقیق حاضر با همکاری مرکز انرژی بریتانیا (UKERC) و با حمایت مالی شورای مطالعات محیط طبیعی[1] و شورای مطالعات علوم فیزیکی و مهندسی[2] و شورای مطالعات اجتماعی و اقتصادی[3] انجام شده است. تمام دیدگاه‌های بیان شده در این مقاله متعلق به نویسندگان است و لزوما دیدگاه UKERC و شوراهای مطالعاتی را بازنمود نمی‌کند. از حمایت‌های شوراهای مطالعاتی متشکریم. ما نویسندگان مقاله پیش رو، از مشارکت نظمیه یالتا اوزکان از مؤسسه مطالعات سیاستگذاری و استیو پای و پیتر تیلور از شرکت AEA Energy and Environment در طول ساخت مدل سیستم انرژی MARKAL تشکر می‌کنیم.

۱. ساخت این مدل به عنوان بخشی از برنامه مدل‌سازی سیستم‌های انرژی مرکز مطالعات انرژی بریتانیا (UKERC) انجام شد. پروژه دیگری به سفارش گروه تجارت و صنعت[4] (DTI) و گروه محیط زیست، غذا و امور روستایی[5] (DEFRA) برای فراهم نمودن ورودی تحلیلی ماهوی وایت پیپر ۲۰۰۷ انرژی بریتانیا مکمل این پروژه است (DTI, ۲۰۰۷).

۲. توسعه مدلی جدید برای سیستم‌های انرژی فرآیندی تکراری است و UK MARKAL دائماً بروز رسانی شده و طی چند سال آینده در کاربردهای مختلف اجرا خواهد شد. سیاست فعلی و خروجی‌های آکادمیک این مدل، از جمله توسعه مدل توازن کلی MARKAL–MACRO (M–M) در اشتراکان و همکاران (۲۰۰۸الف، ۲۰۰۸ب) و اشتراکان و کانان (۲۰۰۷، ۲۰۰۸) ارائه شده است. برای مطالعه مقالات بیشتر درباره گسترش‌ها و تحلیل دقیق گذرگاه‌های اصلی انرژی به اشتراکان و همکاران (۲۰۰۷الف) و کانان و اشتراکان (۲۰۰۹) مراجعه کنید.

---

[1] the Natural Environment Research Council

[2] the Engineering and Physical Sciences Research Council

[3] the Economic and Social Research Council

[4] Department of Trade and Industry

[5] Department for Environment Food and Rural Affairs

منابع

DEFRA (2005a), *The Energy Efficiency Innovation Review*, Department for Environment, Food and Rural Affairs and HM Treasury, London, available at: http://www.hm-treasury.gov.uk/d/pbr05_energy_675.pdf (accessed 17 February 2009).

DEFRA (2005b), *UK Carbon Emissions*, Department for Environment, Food and Rural Affairs, London, available at: http://www.defra.gov.uk/environment/statistics/globatmos/index.htm (accessed 17 February 2009).

DfT (2005), *National Transport Model (NTM)*, Department for Transport, London, available at: www.dft.gov.uk/pgr/economics/htm (accessed 17 February 2009).

DTI (2003), *Our Energy Future – Creating a Low Carbon Economy*, Energy White Paper, Department of Trade and Industry, London, February.

DTI (2006a), *Updated Energy Projections* (updated from EP-68), Department of Trade and Industry, London, April.

DTI (2006b), *Updated Energy Projections* (updated from EP-68), Department of Trade and Industry, London, July.

DTI (2006c), *The Energy Challenge*, Energy Review, Department of Trade and Industry, London, July.

DTI (2007), *Meeting the Energy Challenge*, Energy White Paper, Department of Trade and Industry, London, May.

DUKES (2006), *Digest of United Kingdom Energy Statistics*, Department of Trade and Industry, London.

European Commission (2005), *World Energy Technology Outlook – 2050 (WETO–H2)*, DG Research (Energy), available at: http://ec.europa.eu/research/energy/gp/gp_pu/article_1257_en.htm (accessed April 2007).

FES (2003), *Options for a Low Carbon Future – Phase 2*, a report produced for the Department of Trade and Industry, Future Energy Solutions, London.

FES (2006), *UK Energy Review: Transport Sector Projections to 2050*, report to the Department for Transport, Future Energy Solutions, London, June.

HMT (2006), 'The Green Book: appraisal and evaluation in Central Government', The HM Treasury, London, www.hm-treasury.gov.uk/data_greenbook_index.htm (accessed 17 November 2008).

IEA (2006), *Energy Technology Perspectives: Scenarios and Strategies to 2050*, International Energy Agency, Paris.

Kannan, R. and N. Strachan (2009), 'Modelling the UK residential energy sector under long-term decarbonisation scenarios: comparison between energy systems and sectoral modelling approaches', *Applied Energy*, 86(4), 416–28.

Kannan, R., N. Strachan, N. Balta-Ozkan and S. Pye (2007), 'UK MARKAL model documentation', UK Energy Research Centre (UKERC) working paper, available at: http://www.ukerc.ac.uk/ResearchProgrammes/ EnergySystemsandModelling/ESMMARKALDocs08.aspx (accessed 17 February 2007).
Loulou, R., G. Goldstein and K. Noble (2004a), *Documentation for the MARKAL Family of Models: Part I – Standard MARKAL*, Energy Technology Systems Analysis Programme, www.etsap.org/MrKLDoc-I_ StdMARKAL.pdf (accessed 17 February 2009).
Loulou, R., G. Goldstein and K. Noble (2004b), *Documentation for the MARKAL Family of Models: Part II – MARKAL–MACRO*, Energy Technology Systems Analysis Programme, www.etsap.org/MrKLDoc-I_ StdMARKAL.pdf (accessed 17 February 2009).
McDonald, A. and L. Schrattenholzer (2002), 'Learning curves and technology assessment', *International Journal of Technology Management*, 23 (7/8), 718–45.
Pout, C. and F. MacKenzie (2006), *Reducing Carbon Emissions from Commercial and Public Sector Buildings in the UK*, Building Report Establishment (BRE) Client Report for Global Atmosphere Division, DEFRA, www.bre.co.uk.
RCEP (2000), *Energy – The Changing Climate*, Royal Commission on Environmental Pollution, London.
Sustainable Development Commission (SDC) (2006), *The Role of Nuclear Power in a Low Carbon Economy*, Sustainable Development Commission position paper, London, www.sd-commission.org.uk/publications/downloads/SDC NuclearPosition-2006.pdf.
Shorrock L.D., J. Henderson and J.I. Utley (2005), *Reducing Carbon Emissions from the UK Housing Stock*, Building Research Establishment (BRE) Press, Watford, UK.
Smith, D. (2007), 'Comparative cost information – supporting the development of the MARKAL–MACRO model', report to the Ashden Trust, mimeo, Policy Studies Institute, London.
Strachan, N. and R. Kannan (2007), 'Quantifying technological and economic implications of long-term carbon reduction scenarios for the UK', paper presented at the 9th International Association for Energy Economics (IAEE) European Conference, Florence, June.
Strachan, N. and R. Kannan (2008), 'Hybrid modelling of long-term carbon reduction scenarios for the UK', *Energy Economics*, 30 (6), 2947–63.
Strachan, N., N. Balta-Ozkan, R. Kannan, N. Hughes, K. McGeevor and D. Joff e (2007a), *State-of-the-art Modelling of Hydrogen Infrastructure Development for the UK: Geographical, Temporal and Technological Optimisation Modelling*,

Final Report on Modelling Methodology and Modelling Outputs for Department for Transport, London.
Strachan, N., R. Kannan, N. Balta-Ozkan, S. Pye and P. Taylor (2006), *Development of the UK MARKAL Energy Systems Model*, 2nd Interim Report, Report for DTI/DEFRA, London.
Strachan, N., R. Kannan and S. Pye (2008a), *Scenarios and Sensitivities on Long-term UK Carbon Reductions using the UK MARKAL and MARKAL–MACRO Energy System Models*, Research Report, UK Energy Research Centre (UKERC) London, available at: www.ukerc.ac.uk/Downloads/PDF/S/ Scenariosreport.pdf (accessed 17 February 2009).
Strachan, N., S. Pye and N. Hughes (2008b), 'International drivers of a UK evolution to a low carbon society', *Climate Policy*, 8, S17–S29.
Train, K. (1985), 'Discount rates in consumers' energy-related decisions', *Energy: The International Journal*, 10 (12), 1243–53.
WNA (2005), *The New Economics of Nuclear Power*, World Nuclear Association, London.

۱۳ ترکیب رویکرد بالا به پایین و پایین به بالا در مدل‌های اقتصاد انرژی

مارک ژاکارد[1]

۱ مقدمه: طراحی مدل‌های تغییر فناورانه القایی و برآورد پارامترهای مربوطه

بسیاری از دغدغه‌های زیست‌محیطی، از جمله ریسک تغییرات اقلیمیِ ناشی از فعالیت‌های انسانی، اقدامات مربوط به سیاست‌های عمومی را به‌سمت اثرگذاری بر مسیرِ تکامل فناورانه سوق می‌دهد که به آن «تغییر فناورانه القایی» (ITC)[2] می‌گویند. چون تغییر فناورانه، پدیده‌ای بلندمدت است که با رشدِ «سهام سرمایه»[3] جامعه رخ می‌دهد و احیا می‌شود، ماحصلِ احتمالیِ سیاست‌های جایگزین به ناچار نامعلوم است و عدم‌قطعیتِ بیشتری را با خود به آینده منتقل می‌کند. با وجود اینکه تکامل فناورانه آینده و رفتارِ مصرف‌کنندگان و کسب و کارها نامعین است، توجیهی منطقی برای پرهیز از گمانه‌زنی درباره میزانِ پذیرشِ فناوری‌های نوین محسوب نمی‌شود. تصویری خیالی یا دلخواه از آینده، همراه با پیوندهای ضعیف و قابل چشم‌پوشی با مستنداتِ دنیای واقعی، برای سیاستگذاران بی‌فایده خواهد بود و ممکن است به شکل‌گیریِ سیاست‌های ITC منجر شود که یا ناکارآمد هستند یا اینکه پیامدهای ناخواسته‌ای دارند.

پاسخ مطلوبِ مدل‌سازیِ سیاست‌ها به این چالش، دست‌کم، دو بخش خواهد داشت: نخست، مشخصه‌یابیِ خصوصیاتِ لازمِ مدل اقتصاد انرژی به منظور ارزیابیِ سیاست‌های ITC. برخی از این خصوصیات عام هستند. ظرفیتِ آینده فناورانه، میزان پاسخگو بودنِ مصرف‌کنندگان و کسب و کارهای آینده به سیاست‌های گوناگون. همچنین بایستی بازخوردهای مرتبط با اقتصادِ آینده نیز در تمامی مدل‌های ITC مشخصه‌یابی شود. با این حال دیگر خصوصیاتِ مدل‌ها به هدف و چشم‌اندازِ خاصِ سیاستِ مورد نظر وابسته است؛ بنابراین، مدل مربوط به تعیینِ کاهش میزان گسیل گازهای گلخانه‌ای (GHG)[4] برای گروهی از کشورهای واقع در چارچوبِ جهانی، از نظرِ میزان وضوح و ساختار با مدلِ مربوط به ارزیابیِ برنامه سیاسیِ خاصِ کاهش GHG در کشوری معین فرق خواهد داشت.

دومین بخشِ عمده در مدل‌سازی به اشباع کردنِ مدل با داده‌های خاصِ فناوری و پارامترهایی مربوط می‌شود که سیاستگذاران بتوانند براساس آنها به اعتماد به نفس کافی برسند، حتی با وجود اینکه عدم قطعیت

---

[1] Mark Jaccard

[2] induced technological change (ITC)

[3] capital stock

[4] greenhouse gas (GHG)

درباره آینده امری گریزناپذیر است. مدل‌هایی که از لحاظ فناوری، نمایان و صریح هستند نیازمند داده‌های قابل‌اتکا برای فناوری‌های مختلف خواهند بود؛ سهم بازار، هزینه سرمایه، هزینه اجرایی، مصرف انرژی و گسیل آلاینده‌ها. این مدل‌ها و موارد نیز نیازمندِ پارامترهای تجربی و واقع‌بینانه برای شبیه‌سازیِ روندِ تکاملِ فناوری تحت سیاست‌های مختلف هستند. این چالش در مدل‌سازی ITC بسیار بزرگ است. مقادیر و خصوصیاتِ کاری و اجراییِ سهام سرمایه‌های فعلی، کاملاً معلوم نیستند. صرفاً می‌توان هزینه آینده و خصوصیاتِ کاریِ فناوری‌های نوظهور – جدا از نوآوری‌های آینده – را حدس زد، آن هم با کمک و راهنمایی‌های قابل‌اطمینان از سوی کارشناسان. در نهایت اینکه، واکنشِ کسب و کارها و مصرف‌کنندگان به سیاست‌هایی که برای اثرگذاری بر ترجیح‌شان به فناوری‌های نوظهور و نوآوری‌های آینده طراحی شده‌اند به طور تقریبی براساس منابع فعلی قابل برآورد است؛ یکی از این دو شیوه را انتخاب می‌کنیم: یا براساسِ تصمیماتِ بازار که تحت شرایطِ گذشته اتخاذ شده‌اند (ترجیحاتِ آشکارشده) یا براساسِ گزینه‌های فرضیِ بازار که حاصلِ نظرسنجی از عاملانِ اقتصادی درباره ترجیح‌شان بر فناوری تحت سیاست‌های گوناگون و شرایطِ آینده بازار است (ترجیحاتِ بیان‌شده).

مقالات و آثار بسیاری درباره مشخصه‌یابیِ خصوصیاتِ مدل‌ها برای شبیه‌سازیِ سیاست‌های ITC وجود دارد. بسیاری از تحلیلگران به منظور طراحیِ مدل‌های قابل درک و با ثباتِ سیاست‌های اقتصاد انرژی وارد این عرصه شده‌اند. با این حال در مورد دومین بخش، آثار کمتری را شاهد هستیم. در حال حاضر رویه‌های مدل‌سازی بسیاری وجود دارد که در فرآیندهای ملی و بین‌المللی وارد شده‌اند تا اهداف و سیاست‌های حیطه انرژی–محیط زیست را توسعه دهند که اکثر این موارد در تحقیقاتِ تجربی، به روشنی نتوانستند پارامترهای کلیدیِ مدل‌ها را مشخص کنند. غالباً محققِ این آثار، برمبنای ترجیحاتِ بیان‌شده یا آشکارشده در دنیای واقعیِ کسب و کارها و خانوارها، درباره اهمیت و مقدارِ این پارامترها نامطمئن است.

در این فصل هر دو بخشِ مذکور و به ویژه بخش دوم را بررسی خواهیم کرد. ابتدا، خصوصیاتِ ایدئال مدل‌های سیاستِ ITC را ذکر می‌کنیم و پیش از توضیحِ برخی از نوآوری‌های اخیر در حوزه مدل‌سازی که با قصدِ ترکیبِ بهترین ویژگی‌های مدل‌های مرسومِ رقیب مطرح شده‌اند به نقاط ضعف و قوتِ رویکردهای مرسوم اشاره خواهیم کرد. سپس، به طور مفصل در مورد دومین بخش از روند برآورد پارامترها بحث می‌کنیم. به منظور جمع‌بندیِ مطلب، مدل خاص ITC را برآورد می‌کنیم. با آنکه این مدل منحصر به فرد نیست، اما روشِ آن در شبیه‌سازیِ تغییر فناورانه مثالی منسجم از چالشِ دستیابی به قاعده تجربیِ واقع‌بینانه برای برآورد نوعِ واکنشِ مصرف‌کنندگان و کسب و کارها به انواع سیاست‌های ITC در کشوری خاص یا گروهی از کشورها خواهد بود.

۲ خصوصیاتِ ایدئال برای مدل‌های سیاست ITC

گرچه نوآوری‌های اخیرِ مدل‌سازی، تمایز را دشوارتر ساخته است اما مقایسه مدل‌های بالا به پایین و پایین به بالا که رویکردهای اصلیِ جایگزین برای مدل‌سازیِ سیاست‌های ITC برای اهدافِ انرژی–محیط زیست هستند می‌تواند از لحاظ آموزشی و تعلیمی مفید باشد (کارارو[1] و آورکید،[2] ۱۹۹۸). تحلیل پایین به بالا که گه‌گاه مهندسان و فیزیکدانان و حامیانِ محیط زیست از آن استفاده می‌کنند تأثیرِ احتمالیِ ناشی از تغییر در بازده انرژی، سوخت، تجهیزات کنترل آلاینده‌ها و زیرساخت را بر مصرف انرژی و در نتیجه، بر محیط زیست برآورد می‌کند. عموماً فرض بر آن است فناوری‌هایی که همان خدماتِ انرژی را ارائه می‌کنند جایگزین‌های کاملی باشند البته به‌استثنای تفاوت‌هایی که از نظر میزان گسیل آلاینده و هزینه‌های مالیِ قابل‌پیش‌بینی دارند. وقتی با استفاده از نرخ تنزیلِ اجتماعی هزینه‌های مالی‌شان در دوره‌های زمانی مختلف به مقادیرِ امروزی تبدیل می‌شود به نظر می‌رسد بسیاری از فناوری‌های نوظهورِ موجودِ مورد استفاده برای کاهش گسیل آلاینده‌ها مفید و سودآور باشند یا آنکه فقط اندکی نسبت به تجهیزات و بناهای فعلی گران‌تر باشند. این حالت به ویژه زمانی صدق می‌کند که فناوری‌های مقرون به صرفه با گزینه‌های مرسوم‌تر مقایسه شوند. بنابراین، در اغلب موارد، مدل‌های پایین به بالا نشان می‌دهند که اگر قرار باشد این فناوری‌های سازگار با محیط زیست (کم‌گسیل)، بازار را در دست بگیرند، بهبودِ زیست‌محیطیِ حاصل از بازده انرژی می‌تواند سودآور یا کم‌هزینه باشد.

با این حال بسیاری از اقتصاددانان از پیش‌فرضِ این رویکرد انتقاد می‌کنند که صرفاً برآوردی تنها از هزینه‌های مالی نشان دهنده کلِ هزینه اجتماعیِ تغییرِ فناورانه نخواهد بود (سوثرلند،[3] ۱۹۹۱؛ جافی و استاوینس،[4] ۱۹۹٤؛ جافی و همکارانش، ۱۹۹۹). فناوری‌های نوین ریسکِ بیشتری از خود نشان می‌دهند زیرا که برگشت سرمایه و رسیدن به سودآوری در مورد سرمایه‌گذاری در حیطه‌هایی نظیر بازده انرژی طولانی‌تر است. از نظرِ کسب و کارها یا مصرف‌کنندگانی که مخاطبِ اصلیِ فناوری‌ها هستند، برخی از فناوری‌های کم‌هزینه و کم‌گسیل گزینه‌های کاملی به حساب نمی‌آیند. ممکن است مدل‌های پایین به بالا که تا حدی برخی از این هزینه‌ها را در نظر نمی‌گیرند، ناخواسته سیاست‌ها و گزینه‌های فناورانه نادرستی را به سیاستگذاران پیشنهاد دهند. حتی می‌توان گفت که برخی از مدل‌سازانِ پایین به بالا که تصویری ساده‌انگارانه از مصرف‌کنندگان ترسیم

---

[1] Carraro

[2] Hourcade

[3] Sutherland

[4] Jaff - Stavins

می‌کنند و آنها را کاهنده هزینه‌های مالی می‌دانند، ممکن است بیش از سایر اقتصاددانان با دیدگاهِ استفاده از رویکردی «منطقی–اقتصادی–انسانی» در تناسب باشند.

معمولاً اقتصاددانان از گزینه بعدی یعنی تحلیلِ بالا به پایین استفاده می‌کنند که روابطِ انباشتیِ بین هزینه‌های نسبی و سهم بازارِ انرژی و دیگر ورودی‌های اقتصاد را برآورد می‌کند و این موارد را در چارچوبِ تعادلیِ وسیع‌تر، به خروجی‌های اقتصادی و بخشیِ کل، پیوند می‌دهد. انعطاف‌پذیریِ جایگزین‌ها (ESUB)[1] نشان دهنده قابلیتِ تعویض بین هر دو جفت از ورودی‌های انباشتی (سرمایه، کار، انرژی، مواد) بین انواع گوناگون انرژی‌های پایه (زغال‌سنگ، نفت، گاز طبیعی و انرژی‌های تجدیدپذیر) یا انرژی‌های ثانویه (برق، گاز طبیعی فرآوری‌شده، بنزین، گازوئیل، متانول، اتانول، هیدروژن) با توجه به تغییرِ قیمت‌های نسبی‌شان است. یکی دیگر از پارامترهای کلیدی در مدل‌های بالا به پایین، شاخصِ بازده انرژی خودمختارِ (AEEI)[2] است و نرخی را نشان می‌دهد که تکاملِ فناورانه، مستقل از قیمت باعث بهبود بهره‌وریِ انرژی می‌شود. مدل‌های بالا به پایین، در ساده‌ترین شکلِ خود، نشان دهنده اقتصاد برمبنای مجموعه‌ای از چندین معادله همزمان هستند که خروجی‌ها و ورودی‌های اقتصادی را به یکدیگر پیوند می‌دهند (به ویژه انرژی) و پارامترهایشان به طور اقتصادی طبق داده‌های سری‌های زمانی برآورد می‌شوند. به مدلی که تمامی بازخوردهای عمده اقتصاد کلان را در چارچوبِ تعادلیِ کامل پیوند می‌دهد مدلِ تعادلِ عمومیِ قابل محاسبه (CGE)[3] می‌گویند. مقادیر بالای پارامترها در ESUB مرتبط با انرژی (میزان بالای تعویض‌پذیری بین انرژی و سرمایه و بین انواع گوناگون انرژی) حاکی از آن است که تغییر فناورانه برای بهبود زیست‌محیطی می‌تواند با هزینه‌ای نسبتاً کم رخ دهد. اگر این پارامتر را طبق داده‌های گذشته بازار برآورد کنیم (چون قیمت و مصرف انرژی در دوره‌های مختلف زمانی فرق می‌کند) فرض بر آن است که ترجیحِ واقعیِ مصرف‌کنندگان و کسب و کارها آشکار می‌شود. پس از برآوردِ AEEI و ESUB، اقتصاددانان واکنشِ اقتصاد به سیگنال‌های مالی را شبیه‌سازی می‌کنند (مالیات بر گسیل آلاینده، قیمت مجوز گسیل آلاینده) که هزینه نسبیِ فناوری‌های کاهنده گسیل آلاینده و انواع انرژی را افزایش می‌دهد. بزرگیِ سیگنالِ مالیِ لازم برای دستیابی به هدفی معین در کاهش گسیل آلاینده‌ها نشان دهنده هزینه ضمنی/ نامرئی است که شامل هزینه ملموسِ کمتر نسبت به ریسکِ ویژه فناوری‌های نوین، ریسکِ بازپرداختِ طولانی‌مدتِ فناوری‌ها و ترجیحاتِ خاصِ مصرف‌کنندگان و کسب و کارها به خصوصیاتِ یکی از فناوری‌ها، نسبت به سایر رقبا می‌شود.

---

[1]Elasticities of substitution (ESUB)

[2]the autonomous energy efficiency index (AEEI)

[3]computable general equilibrium (CGE)

با این حال تخمینِ آماریِ پارامترهای معنادارِ مدل‌های بالا به پایین طبق تجربه دنیای واقعی، یکی از چالش‌های اصلی در مدل‌های بالا به پایین است. غالباً برای دستیابی به برآوردی مطمئن از پارامترها، تغییرپذیریِ ناکافی در داده‌های تاریخی وجود دارد بنابراین، اکثر مدل‌سازانِ CGE پارامترهای کلیدی ESUB را به طور قضاوتی در مدل‌هایشان وارد می‌کنند (لوشل،[1] ۲۰۰۲). همچنین یکی از انتقادات بر رویکرد بالا به پایین این است که به سیاستگذاران کمک چندانی نمی‌کند. سیاستگذاران طی اعمال تغییراتِ عمده فناورانه برای دستیابی به اهداف زیست–محیطی باید از میزان تأثیرِ سیاست‌های خود بر خصوصیات و هزینه‌های مالیِ فناوری‌های آینده و از احتمالِ اشتیاقِ مصرف‌کنندگان و کسب و کارها برای پذیرش این فناوری‌ها آگاه باشند. اگر پارامترهای حیاتیِ بالا به پایین در ترسیمِ تغییراتِ فناورانه –ESUB و AEEI– طبق داده‌های تاریخی و انباشتی برآورد شوند هیچ تضمینی نیست که این مقادیر تحت سیاست‌های مختلفِ آتی، قیمت‌های مختلف انرژی و گزینه‌های گوناگون فناورانه برای بهبود زیست‌محیطی نیز معتبر بمانند (گروب و همکارانش، ۲۰۰۲؛ دی‌کانیو، ۲۰۰۳؛ لایتنر و همکارانش، ۲۰۰۳). برای مثال تا همین اواخر به منظور طراحی و تجاری‌سازیِ فناوری‌هایی که گسیلِ گازهای گلخانه‌ای‌شان صفر یا نزدیک به صفر باشد انگیزه چندانی وجود نداشت اما امروزه، چنین فناوری‌هایی در حال توسعه در سطح جهان هستند و قابلیت‌های جدیدی را در اختیار بنگاه‌های تجاری و خانوارها می‌گذارند. مقادیر ESUB در آینده ممکن است فرق کند. همچنین ممکن است AEEI روند تکاملی متفاوتی در پیش بگیرد. همچنین قیمت نفت نیز بالاتر از سقف‌های تاریخی‌اش است. با آشکارتر شدنِ جزئیاتِ این فرآیند، ممکن است هزینه برآورد شده GHG کاهش بیابد، اما مدل‌های بالا به پایین نمی‌توانند به سیاستگذاران در ارزیابی این رویه کمک چندانی کنند. با افزایش نگرانی‌ها درباره این مسئله، برخی از مدل‌سازانِ بالا به پایین در حال جست‌وجوی راه‌هایی برای بررسیِ درونیِ تغییراتِ فناورانه هستند اما دوباره به این پرسش بازمی‌گردیم که آیا پایه و اساسِ پارامترهای این مدل‌ها برمبنای تجربیاتِ دنیای واقعی است و اگر پاسخ مثبت باشد، این پارامترها را تا چه میزان می‌توان نشانگرِ مناسبی از رفتارها، تحت قیمت‌ها و شرایطِ سیاسی بسیار متفاوت آینده در نظر گرفت.

یکی دیگر از دشواری‌های رویکردِ بالا به پایین آن است که سیاستگذاران غالباً قابلیتِ پذیرشِ سیاسی را ترجیح می‌دهند (سیاست‌هایی که بر فناوری‌های منفردی متمرکزند که به شکل اعتباراتِ مالیاتی بر فناوری یا ساختمان‌های خاص، یارانه، جریمه‌ها، مقررات و برنامه‌های آگاه‌سازی عرضه شوند). این حالت به ویژه زمانی صدق می‌کند که هزینه گسیلِ آلاینده‌ها باید بالا باشد تا بر هزینه‌های چشمگیرِ بهبودِ زیست‌محیطی غلبه کند که

[1] Loschel

در نتیجه، واکنش‌های غیرقابل‌قبولِ سیاسی را از جانبِ مصرف‌کنندگان و کسب و کارها در پی خواهد داشت. از آنجا که مدل‌های بالا به پایینِ مرسوم نشان دهنده تغییرِ فناورانه به صورت پدیده‌ای انتزاعی و انباشتی است –و براساس مقادیرِ پارامترهای ESUB و AEEI مشخصه‌یابی می‌شود – این رویکرد به سیاستگذاران کمک می‌کند تا فقط ابزارهای سیاستِ اقتصادی نظیر مالیات و مجوزهای قابل معامله را ارزیابی کنند. در سطح ملی و کوچکتر، مدل در صورتی مفیدتر خواهد بود که بتواند اثرِ مرکبِ این سیاست‌های قیمت‌محورِ اقتصادی را همراه با سیاست‌های فناورمحور ارزیابی کند اما این امر مستلزم عرضه آشکارِ فناوری‌هایی است که مدل‌های بالا به پایینِ مرسوم فاقد آن هستند.

از آنجا که این موارد هزینه‌های انتقال و ریسکِ تغییر فناورانه را یکپارچه در نظر می‌گیرند، برآورد هزینه بالا به پایین برای ITC نیز تقریباً همواره بالاتر از برآورد هزینه پایین به بالا است. تحلیلِ هزینه دستیابی به تعهداتِ پروتکلِ کیوتو–آمریکا[1] مثالی مناسب در این زمینه است. پس از امضای پروتکل کیوتو در ۱۹۹۷، دولت آمریکا با کمک پنج آزمایشگاهِ تحقیقاتیِ ملی، مطالعاتی را در مورد هزینه بالقوه تبعیت از تعهداتِ کیوتو آغاز کرد. در این مطالعات از رویکردِ مدل‌سازیِ بالا به پایین استفاده کردند و دریافتند که می‌توان بدون صرف هزینه خالص برای اقتصاد، به کاهش ۳۰٪ در گسیل آلاینده‌های GHG از سطوحِ مختلف و معمولِ کسب و کار رسید (براون و همکارانش، ۱۹۹۸). آنها پیشنهاد کردند که با وضعِ مالیات بر گسیل آلاینده‌های کربنیِ بیشتر از ۲۵/tC و نیز پیگیریِ دیگر سیاست‌ها، می‌توان به این سطح از کاهش دست یافت.

برخلاف این حالت، تحلیل بالا به پایین به برآوردهای متفاوتی از هزینه بالقوه کاهش گسیل آلاینده‌ها در آمریکا رسید. وی‌یانت[2] و هیل[3] (۱۹۹۹) نتایجِ مقایسه چندمدلی از هزینه‌های پایبندی به تعهداتِ پروتکل کیوتو–آمریکا را به طور خلاصه ارائه کردند؛ اکثر مدل‌های این مطالعه از نوعِ CGE (بالا به پایین) بودند. از میان ۱۱ مدلِ شرکت‌کننده، ۸ مورد به این نتیجه رسیدند که برای برآوردنِ تعهداتِ کیوتو، حداقل به مالیاتِ ۱۵۰/tCدلار نیاز است و از میان این مدل‌ها، ٤ مدل نیز دریافتِ مالیاتِ ۲۵۰/tCدلار را ضروری می‌دانستند. بازه اثرگذاری بر تولید ناخالصِ ملی نیز از سطوح متوسط تا زیانِ ۳ درصدی به خروجیِ اقتصادی حکایت می‌کرد.

سیاستگذاران نتایج هر دو نوع مطالعه را مشاهده می‌کردند و به طور قابل درکی سر در گم شده بودند – آنها نمی‌دانستند کدام مطالعه درست است و چه سیاستی را اعمال کنند. از یک سو، مدل‌های مرسومِ پایین به بالا نشان می‌دادند که می‌توان در ازای هزینه‌ای کم به اهداف زیست‌محیطی رسید و پیشنهاد می‌دادند که صرفاً

---

[1]US Kyoto Protocol

[2]Weyant

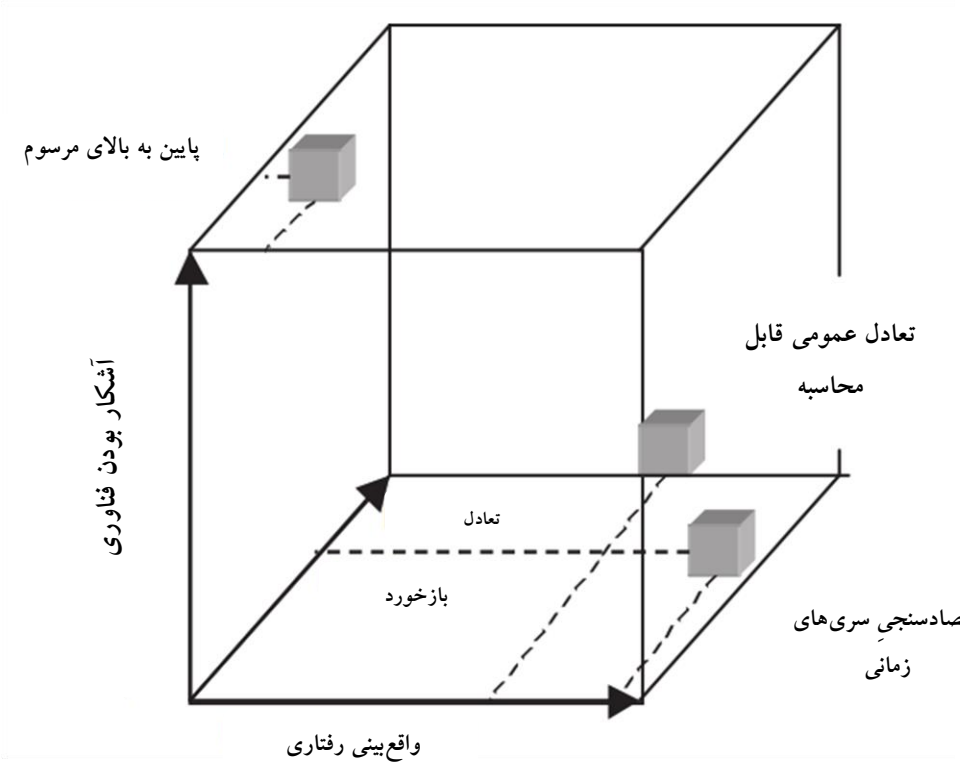
[3] Hill

به سیاست‌های غیر سختگیرانه‌ای نظیر یارانه و برنامه‌های آگاه‌سازی نیاز است. از سوی دیگر، مدل‌های بالا به پایینِ مرسوم نشان می‌دادند که دستیابی به اهداف زیست‌محیطی هزینه‌بر است بنابراین، به سیاست‌های سختگیرانه‌تری نظیر مالیات بر گسیلِ آلاینده، سقف گسیل و مقرراتِ مبادله مجوزهای گسیل یا مقررات مربوط به مصرف سوخت و نوع فناوری نیاز خواهد بود. احتمالاً نتیجه واقعی چیزی بین این دو سرحد است. احتمال آنکه سیاستگذاران از رویکرد مدل‌سازیِ خاصی به اطلاعات قابل اعتمادتری دست یابند بیش از آن است که صرفاً به ترکیبِ عناصرِ اساسیِ این دو رویکردِ مرسوم اکتفا کنند.

به طور ایدئال سیاستگذاران به مدل‌هایی نیاز دارند که بتوانند تأثیر سیاست‌های اقتصادیِ مرتبط با معیارهای فناوری و مصرف سوخت را ارزیابی کنند و مقررات و سیاست‌های بازار را به طور یکجا در نظر بگیرند. چنین مدل‌هایی باید حداقل سه معیار را برآورده سازند: اول: نمایشِ آشکارِ میزانِ ظرفیتِ تغییر فناورانه، دوم: واقع‌بینیِ اقتصاد خُرد از نظر چگونگیِ تصمیم‌گیریِ کسب و کارها و بنگاه‌های تجاری در مورد انتخابِ فناوری‌های آینده و سوم: بازخوردهای اقتصاد کلان در نمایان ساختنِ نحوه اثرگذاریِ تغییرِ هزینه‌های تولید و ترجیحات بر ساختارِ اقتصاد و نرخ رشدِ تولید کل.

مکعبِ شکل ۱۳,۱ عملکردِ رویکردهای مختلف مدل‌سازی را از نظر این سه معیار نشان می‌دهد. مدل‌های مرسوم پایین به بالا از نظر آشکار بودنِ فناورانه عملکرد خوبی دارند اما از نظر دو خصوصیتِ دیگر چندان مطلوب نیستند. مدل‌های مرسوم بالا به پایین از نظر واقع‌بینیِ اقتصاد خُرد عملکرد خوبی دارند (البته اگر پارامترهایشان قاعده تجربیِ واقع‌بینانه‌ای داشته باشند و حدس و گمان نباشند) و در صورتی‌که جزء مدل‌های تعادل عمومی باشند می‌توانند برحسب بازخوردهای اقتصاد کلان نیز عملکرد مطلوبی از خود نشان دهند. با این حال این مدل‌ها فاقد آشکار بودنِ فناورانه هستند و در نتیجه برای ارزیابیِ بازه کاملِ سیاست‌هایی که سیاستگذاران می‌خواهند در نظر بگیرند ناکارآمد خواهند بود.

همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌کنید یکی از مدل‌های ایدئالِ سیاست فناوری در گوشه عقب بالا سمت راستِ مکعب قرار می‌گیرد. از منظر فناوری، آشکار است و در بردارنده ارزیابیِ مربوط به نحوه ارتقای تجاری‌سازی و نفوذِ فناوری و اثرگذاریِ آنها بر هزینه‌های مالیِ اکتسابِ فناوری‌های نوین در آینده است.



شکل ۱۳,۱ معیارهای مقایسه مدل‌های اقتصاد انرژی

منبع: ژآکارد و همکارانش (۲۰۰۳)

از نظر رفتاری، واقع‌بینانه است و شامل ارزیابیِ نحوه اثرگذاریِ افزایشِ سهم بازار، به واسطه سیاست‌ها، بر هزینه‌های غیرملموسِ اکتسابِ فناوری‌های جدید در آینده است. همچنین بازخوردهای تعادلی دارد و عرضه و تقاضای انرژی و هر دو مورد را همراه با تغییر ساختاری و تولید کل اقتصادی به یکدیگر پیوند می‌دهد. این بُعدِ تعادلی می‌تواند در مواردی شامل بازخوردی بین کشورها باشد که چالش زیست‌محیطی، اقدامی جهانی را مجاب سازد؛ مثلاً، کاهش GHG.

مدل‌سازان به چنین مدلِ ایدئالی مدلِ «مرکب»[1] یا «بالا به پایین/ پایین به بالا»[2] می‌گویند که ویژگی‌های کلیدیِ هر دو مدلِ بالا به پایین و پایین به بالا را شامل می‌شود. معمولاً اقدامات مربوط به مدل‌سازیِ مرکب در بردارنده وارد کردنِ جزئیاتِ فناورانه در چارچوبِ بالا به پایین (بوهرینگر،[3] ۱۹۹۸؛ ژآکوبسن،[4] ۱۹۹۸؛ کوپمانز[5]

[1]hybrid

[2]top-down/bottom-up

[3]Bohringer

[4]Jacobsen

[5]Koopmans

و تی‌ولدی،[1] ۲۰۰۱؛ فری[2] و همکارانش، ۲۰۰۳) یا دخیل نمودنِ واقع‌بینیِ رفتاری و یا بازخوردهای اقتصاد کلان در چارچوب پایین به بالا است (ژآکارد[3] و همکارانش، ۱۹۹۶؛ نیستروم[4] و وین،[5] ۱۹۹۹؛ سنس‌تاد[6] و همکارانش، ۲۰۰۱؛ موریس[7] و همکارانش، ۲۰۰۲؛ باتایلی[8] و همکارانش، ۲۰۰۶). هورکاد[9] و همکارانش (۲۰۰۶) مروری بر اقدامات اخیر در حیطه مدل‌سازیِ مرکب انجام داده‌اند.

طی دهه گذشته پیشرفت‌های چشمگیری از لحاظ توسعه رویکردهای مدل‌سازیِ مرکب صورت گرفته است. به طور روزافزون، چنین مدل‌هایی که در ارزیابیِ سیاست‌ها و القای تغییراتِ فناورانه به کار می‌روند، دست‌کم دارای میزانی آشکار بودن، واقع‌بینیِ رفتاریِ اقتصادِ خُرد و بازخوردهای اقتصاد کلان هستند.

از نظر آشکار بودنِ فناورانه، مدل‌های مرکب باید در بردارنده چندین دسته اطلاعات حیاتی باشند. آنها باید هزینه و ظرفیتِ فیزیکیِ فناوری‌های عمده با گسیلِ صفر و گزینه‌های مختلفِ مربوط به منابع انرژی را نشان دهند. در مورد گزینه‌های مرتبط با کاهش GHG -که اقدامی چند ده‌ساله است- این اقدام شامل توسعه نسل بعدیِ فناوری‌های انرژی هسته‌ای، فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر که به روش‌های ذخیره‌سازیِ انرژی در جهت جلوگیری از قطعی‌های متناوب مربوط می‌شود و فناوری‌های تبدیلِ سوخت‌های فسیلی خواهد بود که با جمع‌آوریِ کربن و ذخیره‌سازی آن در ارتباط است. همچنین این مدل‌ها باید نشان دهند که چگونه هزینه فناوریِ جدید با افزایشِ تولید و نرخ نفوذ کاهش پیدا می‌کند. مدل‌سازانِ فناوری به «منحنیِ یادگیری»[10] یا «منحنی تجربه»[11] اشاره می‌کنند؛ توابعی غیرخطی که روندِ کاهش هزینه‌های کاری و سرمایه‌ای را نشان می‌دهند، به ویژه در مراحلِ ابتداییِ توسعه فناوری و نفوذ در بازار.

یکی دیگر از خصوصیاتِ مهمِ فناوری «روند AEEI» است. این روند نشان می‌دهد که شدتِ انرژی، احتمالاً در نبودِ سیاست‌های اقلیمی، چطور تغییر خواهد کرد. اگر سیاستگذاران به این روند اعتماد نداشته باشند

---

[1] te Velde
[2] Frei
[3] Jaccard
[4] Nystrom
[5] Wene
[6] Sanstad
[7] Morris
[8] Bataille
[9] Hourcade
[10] learning curves
[11] experience curves

از اثرگذاریِ سیاست‌های خود بر سطوح شدتِ انرژی در اقتصاد نامطمئن خواهند بود –با این فرض که کاهش شدتِ انرژی یکی از اهداف سیاستگذاری است.

برحسب واقع‌بینیِ رفتاری، مدل‌های مرکب باید در بردارنده عواملِ کلیدیِ تأثیرگذار بر انتخابِ نوعِ فناوری و سوخت از سوی مصرف‌کنندگان و کسب و کارها باشند. ممکن است دو فناوری، در ظاهر، خدماتِ یکسانی را ارائه کنند؛ مثلاً عددِ «لومن»[1] از یک نوع لامپ، اما احتمالاً ریسک خرابیِ زودهنگامِ لامپ جدید بیشتر باشد و لامپی گران‌قیمت نیز ریسک دارد چون دوره بازپرداختِ سرمایه‌گذاریِ اضافی در بخشِ بازده طولانی است. همچنین ممکن است لامپِ جدید به سبب شکل، رنگِ نور، امکان استفاده‌اش در دیگر ادوات (نظیر کلید برقِ دیمر[2]) یا زمان لازم برای رسیدن به حداکثر شدتش، گزینه کاملی برای جانشینیِ لامپ فعلی نباشد. مدل‌های مرکب می‌توانند با دارا بودنِ پارامترهای مربوط به ترجیح زمانی و هزینه‌های ناملموسِ مرتبط با ریسکِ تفاضلی بین فناوری و ترجیحِ مصرف‌کننده، این عوامل را در خود جای دهند. به منظور نمایش ناهمگنیِ موجود در بازار، این مدل‌ها باید هزینه‌های مختلفی را در نظر بگیرند که مصرف‌کنندگان به سبب تنوعِ ترجیحات‌شان با آن مواجه می‌شوند.

در نهایت اینکه، برحسب بازخوردهای اقتصاد کلان، شاید لازم باشد که مدل‌های مرکب اثراتِ ساختاری و خروجیِ سیاست‌های ITC را زیر نظر بگیرند. با این حال، این ضرورت به شدتِ سیاست‌هایی بستگی دارد که در حال پیگیری هستید. اکثر سیاستگذاران برای استفاده از سیاست‌هایی که باعث افزایش معنادارِ قیمت‌ها در حیطه‌های قضایی‌شان می‌شود تمایل چندانی ندارند در حالی که دیگر حیطه‌های قضایی در عمل شکست می‌خورند و برای آن بخش‌های اقتصادی که به رقابتِ خارجی آسیب‌پذیرند سیاست‌های معافیتی در نظر خواهند گرفت. به این ترتیب در کشورهای اروپایی سیاستِ مالیات بر گسیل آلاینده تا حدی از صنایعِ آسیب‌پذیرتر محافظت کرده است. در چنین مواردی بعید است پیامدهای اقتصادِ کلان چندان چشمگیر باشد. با این حال دولت‌ها تحت فشار هستند تا به افرادِ شکاک ثابت کنند که سیاست‌های معتدلِ سازگار با محیط زیستِ اولیه آنها تأثیری معکوس بر صنایعی خاص نخواهد داشت. پس همین دلیل به تنهایی کافی است تا بازخوردهای اقتصاد کلان را در مدل مرکب وارد کنیم. در مورد گسیل GHG، خروجیِ محتمل‌تر، به کارگیریِ تقریباً همزمانِ سیاست‌های کنترل گسیل آلاینده‌ها از سوی بسیاری از کشورها است. مجدداً یادآوری می‌کنیم که دولت‌ها بایستی ثابت کنند در برآورد پیامدهای اقتصادیِ اقداماتِ چندملیتی در جهت کاهش چشمگیرِ گسیل GHG در بازه زمانیِ طولانی، در سطح نسبتاً مجزای صنعتی در کشور خود تمام تلاش‌شان را به کار گرفته‌اند.

---

[1] lumens

[2] dimmer switches

امروزه، توافق نسبتاً گسترده‌ای در مورد اهمیتِ این خصوصیات در مدل‌های ایدئال وجود دارد. از یک جهت، طی دهه گذشته شاهدِ توسعه چندین مدلِ مرکب برای ارزیابیِ سیاست‌های ITC بودیم. با این حال این پیشرفت در طراحیِ مدل، به اندازه پیشرفت در توسعه پایه و اساسِ تجربی برای این مدل‌ها نبوده است. در حقیقت با پیچیده‌تر شدنِ مدل‌ها، وظیفه برآوردِ تجربیِ مقادیر پارامترها نیز به طور فزاینده‌ای دشوار می‌شود.

ژاکارد و همکارانش (۲۰۰۳) و باتایلی و همکارانش (۲۰۰۶) ابزارهای برآوردِ تجربیِ پارامترهای مدل مرکب را به گونه‌ای تعیین کرده‌اند که سیاستگذاران بتوانند پایه و اساسِ این پارامترها را تا حدی درک کنند و با میزانِ عدم قطعیتِ آنها آشنا شوند و بدانند که این عدم قطعیت چه اهمیتی در پیش‌بینیِ تأثیرِ احتمالیِ یک سیاستِ خاص یا چندین سیاست دارد. در بخش بعدی، این رویکردِ خاصِ مدل‌سازی را به طور مختصر تشریح می‌کنیم تا بدین صورت، برخی از جزئیاتِ اقداماتِ تجربی در جهت برآورد پارامترهای کلیدی را تبیین کنیم.

۳ اقدامات مربوط به برآورد تجربیِ پارامترهای مدل مرکب سیاست ITC اقتصاد انرژی

طراحی مدل

مدل مرکب که به آن CIMS می‌گویند، مدلِ یکپارچه اقتصاد–انرژیِ تعادلی است که تعاملِ عرضه و تقاضای انرژی و عملکردِ اقتصاد کلانِ بخش‌های کلیدیِ اقتصاد و همچنین اثرات تجاری را شبیه‌سازی می‌کند[۱]. با این حال برخلافِ اکثر مدل‌های CGE، نسخه فعلیِ CIMS بین بودجه دولتی و بازارها از نظر اشتغال و سرمایه‌گذاری تعادل ایجاد نمی‌کند. همچنین بازنمودی که از ورودی‌ها و خروجی‌های اقتصاد دارد عمدتاً به سمتِ فعالیت‌های مرتبط با عرضه انرژی، صنایعِ انرژی‌محور و مواردِ مصرفِ کلیدیِ انرژی در بخش خانگی، تجاری/ سازمانی و حمل و نقل تمایل دارد.

مدل CIMS روند تکاملِ سهام سرمایه را در دوره‌های زمانیِ از گردش خارج شدن، بازجورسازی[1] و خریدهای جدید شبیه‌سازی می‌کند که این مواقع، مصرف‌کنندگان و کسب و کارها، اکتساباتِ پی‌درپی را با آینده‌نگریِ محدودی انجام می‌دهند (ژاکارد و همکارانش، ۲۰۰۳). این مدل، هزینه انرژی و میزان گسیل آلاینده‌ها را در هر «گره تقاضای خدماتِ انرژی» در اقتصاد محاسبه می‌کند (مثلاً سطح بنا و فضای اشکوبِ تجاریِ پرسود یا میزان مسافت طی شده برحسب کیلومتر به ازای هر نفر). در هر بازه زمانی سهام سرمایه طبق تابعِ وابسته به عُمر از گردش خارج می‌شود (گرچه بازجورسازیِ سهام‌های خارج نشده فقط در صورتی ممکن است که به واسطه شرایط متغیرِ اقتصادی تضمین‌شده باشد) همچنین، تقاضا برای سهام جدید بسته به

[1] retrofits

پیش‌بینی‌های برون‌زا و مستقل درباره خروجیِ اقتصادی/ تولید اقتصادی رشد یا نزول می‌کند و سپس تأثیرِ متقابلِ عرضه و تقاضای انرژی را در قالبِ اقتصاد کلان در نظر می‌گیرد. مدل شبیه‌سازی، بین عرضه و تقاضای انرژی و قالبِ اقتصاد کلان رفت‌وآمد مکرر دارد تا آنکه تغییراتِ قیمتِ انرژی به زیرِ مقدارِ آستانه مشخصی افول کند. این روندِ همگرایی در هر دوره پنج‌ساله تکمیل فرآیند، تکرار می‌شود که معمولاً به مدت ۳۰ تا ۵۰ سال ادامه می‌یابد، اما می‌تواند به صورت نامحدود نیز انجام شود.

مدل CIMS رقابتِ فناوری‌ها را در هر گره خدمات انرژی در اقتصاد، بر مبنای مقایسه هزینه چرخه عمرشان (LCC)[1] شبیه‌سازی می‌کند که چند کنترلِ خاص فناوری نظیر حد بیشینه سهمِ بازار در آن وساطت می‌کند (مواردی که فناوری به واسطه ابزارهای فیزیکی، دلایل فنی یا مقرراتی با محدودیت‌هایی در روند تسخیرِ کل بازار مواجه است). در مدلِ CIMS به جای آنکه شبیه‌سازیِ انواع فناوری صرفاً بر مبنای هزینه‌های مالی و نرخ‌های تنزیل اجتماعی صورت بگیرد، از فرمولی برای LCC استفاده می‌شود که امکانِ واگرایی از تحلیلِ پایین به بالای رایج فراهم می‌شود و هزینه‌های ناملموسی در فرآیند دخیل می‌گردد که بازتابی از ترجیحاتِ آشکار و اعلام‌شده مصرف‌کنندگان و کسب و کارها با توجه به دوره‌های زمانی و فناوری‌های خاص است. معادله ۱۳,۱ نحوه شبیه‌سازی CIMS سهم بازار فناوری را برای سهام سرمایه جدید نشان می‌دهد:

$$MS_j = \frac{\left[CC_j^* \frac{r}{1-(1+r)^{-n_j}} + MC_j + EC_j + i_j \right]^{-v}}{\sum_{k=1}^{K} \left\{ \left[CC_k^* \frac{r}{1-(1+r)^{-n_k}} + MC_k + EC_k + i_k \right]^{-v} \right\}}, \qquad (۱۳,۱)$$

در اینجا، MSj سهم بازارِ فناوریِ j، CCj هزینه سرمایه، MCj هزینه کاری و نگهداشت، nj میانگین طول عمر فناوری، ECj هزینه انرژی -که به قیمت انرژی و مصرف انرژی در هر واحدِ خروجیِ خدمات‌رسانِ انرژی وابسته است- برای تولید یک تُن فولاد، گرمایشِ یک متر مربع منزل مسکونی، حمل و نقل افراد یا یک تُن محموله به مسافت یک کیلومتر است. پارامتر r نشان دهنده میانگینِ وزن‌دارِ ترجیح زمانیِ تصمیم‌گیرندگان برای تقاضای مشخصی از خدمات انرژی است؛ این پارامتر برای تمامی فناوری‌های رقیب در تأمین خدمات مشخصِ انرژی یکسان است اما ممکن است براساس شواهدِ تجربی، بین خدمات مختلف انرژی فرق داشته باشد. پارامتر i_j نشان دهنده تمامی هزینه‌های ناملموس و منافعی است که مصرف‌کننده و کسب و کار به ازای فناوری j دریافت می‌کند و با دیگر فناوری‌ها (k) در گره خدمات انرژی معین مقایسه می‌شود و اینکه علاوه بر

[1] life-cycle cost (LCC)

مقادیر هزینه مالی ساده مورد استفاده در اکثرِ تحلیل‌های پایین به بالا است. برای مثال حمل و نقل عمومی و خودروهای تک‌سرنشین در بخشِ خدماتِ جابه جایی افراد با یکدیگر رقابت می‌کنند. شواهد تجربی حاکی از آن است که برخی از مصرف‌کنندگان هزینه ناملموس و غیرمالی در حمل و نقل عمومی در نظر می‌گیرند که نشان دهنده ادراک آنها از میزانِ راحتیِ کمتر، وضعیتِ نامطلوب‌تر و آسایشِ کمترِ سامانه حمل و نقل عمومی نسبت به خودروهای شخصی است. این هزینه‌ها در CIMS با استفاده از پارامتر i_j گردآوری می‌شوند.

پارامتر v نشان دهنده همگنی در بازار است در حالی که مصرف‌کنندگان و کسب و کارهای مختلف با LCC متنوعی مواجه هستند که شاید نتیجه ترجیحاتِ واگرا و متفاوت بودنِ هزینه‌های واقعیِ مالی برای مشتریان مختلف باشد. این پارامتر شکلِ تابعِ توانِ معکوس را مشخص می‌کند که سهم بازار را به فناوری j تخصیص می‌دهد. زیاد بودن مقدار v به این معنا است که فناوری با LCC کمتری می‌تواند تقریباً تمامی سهم بازار را تصاحب کند. مقدار پایین v به معنای آن است که سهم بازارِ تجهیزات جدید نسبتاً به طور یکنواخت توزیع شده است، حتی اگر LCC آنها تفاوتِ معناداری داشته باشند. به ازای $v=10$، اگر فناوریِ A ۱۵٪ گران‌تر از B شود آنگاه B ۸۵٪ از بازار را تصاحب می‌کند. به ازای $v=1$، اگر فناوری A ۱۵٪ گران‌تر از B شود، آنگاه B فقط ۵۵٪ بازار را تصاحب می‌کند. دومین مورد بر بازاری ناهمگن‌تر دلالت دارد و اولین مورد به بازارِ همگن‌تری اشاره می‌کند. مدلِ بهینه‌سازیِ پایین به بالای رایج بدون قید و محدودیت برای سهم بازار، در صورتی کار خواهد کرد که $v=\infty$ و متناظر با تابعِ پله‌ای باشد که طبق آن ارزان‌ترین فناوری می‌تواند ۱۰۰٪ بازار را تصاحب کند؛ بازاری کاملاً همگن.

به این ترتیب از لحاظ فناوری، CIMS رفتارِ آشکار و اقتصاد خُرد را در ترسیمِ روندِ گزینشِ فناوری‌ها از سوی کسب و کار و مصرف‌کننده دخیل می‌کند. همچنین به بازخوردهای عمده نیز توجه می‌کند گرچه نه به اندازه مدل‌های CGE. مدل CIMS به سمت گوشه بالا سمت راستِ تصویر ۱۳,۱ تمایل دارد البته همچنان از گوشه مورد نظر فاصله قابل توجهی دارد. این مطلب نشان می‌دهد که در حالتِ ایدئال، این مدل می‌تواند برای تصمیم‌گیرندگان طی پیگیریِ ITC مفید و کارساز باشد. با این حال مفید بودنِ مدل/ مطلوبیت مدل[1] مذکور به این بستگی دارد که آیا پارامترهایش بنیاد تجربی معناداری دارند یا خیر.

اکثر پارامترهای کلیدی در مدل CIMS در معادله ۱۳,۱ مشاهده می‌شود و می‌توان آنها را طبق رفتار و فناوری دسته‌بندی کرد. در بخش‌های زیر، روندِ برآوردِ این پارامترهای رفتاری و فناورانه را تشریح می‌کنیم.

[1] utility

برآورد پارامترهای فناورانه

سازندگانِ تجهیزات، نشریاتِ تجاری، بازاریاب‌ها، وزارتخانه‌های دولتی و نهادهای بین‌المللی اطلاعاتی درباره هزینه سرمایه (CC) و مشخصه‌های عملکرد (MC و EC) بسیاری از فناوری‌های مصرف‌کننده و تولیدکننده انرژی ارائه می‌کنند. معمولاً نوساناتِ زیادی در این برآوردها مشاهده نمی‌شود که نشان می‌دهد سیاستگذاران می‌توانند به مقادیر ارائه شده برای فناوری‌های رقیب در آینده نزدیک اعتماد کنند و بدین صورت تقاضا برای سهام سرمایه جدید را رفع نمایند.

با وجود این، اعتماد کمی در سهم بازار و مشخصه‌های عملکردِ تجهیزاتِ سرمایه‌ایِ نصب‌شده فعلی وجود دارد. هرچقدر مدت بیشتری از زمان نصب و خدمات‌رسانیِ این تجهیزات و بناها گذشته باشد احتمال آنکه مشخصه‌های عملکردشان (بازده، هزینه کاری) نسبت به زمان اولیه نصب تغییر کرده باشد بالاتر خواهد بود. همچنین هرچقدر تجهیزاتِ سرمایه‌ایِ فراوان‌تر و ارزان‌تر باشند احتمال دسترسی به داده‌های قابل‌اعتماد درباره نفوذِ فعلیِ بازار کمتر خواهد بود. برای مثال در بخش مسکونی، اطلاعاتِ مربوط به سهام سرمایه فعلی و مشخصه‌های عملکردِ لامپ‌های فلورسنتِ فشرده نصب‌شده ناقص است. با آنکه داده‌های فروشِ این لامپ‌ها موجود است اما زمانی‌که عواملِ نامشخصی نظیر نرخِ خرابیِ تصادفی، نرخِ خرابیِ زودهنگام، تعداد دفعاتِ استفاده و مواردِ نصب نشده (لامپی که در کشوی میز رها شده است) را در نظر می‌گیریم، اطلاعات اندکی درباره طول عمر کاریِ آنها وجود دارد.

تحقیقات و نظرسنجی‌هایی که بر تجهیزات صنعتیِ بزرگتر متمرکزند (تجهیزاتِ اصلیِ فرآیند، بویلرها، موتورها) قابل‌اعتمادتر هستند. این مطلب به ویژه در مورد سهام سرمایه تولید، تبدیل و توزیع انرژی صحت دارد، چون این فناوری‌ها غالباً تحت کنترلِ شرکت‌های بزرگ انرژی هستند و در بخشِ برق و گازِ طبیعی، این شرکت‌ها ملزم به ارائه اطلاعاتی دقیق درباره ادواتِ تأسیسات و اطلاعات فراوانی در مورد حوزه عمومی هستند.

با تداومِ دوره زمانیِ منافعِ سیاستی خاص در آینده، مدل‌هایی که به طور آشکار فناوری را رصد می‌کنند – مدل‌های پایین به بالا و مرکب– با چالش‌های دیگری مواجه می‌شوند که ناشی از تشدیدِ ابهاماتِ مختلف است. یکی از این چالش‌ها پیش‌بینیِ جهت و شکلِ نوآوری و تجاری‌سازیِ محصول یا فناوری‌های جدید است. برخی از پژوهشگران، تحقیقات و تحلیل‌های خود را بر ظرفیتِ بازده انرژی از طریق فناوری‌ها و بهبودهای جدیدِ تجهیزاتِ سرمایه‌ایِ فعلی متمرکز می‌کنند (وورل و همکارانش،[1] ۲۰۰٤). با آنکه این نوع تحلیل و

[1]Worrell

مدل‌سازی قادر است اطلاعات مفیدی را در اختیار سیاستگذاران قرار دهد، اما اگر به ارزیابیِ فناوری‌های نوظهوری که به افزایشِ مصرف انرژی منجر می‌شوند توجه نکند، ممکن است باعث گمراهی مسئولان شود. برای مثال در حوزه حمل ونقل، این اقدام مانند ماجرای ارزیابیِ ظرفیتِ خودروها در ۱۹۸۵ براساسِ اندازه‌شان برای کارآمدتر شدن است (خودروهای کوچک، سواری، ون، اسپورت) که بدون توجه و پیش‌بینیِ گرایش مصرف‌کننده از خودروهای کوچک به بزرگتر و از قدرتِ کمتر موتور به قدرتِ بیشتر (برحسب اسب‌بخار) انجام شد. در بخش مسکونی، این امر مانندِ ارزیابیِ ظرفیتِ دستیابی به بازده بالاتر در یخچال‌ها، اجاق‌گازها و دیگر لوازم خانگی بدون پیش‌بینیِ توسعه سریع در کشورهای ثروتمند است که خواهان استفاده از فناوری‌های جدیدِ مصرف‌کننده انرژی هستند. برای مثال اسپای خانگی، هیترهای حیاط خلوت، نورپردازیِ تزئینی، خنک‌کننده نوشیدنی‌ها، تجهیزاتِ ارتباطی و کاری در منازل و شومینه‌های گازیِ تزئینی. از منظر فناوری اگر قرار باشد مدل‌های آشکار به سیاستگذاران کمک کنند تا تأثیر سیاست‌ها را بر القای تغییر فناورانه درک کنند، بایستی روندها در نوآوری را نیز در نظر بگیرند که ممکن است در مقابلِ تحقیقاتِ آنها قرار بگیرد.

در آخر، یکی دیگر از مسائل به تکاملِ بلند مدتِ هزینه فناوری‌های جدید و نوظهور مربوط می‌شود. تمام انواع فناوری‌های جدید (کم و بیش انرژی‌محور)، زمانی از کاهش هزینه برخوردار می‌شوند که بنگاه تجاری در حوزه ساخت و تولید و راه‌اندازیِ فناوری‌ها تجربه کسب کند. از جمله علت‌های ویژه رخدادِ این حالت می‌توان به اقتصاد مقیاس‌ها و اقتصاد یادگیری در تولید، نصب و راه‌اندازی با فناوری‌ها اشاره کرد. مدل CIMS دارای تابع نزولی هزینه سرمایه است که هزینه مالی فناوری در دوره‌های زمانیِ آتی را به تولید انباشتی/ تجمعی پیوند می‌دهد (که در معادله ۱۳,۲ مشاهده می‌کنید). در این فرمول‌بندی –که گاهی اوقات به آن منحنی یادگیری می‌گویند، C(t) هزینه مالیِ فناوری در زمانِ t، N(t) تولید انباشتیِ فناوری در زمان t و PR نسبتِ پیشرفت است که به صورت درصدِ کاهش برحسب هزینه مرتبط با دو برابر شدنِ تولیدِ انباشتیِ فناوریِ مورد نظر تعریف می‌شود:

$$C(t) = C(0)\left[\frac{N(t)}{N(0)}\right]^{\log_2(PR)}. \qquad (۱۳,۲)$$

اقدامات فراوانی به منظور برآورد منحنی‌های یادگیری از تجربه بازاریِ انواع فناوری صورت گرفته است. محققان درباره این رابطه برای فناوری‌های انرژی‌محور به شواهدی تجربی دست یافته‌اند که مقادیر PR در آنها به طور معمول از ۷۵ تا ۹۵ درصد است که به بلوغ فناوری و مشخصه‌های ویژه‌ای نظیر مقیاس، پیمانه‌ای بودن،[۱] حد ترمودینامیکی و نیاز به مواد ویژه بستگی دارد (آرگوت[۲] و اپیل،[۱] ۱۹۹۰؛ نیجی،[۲] ۱۹۹۷؛ مک‌دونالد[۳]

[1]modularity

[2]Argote

و شراتن‌هولزر،[4] ۲۰۰۱). این تحقیق پایه و اساسی برای اکثر مقادیر پارامترهای فناوری در CIMS محسوب می‌شود البته با این فرض که فناوری‌های انرژی‌محورِ موجود در بازارِ جهانی در تمام حوزه‌های قضایی عملکردی یکسان دارند.

برآورد پارامترهای رفتاری برای مصرف‌کنندگان و کسب و کارها

برآورد پارامترهای رفتاری چالش‌برانگیزتر است. در کاربردهای قبلیِ CIMS، سه پارامتر کلیدیِ رفتاری در معادله ۱۳,۱ (i، r و v) را از طریق ترکیب مرور مقالات، قضاوت و فراتحلیل برآورد کردیم. با این حال معمولاً مقالات موجود برآوردهای مجزایی برای این سه پارامتر ارائه می‌کنند و غالباً از نرخ تنزیل برای محاسبه چندین عامل نظیر ترجیح زمانی و ریسک‌گریزی در مورد فناوری‌های نوین بهره می‌برند. این حالت مشکلاتی را برای پیش‌بینیِ هزینه و تأثیرِ سیاست‌هایی به دنبال دارد که فقط به دنبال اثرگذاری بر یکی از این عوامل هستند.

اقداماتِ اخیر به منظور برآورد این سه پارامترِ رفتاری، شامل استفاده از تحقیق انتخاب گسسته[5] برای تخمین مدل‌هایی می‌شود که می‌توان پارامترشان را در قالب پارامترهای i، r و v در CIMS ترانهاده[6] کرد (ریورز و ژاکارد، ۲۰۰۵). می‌توان داده‌های مورد نیاز برای مدل انتخاب گسسته را از ترجیحاتِ آشکارشده در مراوداتِ واقعیِ بازار یا از ترجیحاتِ ذکرشده در تحقیقِ انتخابِ گسسته به دست آورد. در حالت دوم به نمونه‌ای از مصرف‌کنندگان یا مدیرانِ کسب و کار، تعدادی از گزینه‌های فرضی را ارائه می‌کنیم و از آنها می‌خواهیم تا گزینه‌ای را انتخاب کنند که بیش از همه ترجیح می‌دهند.

مدل CIMS از بیش از ۱۰۰۰ فناوریِ رقیب برای کسب سهم بازار در صدها گره موجود در سراسر اقتصاد تشکیل می‌شود. گردآوریِ اطلاعات در مورد مصرف‌کننده و انتخابِ بنگاه‌های تجاری در هر کدام از این گره‌ها امری غیر ممکن است، بنابراین، تحقیقِ انتخابِ گسسته عمدتاً بر چندین گره حیاتی برای سیاست‌ها متمرکز می‌شود تا بر نوع انتخابِ فناوری‌های انرژی‌محور در بخش عرضه انرژی، مسکونی، حمل و نقل و صنعتی اثر بگذارد. از شواهد حاصل از این تحقیق برای انتخابِ آگاهانه پارامترها در دیگر گره‌های تصمیم‌گیری استفاده می‌شود.

---

[1]Epple

[2]Neij

[3]McDonald

[4]Schrattenholzer

[5]discrete choice surveys

[6]transposed

در کاربردهای اخیرِ تحقیق انتخابِ گسسته برای برآوردِ پارامترهای CIMS، از نتایجِ نظرسنجی‌های صورت گرفته درباره ترجیحاتِ ذکرشده استفاده شده است. این انتخاب چندین دلیل دارد؛ اول آنکه متغیرهای توضیحی در داده‌های ترجیحِ آشکارشده، غالباً به شدت هم‌خط/همراستا هستند و تغییرپذیریِ کمی در بازار از خود نشان می‌دهند که در واقع ممکن است برآورد مدل بر مبنای این نوع داده‌ها را دشوار سازد. دوم اینکه ممکن است داده‌های ترجیحِ آشکارشده در تحلیلِ اثرِ سیاست‌های طراحی شده به منظور حرکت دادنِ نظامِ اقتصادی به فراتر از بافتِ فعلی فناورانه‌اش از امکان‌پذیری کمتری برخوردار باشد. تحلیلگر، آزمایشِ ترجیحاتِ ذکرشده را طراحی می‌کند و بدین صورت مانعِ بروزِ اکثر این مشکلات می‌شود.

با این حال ممکن است داده‌های ترجیحِ ذکرشده دچار سوگیری باشند زیرا طی پاسخگویی به نظرسنجی، مصرف‌کننده با قیودِ اطلاعاتی و بودجه‌ایِ دنیای واقعی مواجه نیست. همچنین اگر مصرف‌کننده هدف از نظرسنجی را به خوبی درک نکند یا به طور استراتژیک به آن پاسخ دهد، ممکن است سوگیری ایجاد شود (لوویر[1] و همکارانش، ۲۰۰۰؛ ترین،[2] ۲۰۰۲). برای مثال در مقایسه با دنیای واقعی غالباً مصرف‌کنندگان طی نظرسنجی درباره ترجیحاتِ ذکرشده، تمایل بیشتری از خود به فناوری‌های کم مصرف نظیر خودروهای کم مصرف و پربازده نشان می‌دهند (اوربان[3] و همکارانش، ۱۹۹۶). در نتیجه با آنکه ممکن است در جایی که فناوری‌های بسیار نوین ظهور پیدا می‌کند تحقیق درباره ترجیحاتِ ذکرشده همچنان شیوه غالب در برآورد پارامترها باشد اما همچنان علاقه‌ای خاص به ترکیبِ این شیوه با تحقیق درباره ترجیحِ آشکارشده، در هر جایی که امکان داشته باشد، وجود دارد (ترین و آثرتون،[4] ۱۹۹۵).

مدل انتخابِ گسسته مورد استفاده برای برآورد پارامترها در CIMS از نوع توابعِ کاربردی/توابع مفیدِ خطیِ پارامتری است که در معادله ۱۳,۳ مشاهده می‌کنید:

$$U_j = \beta_j + \sum_{k=1}^{K} \beta_k x_{jk} + e_j, \qquad \text{۱۳,۳}$$

در اینجا، Uj مفید بودنِ فناوری j، βj ثابتِ خاصِ جایگزین، βk بردارِ ضرایبِ نشان دهنده اهمیتِ مشخصه k، x_{jk} بردار k خصیصه فناوری j و e_j جمله خطای غیر قابل مشاهده است. در قالبِ کلی‌اش برای

[1] Louviere

[2] Train

[3] Urban

[4] Atherton

تحقیق انتخاب گسسته، می‌توان معادله ۱۳,۳ را به صورت معادله ۱۳,٤ نشان داد که در آنجا، OC هزینه کاریِ غیرانرژی، EC هزینه انرژی و OTHER ترجیحاتِ غیر مالی است:

$$U_j = \beta_j + \beta_{CC}CC + \beta_{OC}OC + \beta_{EC}EC + \beta_{OTHER}OTHER + e_j. \qquad (۱۳,٤)$$

با فرض اینکه جمله خطای مشاهده نشده (e_j) مستقل است و به طور یکسان توزیع شده است، امکان ایجادِ مدلی برای تعیینِ احتمالِ اینکه بنگاه تجاریِ مورد نظر فناوریِ j را از مجموعه فناوری‌های موجود K، انتخاب کند وجود دارد. این حالت را مدلِ لاجیتِ چند جمله‌ای[1] می‌نامند (ترین، ۲۰۰۲) که در معادله ۱۳,۵ مشاهده می‌کنید. در اینجا U'j صرفاً بخشِ قابل مشاهده مفید بودن است و $U_j' = U_j - e_j$: [۲].

$$\Pr(j) = \frac{e^{U_j'}}{\sum_{k=1}^{K} e^{U_k'}}. \qquad (۱۳,۵)$$

بنابراین، از رویه حداکثر احتمال، برای یافتنِ پارامترهای β استفاده می‌کنیم که با توجه به مجموعه مشاهدات، تطابقِ نزدیکی با سمت چپ تا سمت راست معادله ۱۳,٤ دارند. این اقدام مجموعه‌ای از پارامترها را برای مدل انتخاب گسسته تولید می‌کند که بهترین تطابق را با انتخاب‌های واقعیِ اشاره شده از سوی پاسخ‌دهندگان به نظرسنجی دارد.

می‌توان از پارامترهای برآورد شده مدل انتخابِ گسسته به منظور ارائه برآوردهایی برای این سه پارامتر رفتاری کلیدی CIMS استفاده کرد (ریورز و ژاکارد، ۲۰۰۵). می‌توان میانگینِ وزن‌دارِ نرخ تنزیلِ ضمنی (ناآشکار) را که تصمیم‌گیرندگان در گره به کار بردند بر اساس نسبتِ پارامتر هزینه سرمایه به پارامترِ هزینه سالانه تعیین کرد البته تا زمانی‌که طول عمر سهام سرمایه بیشتر از ۱۵ سال باشد (ترین، ۱۹۸۵، ۲۰۰۲) [۳]. در معادله ۱۳,٦، β_{AC} پارامتری است که به تمامی پارامترهای هزینه‌های سالانه در کنار یکدیگر وزن می‌دهد -در مورد معادله ۱۳,۳، هزینه‌های کاری انرژی و هزینه‌های غیرمرتبط با انرژی را شامل می‌شود (۱۳,۳):

$$r = \frac{\beta_{CC}}{\beta_{AC}}. \qquad (۱۳,٦)$$

[1] multinomial logit model

به طور مشابه و همانند معادله ۱۳,۷، می‌توان پارامتر هزینه ناملموس (سالانه) را با مقایسه پارامترهای غیرهزینه‌ای با پارامترِ وزن‌دهنده به پارامترهای هزینه سالانه محاسبه کرد. این پارامتر برآورد پولیِ سالانه کیفیت‌های ناملموس (غیرمالی) را برای فناوری خاص نشان می‌دهد. برای مثال به طور میانگین ممکن است مصرف‌کنندگان مایل باشند برای رانندگی با خودرو سالانه ٤٠٠ دلار اضافه بپردازند تا خود را از ناراحتی‌های احتمالیِ مسافرت با اتوبوس (واقعی یا ادراک‌شده) دور نگه دارند. می‌توان در صورت نیاز در CIMS، هزینه سالانه را به تک‌هزینه پیش پرداخت برای ادغام با هزینه سرمایه در محاسبه LCC تبدیل کرد:

$$i_j = \frac{\beta_j}{\beta_{AC}}. \qquad (۱۳,۷)$$

پارامتر نهایی رفتاری CIMS (v)، که نشان دهنده میزانِ ناهمگنی در بازار است، تقریباً با «مقیاس» مدل لاجیتِ چندجمله‌ای متناظر است (ترین، ۲۰۰۲). اگر جملاتِ خطا (e_j) از لحاظ بزرگی با مقادیر پارامتر (βj و $\beta_k * x_{jk}$) قابل مقایسه باشند این مدل، بازار ناهمگن‌تری را نشان می‌دهد که در آن، جمله خطا نقشی غالب در پیش‌بینیِ انتخابِ فناوری‌ها ایفا می‌کند. چون جمله خطا نامعلوم است، حتی در جایی که به نظر می‌رسد یک فناوری، برتریِ واضحی نسبت به دیگر فناوری‌ها دارد، وجودِ جمله خطای بزرگ می‌تواند به فناوری‌های دیگری منجر شود که بخش عمده‌ای از بازار را تصاحب می‌کنند. برخلاف این حالت، اگر جملاتِ خطا کوچکتر از مقادیر پارامترها باشد، این مدل بازار همگن‌تری را در جایی نشان می‌دهد که پیش‌بینیِ انتخابِ فناوری به شدت به ویژگی‌های نسبیِ فناوری‌ها وابسته است. متأسفانه گرچه CIMS و مدل انتخاب گسسته (نظیر مدل لاجیت چندجمله‌ای) منحنی‌های لاجستیکِ مشابهی در مورد پذیرش فناوری نشان می‌دهند اما به قدری تفاوت دارند که برآورد مستقیمِ ضریب ناهمگنیِ CIMS بر اساسِ مقیاسِ مدلِ انتخاب گسسته، ممکن نباشد. با این حال می‌توان از روشِ حداقل مربعات برای یافتنِ مقادیری از v استفاده کرد که طبق آنها در بازه‌ای گسترده از انواع انرژی، هزینه سرمایه و هزینه غیر انرژی، پیش‌بینی‌های CIMS با پیش‌بینی‌های مدل لاجیت چند جمله‌ای همخوانی داشته باشد.

با ترکیبِ نتایج تحقیقِ مربوط به انتخابِ گسسته و مرورِ مقالات، پارامترهای رفتاری در CIMS در بازه‌ای از مقادیر، به تصمیم‌گیرنده‌ای وابسته خواهد بود که رفتارِ اکتسابِ فناوریِ او شبیه‌سازی خواهد شد. در کل، بخشِ برق و صنعت نرخ تنزیل پایین‌تری دارند، مقادیر ناملموس کمتر و حتی در بعضی موارد نزدیک به صفر دارند و در مقایسه با مصرف انرژی در بخش مسکونی و خانوار و حمل و نقل شخصی و برخی از مصارفِ تجاریِ انرژی نیز ناهمگنیِ کمتری در بازار دارند.

بنابراین، نتایج تحقیقاتِ تجربیِ اخیر در زمینه برآورد پارامترها بر مطالعه ترجیحاتِ ذکر شده در مورد انتخابِ انواعِ فناوری‌های کلیدیِ انرژی‌محور متمرکز شده است:

- انتخابِ مصرف‌کنندگان در مورد انواع وسایل نقلیه و واکنش آنها به تغییر در قیمتِ طرح‌های ترافیک، قیمت پارکینگ، هزینه خودروها، هزینه سوخت، دسترسی به خطوط سریع‌السیر، دسترسی به ایستگاه‌های سوخت‌گیریِ متناسب با خودرو، ترجیح برای گسیلِ کمتر آلاینده‌ها و ترجیح برای قدرتِ بیشترِ خودرو
- انتخاب مصرف‌کنندگان در مورد داد و ستدِ مجوزها و واکنشِ آنها به تغییر در زمان سفر، هزینه هفتگیِ مجوزها، تعدادِ انتقالات در حمل و نقل عمومی، تعداد دفعاتِ دریافت خدمات از حمل و نقل عمومی، میزان قدم زدنِ لازم برای رسیدن به ایستگاه حمل و نقل عمومی و وجود یا نبودِ خطوطِ مخصوصِ دوچرخه یا موتورسیکلت
- انتخابِ مصرف‌کنندگان در مورد نوسازیِ منازل مسکونی و واکنش آنها به تغییر در هزینه سرمایه، هزینه سوخت، کیفیت هوا و وجودِ یارانه به منظور تشویقِ انجامِ بازسازی‌های پربازده از نظر مصرف انرژی
- انتخابِ مصرف‌کنندگان در مورد سامانه گرمایشِ منازل و واکنش آنها به تغییر در هزینه سرمایه، هزینه کاری، مدت زمانِ فعال شدنِ سامانه گرمایش و وجود و نبودِ یارانه به منظور تشویق در بهره‌گیری از سامانه‌های گرمایشِ پربازده از نظر مصرف انرژی
- انتخابِ بنگاه‌های صنعتی در مورد سامانه تولید بخار و واکنش آنها به هزینه سرمایه، هزینه کاری، هزینه سوخت و تهاتر برق با استفاده از سامانه مرکبِ گرما و برق

در مورد کاربردهای اخیر در اقتصاد کانادا، حدود ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ پاسخ‌دهنده نهایی در نظرسنجی‌های مربوط به بخش‌های مختلفِ خانوار شرکت کردند (مسکونی و حمل و نقل) و حدود ۳۰۰ پاسخ‌دهنده نهایی نیز در نظرسنجی‌های صنعتی شرکت داشتند. برخی از نظرسنجی‌ها با استفاده از روشِ تلفنی–ایمیلی و برخی نیز با استفاده از روش پرسشنامه آنلاین انجام شد. نرخِ پاسخ به نظرسنجی‌ها از ۱۷٪ برای نظرسنجیِ صنعتی تا ۸٤٪، برای نظرسنجی در مورد حمل و نقل بود. نتایجِ نظرسنجی با استفاده از روش لاجیت چند جمله‌ای تحلیل شد و در نهایت به ایجاد مدل‌های معنادارِ آماری همراه منجر گردید که تمامیِ پارامترهای برآورد شده آن دارای علامتِ مورد انتظار بودند.

جدول ۱۳,۱ نرخ تنزیل محاسبه‌شده از مطالعات مذکور را نشان می‌دهد (پارامتر r در CIMS). در بیشترِ آزمایش‌های گزارش‌شده، نرخ تنزیلِ ضمنی/غیرصریح به طور معناداری بیشتر از نرخ مورد استفاده در تحلیل‌های مرسومِ پایین به بالا است. مقادیر بالاتر در این تحقیق اندکی کمتر از نرخ تنزیلِ ضمنی در بسیاری از

مطالعاتِ مربوط به ترجیحاتِ آشکار است. شاید علت آن باشد که در نظرسنجی‌ها به دنبال جدا کردنِ ترجیحِ زمانیِ محض از دیگر خصوصیاتِ خاصِ فناوری هستیم که ممکن است با این مورد همبستگی داشته باشند.

جدول ۱۳,۱ نرخ تنزیل حاصل از مطالعه انتخاب گسسته

گره فناوری در CIMS	منبع	r مشتق‌شده
خودرو بنزینی	هورن و همکارانش، ۲۰۰۵	۰/۲۲٦
خودرو با سوخت جایگزین	هورن و همکارانش، ۲۰۰۵	۰/۲۲٦
خودرو برقی هیبریدی	هورن و همکارانش، ۲۰۰۵	۰/۲۲٦
خودرو با سوخت هیدروژنی	هورن و همکارانش، ۲۰۰۵	۰/۲۲٦
خودرو با پیل سوختیِ هیدروژنی	مائو و همکارانش (مقاله در حال تدوین)	۰/۲۷٦
خودرو برقی-گازی هیبریدی	مائو و همکارانش (مقاله در حال تدوین)	۰/۲۱۸٤
بویلر با بازده استاندارد	ریورز و ژاکارد، ۲۰۰۵	۰/۳٤۷
بویلر با بازده بالا	ریورز و ژاکارد، ۲۰۰۵	۰/۳٤۷
کوژنراتور	ریورز و ژاکارد، ۲۰۰۵	۰/۳٤۷
نوسازیِ منازل مسکونی	ریورز و ژاکارد، ۲۰۰۵	۰/۲٦ -۰/۲۰
گرمایش مسکونی	ژاکارد و دنیس، ۲۰۰۵	۰/۰۹

ترین (۱۹۸۵) نتایج چندین مطالعه درباره نرخ تنزیل ضمنی را به طور خلاصه ارائه کرد و دریافت که نتایجِ بخش‌های مسکونی و حمل و نقل در بازه ۱۵ درصد تا ۷۰ درصد قرار می‌گیرند. مقدارِ کم ۹ درصد برای سامانه‌های گرمایش خانگی مشکوک است و نیازمند تحقیقاتِ بیشتر است. دیگر مقادیرِ تحقیقاتِ تجربی به تنظیمِ مقادیر پارامترهای CIMS منجر شده است.

همچنین هزینه‌های ناملموس (پارامتر i در CIMS) نیز از نتایج رگرسیون محاسبه شدند که بازتابی از ترجیحاتِ غیر مالی و خاصِ فناوری در انتخاب‌های مصرف‌کنندگان است. با این داده‌ها، می‌توان جدولی مشابه با جدول نرخ تنزیل ترسیم کرد. یادآوری می‌کنیم که این موارد به اعمال تغییراتی در مقادیرِ مورد استفاده در مدلِ مذکور منجر شده‌اند. در نهایت اینکه، هر کدام از نظرسنجی‌های صورت‌گرفته در مورد انتخابِ گسسته نیز به برآورد میزانِ ناهمگنیِ بازار در گره‌های منفردِ تصمیم‌گیری در این مدل منجر شده‌اند (پارامتر v در CIMS).

برآوردهای تجربی از پارامتر v حاکی از آن است که ترجیحِ معنادار و ناهمگنیِ رفتاری در بازار وجود دارد، بنابراین، استوار ساختنِ پیش‌بینی‌های مدل بر «میانگینِ» مصرف‌کنندگان یا تولیدکنندگان ممکن است به نتایجِ نادرست منتهی شود.

یکی دیگر از ملاحظاتِ مهم برای مدل‌سازانِ ITC این است که بایستی به سیاستگذاران حسی از نحوه انتقالِ ترجیحاتِ کسب و کارها و مصرف‌کنندگان در گذر زمان ارائه کنند. انواع سیاست‌ها -یارانه‌ها، برنامه‌های آگاه‌سازی، مقرراتِ خارجی در مورد فناوری- با هدفِ تشویق بر پذیرشِ سریعِ فناوری‌های مورد نظر و حرکت به سوی ترویجِ گسترده آنها مطرح می‌شود. تحقیقات در صنعتِ بازاریابی مملو از مطالعاتِ مربوط به نحوه عبورِ فناوری‌های موفق از این مراحل توسعه بازار است. مفاهیمی نظیر «اثرِ همسایه»[1] سطوحِ آستانه نفوذِ بازار را به هزینه‌های ناملموسِ در حال کاهشِ فناوری‌های نوین پیوند می‌دهد (فقدان اطلاعات و آگاهی، شک‌انگاری). در حقیقت این موارد نشان می‌دهد که مقادیر ESUB، که حاصلِ انتخابِ فناوری‌های انرژی‌محورند، قادرند افزایش پیدا کنند -به عبارتی‌دیگر، دستیابی به اهدافِ زیست‌محیطی نظیر کاهش گسیل GHG آسان‌تر می‌شود.

البته توجیهاتِ بالقوه فراوانی برای تغییر در ترجیح مصرف‌کننده وجود دارد که از نظر تحلیلگران، برخی از آنها قابل‌پیش‌بینی و برخی دیگر تصادفی هستند. با آنکه تمامی آنها را نمی‌توان در مدلِ اقتصاد انرژی یکجا جمع کرد اما نتایج تحقیقاتِ بازار حاکی از آن است که طی ارزیابی ظرفیت برای فناوری‌های جدید و به منظور دستیابی به نفوذ چشمگیر در بازار اثرِ همسایه به طور ویژه اهمیت دارد (هائوچ[2] و کلوتز،[3] ۲۰۰۲). دوباره خاطر نشان می‌کنیم که تحقیقاتِ اخیرِ تجربی در مورد CIMS شامل چارچوب انتخاب گسسته می‌شود تا به طور تجربی نحوه تغییرِ هزینه‌های ناملموس در واکنش به تغییرِ محیطِ اطراف برآورد شود، به ویژه در تصمیماتی که دیگر نهادهای اقتصادی اتخاذ می‌کنند.

مدل CIMS دارای تابع نزولیِ هزینه ناملموس است که هزینه‌های ناملموس فناوری در بازه زمانی خاص را به سهمِ بازار در دوره پیش پیوند می‌دهد و با نفوذِ فناوریِ جدید در بازار، بازنمودی از دسترسیِ بهبودیافته اطلاعات و کاهش ریسکِ ادارک شده است. توجه به فناوری جدید می‌تواند با افزایشِ سهمِ بازار افزایش یابد و اطلاعاتی در مورد عملکردِ آن نیز در دسترس قرار می‌گیرد (آرتور، ۱۹۸۹؛ بانرجی، ۱۹۹۲)[٤]. هزینه‌های ناملموس در مورد فناوری‌ها طبق معادله ۱۳،۸ کاهش می‌یابد که در آن، $i(t)$ هزینه ناملموس فناوری در زمان t،

---

[1] neighbor effect

[2] Hautsch

[3] Klotz

MS_{t-1} سهم بازارِ فناوری در زمان t-1 و A و k پارامترهای برآورد شده هستند که بازتابی از نرخ افولِ هزینه ناملموس در واکنش به افزایشِ سهم بازارِ فناوریِ مورد نظر به حساب می‌آیند:

$$i(t) = \frac{i(0)}{1 + Ae^{k*MS_{t-1}}}. \qquad (۱۳,۸)$$

چندین نظرسنجیِ اخیر درباره انتخاب گسسته، تغییرات در ترجیح برای انواع وسایل نقلیه را به صورت اطلاعات برآورد کرده‌اند و استفاده از این موارد در اقتصاد نفوذ دارد (آکسن[1] و همکارانش، ۲۰۰۹؛ مائو[2] همکارانش، ۲۰۰۸). این اطلاعات شامل تغییراتِ خصوصیاتِ کلیدی در گذر زمان، نظیر بازه و دسترسی به سوخت می‌شود اما نفوذ در بازار را نیز در بر می‌گیرد. با تأکیدی که بر غنای فناورانه دارد، تمرکزِ رفتاریِ CIMS بر ارائه شالوده‌ای تجربی برای شبیه‌سازیِ نحوه واکنشِ مصرف‌کننده و کسب و کار به گزینه‌های فناورانه است که احتمالاً در آینده، به سبب طرح‌های ابتکاریِ سیاسی، تا حدی دچارِ تفاوت‌های معنادار شود. با این وجود همان طور که پیش‌تر گفتیم، این تصویر در سطح اقتصاد خُرد، صرفاً قسمتی از تحولاتی را توضیح می‌دهد که ممکن است در سیاست‌های مرتبط با القای تغییر فناورانه رخ دهد. همچنین ممکن است تحولاتِ دیگری نیز در تقاضا برای کالاها و خدماتِ نهایی و واسطه به سبب تغییر هزینه نسبی‌شان رخ دهد و به تغییرات ساختاری در اقتصاد و تغییر در تمامی سطوح فعال منجر شود. افزایش هزینه تولید داخلیِ فولاد می‌تواند به کاهش تقاضای داخلی و اُفت جایگاه رقابتیِ تولیدکنندگان داخلی نسبت به تولیدکنندگان خارجی در بازارهای داخلی و صادراتی منجر شود. افزایش هزینه جابه جایی برای خودروهای شخصی می‌تواند به اُفت تقاضا برای این دسته از وسایل نقلیه و نیز گرایشِ عموم به حمل و نقل عمومی منجر شود.

به منظور به حساب آوردنِ این اثراتِ گسترده بازخوردهای تعادلی، بخشِ عرضه-تقاضای انرژی در CIMS با قسمتِ اقتصادِ کلانِ خود، از طریق توابعِ تقاضا تعامل خواهد داشت که انعطاف‌پذیری‌شان بازنمودی از واکنشِ بلندمدتِ تقاضا به تغییر در هزینه تأمین کالا یا خدمات است. این انعطاف‌پذیری‌های «آرمینگتون»[3]، از منظر اقتصادسنجی، طبق داده‌های تاریخی برآورد شده‌اند (ویرجانتو،[4] ۱۹۹۹). شاید این داده‌ها برای ترسیم واکنش‌های آتی به تغییر در هزینه تأمین کالا و خدمات معتبر نباشند اما برای ارزیابیِ نحوه تغییرِ تقاضاهای آینده در نتیجه تغییراتِ هزینه تولید، روش تجربی جایگزینِ دیگری وجود ندارد. یکی از اقدامات در مواجهه با

[1] Axsen

[2] Mau

[3] Armington

[4] Wirjanto

این عدم قطعیت آن است که اکثر سیاست‌های کنونی، حتی مواردی که بر گسیل GHG متمرکزند، بر مبنای انعطاف‌پذیری‌های آرمینگتون، باعث بروز تغییراتِ عظیمی در هزینه تأمین بسیاری از کالاها و خدمات نمی‌شوند بنابراین، واکنش‌های گذشته می‌تواند پایه و اساسِ مطمئنی برای شبیه‌سازیِ واکنش‌های آینده باشد. در مواردی خاص، که واکنشی بزرگ انتظار می‌رود -یعنی موردی که خارج از بازه تجربه تاریخی باشد- توصیه می‌شود که تحلیل تجربیِ اضافی صورت بگیرد که احتمالِ تغییر در هزینه نسبیِ تولید بین حیطه‌های قضایی رقیب را برآورد کند. برای مثال حالتی را در نظر بگیرید که مالیات بر کربنِ انباشتی در یک کشور باعث سوق دادنِ هزینه تولید در صنعتِ سیمان به مقادیری بیش از هزینه تاریخیِ رقبای بین‌المللی‌اش شود.

٤ برخی از کاربردها

پس از برآورد و یکپارچه نمودنِ این پارامترها در مدلِ مورد نظر، از CIMS برای شبیه‌سازیِ مجموعه‌ای از ابزارهای اقتصادی و فناورمحور استفاده می‌شود. مثال‌های این بخش بر سیاست‌های ITC متناسب با تغییرات اقلیمی متمرکز هستند.

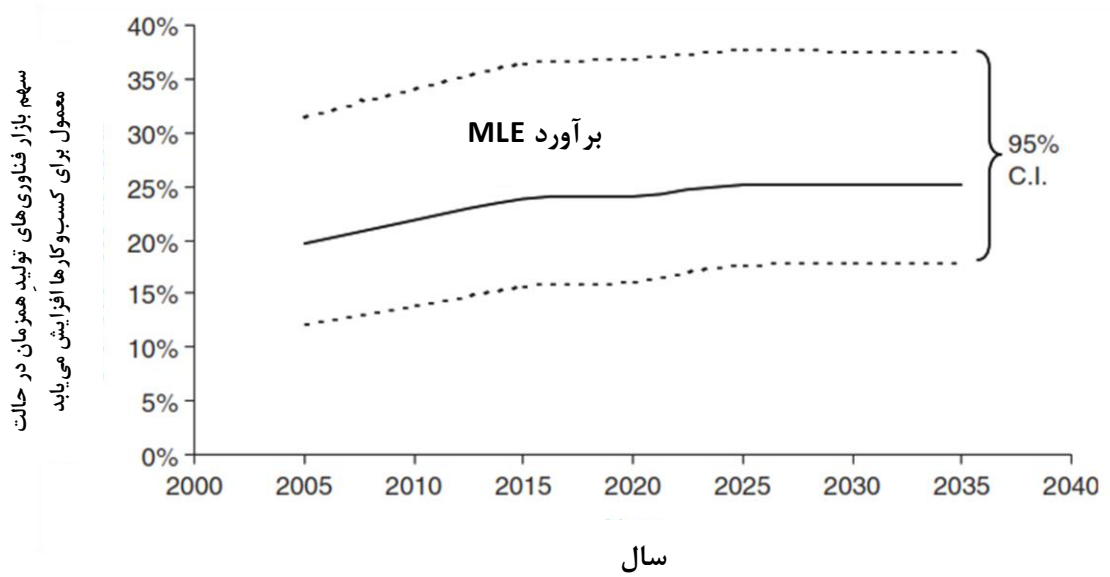
نمایشِ عدم قطعیتِ پیش‌بینی برای سیاستگذاران

اقداماتِ تجربی در برآورد پارامترهای رفتاریِ مدلی مرکب نظیر CIMS به تولید اطلاعاتی درباره عدم قطعیت منجر می‌شود که می‌تواند برای سیاستگذاران مفید باشد. به طور خاص، پارامترهای برآورد شده در تحقیق انتخابِ گسسته صرفاً محتمل‌ترین برآوردِ داده‌ها از پارامترهای مدل هستند. به منظور نمایش معنای این عدم‌قطعیت در نتایج مدل، به ساخت توابعِ چگالیِ احتمالِ اشتراکی چند بُعدی برای پارامترهای مدل با استفاده از معادله ۱۳,۹ نیاز خواهیم داشت:

$$LL(\beta) = \sum_{n=1}^{N} \frac{\ln[P_{n,j}(\beta)]}{N}, \qquad (۱۳,۹)$$

در اینجا، $LL(\beta)$ تاریخچه احتمال برای پارامترهای β، N تعداد مشاهده‌ها در مجموعه داده و $P_{n,j}(\beta)$ احتمال آن است که مدل به گزینه j تعلق بگیرد که در واقع توسط پاسخ‌دهنده در مشاهده n و ترکیبِ خاصِ پارامترهای β تحت آزمایش ساخته می‌شود. احتمالِ $P_{n,j}(\beta)$ را با استفاده از مدل لاجیت چندجمله‌ای -معادله ۱۳,۵- محاسبه می‌کنند. نمونه‌برداریِ یکنواخت از این تابع چگالی احتمال، پارامترهای مدل انتخاب گسسته در معادله ۱۳,٤ را مشخص می‌کند (هر مدل انتخاب گسسته پارامتر متفاوتی خواهد داشت). از جمله مشخصه‌های بارزِ هر نقطه روی تابع چگالی احتمال، مقدارِ پارامترِ مدل انتخاب گسسته و احتمال است و براساس این داده‌ها می‌توان توابع چگالی احتمال حاشیه‌ای/ نهایی را برای هر پارامتر CIMS ساخت. بدین ترتیب عدم قطعیت در مقادیر پارامتر را می‌توان از طریق رویه نمونه‌برداریِ ساده شده‌ای به نتایج مدل CIMS بسط و تعمیم داد.

شکل ۱۳,۲ نتایج این اقدام را برای یکی از سیاست‌های آزمایش‌شده در بخش صنعتی نشان می‌دهد –یارانه هزینه سرمایه ۲۰ درصدی بر فناوری‌های تولیدِ همزمان.[1] با آنکه شبیه‌سازی نتایج با استفاده از برآورد حداکثر احتمال/ برآورد درست‌نماییِ بیشینه (MLE)[2] پارامترها افزایش در سهم بازارِ تولیدِ همزمان را به طور معمول حدود ۲۰ درصد تا ۲۵ درصد برای کسب و کارها پیش‌بینی می‌کند اما بازه‌های اعتمادِ ۹۵ درصدی نشان می‌دهد که می‌توان طی دوره شبیه‌سازیِ ۳۰ساله، در هر نقطه‌ای از بازه ۱۲–۳۶ درصدی انتظارِ افزایش داشت. کاملاً مشخص است که تحلیلِ سیاست تنها بر مبنای پارامترهای MLE به طور کامل عدم‌قطعیت در مجموعه داده‌ها را نشان نمی‌دهد.



شکل ۱۳,۲ عدم قطعیت در شبیه‌سازیِ حاصل از CIMS از یارانه ۲۰ درصدی سرمایه برای تولید همزمانِ صنعتی

در نهایت اینکه، به یاد داشته باشیم این حالت تنها در صورتی نشان دهنده عدم قطعیتِ مرتبط با برآورد پارامترهای رفتاری است که مجموعه داده، نمایشی کامل از رفتار بنگاه تجاری باشد. ممکن است به بسیاری از دلایلی که پیش‌تر ذکر کردیم اینگونه نباشد به ویژه چالش‌های تحقیق در مورد ترجیحاتِ ذکرشده در آشکارسازیِ احتمالِ رفتارِ عوامل در اقتصاد در مواجهه با دنیای واقعی به جای ابعادِ فرضی.

[1] cogeneration

[2] maximum likelihood estimation (MLE)

برآورد بلندمدت مقادیر ESUB و AEEI برای مدل‌سازی CGE

در بحثِ اولیه درباره مدل‌های مرسومِ بالا به پایین، به چالش‌های آنها در مدل‌سازیِ سیاست‌های ITC اشاره کردیم. به طور خاص اگر پارامترهای اساسی‌شان برای تغییر فناورانه (ESUB و AEEI) براساس داده‌های تاریخی برآورد شود این مقادیر نمی‌توانند در وضعیت‌های آتی به کار روند که انواع فناوری و انتظارات به شدت تغییر خواهند کرد. حتی مدل‌سازانِ بالا به پایینی که با این قضیه مواجه هستند حتی زمانی‌که مدل‌هایشان فاقد شفافیتِ فناورانه و واقع‌بینیِ رفتاری در سطح گزینشِ فناوری از سوی مصرف‌کننده و کسب و کار باشد، برای برآورد مقادیر آتیِ جایگزینِ ESUB و AEEI هیچ‌گونه ابزار تجربی در اختیار ندارند. وسایل نقلیه هیبریدی و سوخت‌زیستی تا چه میزان ممکن است مقدارِ بین‌سوختیِ[1] ESUB مرتبط با خودروهای شخصی را در حیطه حمل و نقل تغییر دهند؟ فناوری‌های جمع‌آوری و ذخیره‌سازیِ کربن تا چه میزان مقدار بین‌سوختیِ ESUB مرتبط با تولید برق را با توجه به افزایش مالیات بر GHG تغییر خواهند داد؟

مدل مرکب با نمایشِ دقیقی که از واکنشِ مصرف‌کنندگان و کسب و کارها به فناوری‌های نوین و هزینه‌های متغیر در پی دارد، می‌تواند مقادیر ESUB و AEEI را تولید کند که بازتابی از وضعیت‌های فناورانه و انتقال ترجیحاتِ کسب و کارها و مصرف‌کنندگان است. همچنین می‌توان از این مورد برای هدایتِ روندِ تنظیمِ این پارامترها در مدل‌های بالا به پایین CGE استفاده کرد که سیاست‌های ITC را ارزیابی می‌کنند. در تحقیقاتِ اخیر از طریق ارائه بازه‌ای به شدت متضاد از قیمت‌های انرژی به مدل، از CIMS برای این منظور استفاده کرده‌اند (باتایلی و همکارانش، ۲۰۰۶). خروجی CIMS (شبه‌داده) حاصل از این اقدام می‌تواند به تولید داده‌های استانداردی منجر شود (تغییر در هزینه و ورودیِ سرمایه و گونه‌های منفردِ انرژی) که از آنها در برآورد پارامترهای مدل تابع تولید نظیر کاب–داگلاس،[2] انعطاف‌پذیریِ ثابتِ موارد جایگزین و غیرجبری[3] استفاده می‌شود. شبه‌داده‌های CIMS که از آنها در برآورد مقادیر ESUB با تابع تولید غیرجبری استفاده می‌شود، سرمایه‌ای بلندمدت برای مقدار انرژی ESUB در کانادا به اندازه ۰/۲۷ و مقادیر بین‌سوختیِ ESUB در بازه ۰/۸–۲/۰ تولید می‌کند. تفاوت این مقادیر در هر بخش نشان می‌دهد که تغییر ساختاری در آینده باعث تغییر در مقادیر انباشتیِ ESUB خواهد شد. شبیه‌سازیِ بلندمدت CIMS با فرض ثابت ماندنِ تمامی قیمت‌ها نیز باعث می‌شود برآورد AEEI بین ۰/٤ تا ۰/٦ باشد که به بخش مربوطه بستگی دارد. این مقدار با ۰/۲۵

[1] interfuel

[2] Cobb–Douglas

[3] translog

درصد تا ۰/۵ درصدِ مربوط به برآوردهای بالا به پایین در مقالات این حوزه و ۰/۷۵ درصد تا ۱/۵ درصدِ برآوردهای پایین به بالای مربوط به نرخ AEEI قابل مقایسه است.

پیش‌بینیِ مجموعه‌ای از سیاست‌های ITC مرتبط با تغییرات اقلیمی

در سال ۲۰۰۷ دولت فدرال کانادا مجموعه‌ای از سیاست‌های اقلیمی ارائه کرد که مدعی بود باعث کاهش ۲۰ درصدیِ گسیل GHG داخلی تا سال ۲۰۲۰ می‌شود (نسبت به سطوح ۲۰۰۶) و در ادامه، کشور را در مسیرِ دستیابی به هدفِ کاهشِ ۶۵ درصدی تا سال ۲۰۵۰ قرار می‌دهد. این سیاست شامل تعیین حد مجاز گسیل می‌شود که در مورد گسیل‌کننده‌های بزرگ صنعتی (از جمله مولدهای برق) همراه با چندین قانونِ متمرکز، پرداخت کمک مالی و برنامه‌های آگاه‌سازی برای گسیل‌کننده‌های غیرصنعتی اعمال می‌گردد. این سیاست حد مجاز یا مالیات بر گسیل غیرصنعتی ندارد بلکه به گسیل‌کننده‌های صنعتی اجازه می‌داد تا سرحدِ مجاز گسیل خود را در دیگر بخش‌های تولیدی و مصرفیِ اقتصاد به اشتراک بگذارند.

مدل هیبریدی نظیر CIMS با توجه به فناوریِ دقیق و پارامترهای رفتاریِ برآورد شده تجربی، فرصتی برای ارزیابیِ احتمالِ درست بودنِ چنین ادعاهایی از سوی دولت‌ها است. این نوع ارزیابی می‌تواند بررسیِ مهمی درباره صحتِ ادعاهای سیاسی دولت انجام دهد. دولتِ کانادا از ۱۹۸۸ تاکنون، سه هدف متفاوت برای کاهش گسیل GHG در نظر گرفته است و شش طرح سیاست ابتکاری انجام داده است و مدعی است که به اهداف تعیین‌شده خواهد رسید. در هر صورت، این سیاست‌ها در دستیابی به اهدافشان شکست خوردند و طی دو دهه گذشته، گسیل آلاینده‌ها روز به روز بیشتر شد.

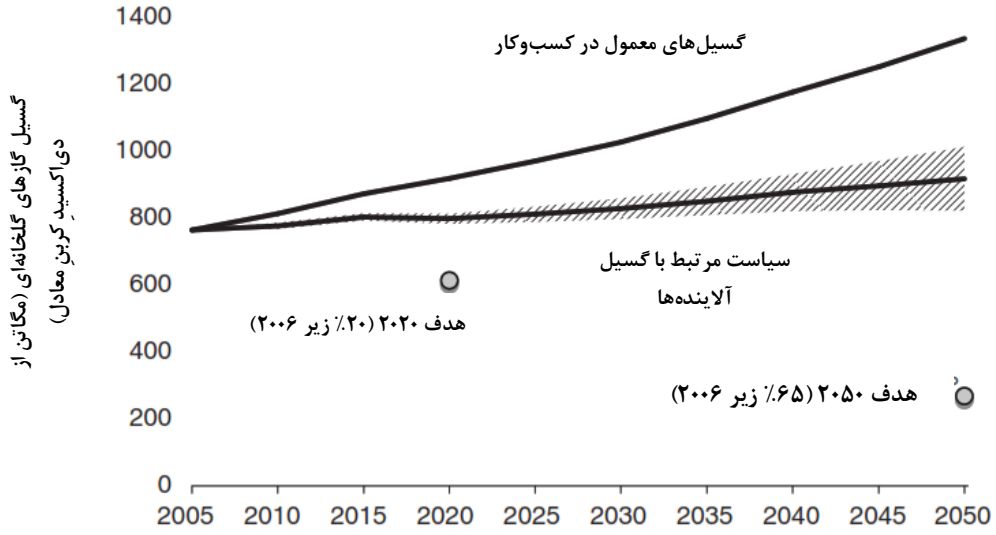
بنابراین، برخلاف مدل‌های مرسوم پایین به بالا می‌توان از مدل هیبریدی نظیر CIMS، با پارامترهای رفتاریِ برآورد شده تجربی‌اش، تحت مجموعه سیاست‌های سالانه و مقررات مختلف برای پیش‌بینیِ واکنش مصرف‌کننده و کسب و کار استفاده کرد (شکل ۱۳,۳؛ ژآکارد و ریورز، ۲۰۰۷). عدم قطعیتِ پارامتر را که در این شکل مشاهده می‌کنید با فواصلِ اطمینانِ ۹۰ درصدی حول‌وحوشِ پیش‌بینیِ تأثیرِ سیاستِ مورد نظر است. نتایج حاکی از آن است که سیاست‌های دولتِ کانادا دوباره در دستیابی به اهدافِ ادعاشده شکست خوردند.

۵ جمع‌بندی

حرکت به سمت فناوری‌هایی که کاهنده تأثیرات و ریسکِ سامانه‌های انرژی‌محور هستند با چالش‌های انتقالیِ عمده‌ای مواجه‌اند و علتِ آن هزینه اولیه بالای بسیاری از این فناوری‌ها و شک‌انگاریِ کسانی است که قصدِ اکتسابِ آنها را دارند. به منظور ارزیابی سیاست‌ها برای غلبه بر این هزینه‌های انتقالی بالا، سیاستگذاران به چندین ابزار ارزیابی نیاز دارند که آشکار بودنِ فناورانه را با واقع‌بینیِ رفتاری ترکیب کند و در نتیجه نحوه واکنشِ عاملان به سیاست‌های جایگزین را برآورد کند. همچنین این ابزارها بایستی نحوه اثرگذاریِ تصمیماتِ

اقتصاد خُرد بر روند تکاملِ کلیِ اقتصاد کلانِ را برحسب ساختار و تولید کلی‌اش نشان دهند زیرا این موارد در افزایش پذیرشِ سیاست‌ها بسیار مهم هستند.

مدل‌های مرسومِ بالا به پایین و پایین به بالای اقتصاد انرژیِ ارائه شده به سیاستگذاران، حداقل از نظر یکی از این سه خصیصه دچار کمبود هستند و بنابراین، نسبت به ظرفیت‌شان از کارآیی کمتری برخوردارند. همین مطلب، انگیزه اخیر در حرکت به سوی مدل‌سازی سیاست‌های ITC را توجیه می‌کند که شامل طراحی و استفاده از مدل‌های هیبریدی است که از لحاظ فناوری، آشکار/صریح و از لحاظ رفتاری، واقع‌بینانه‌اند و بازخوردهای تعادلی اقتصاد کلان را نشان می‌دهند. برآورد تجربیِ پارامترهای رفتاریِ این مدل‌ها به منظور دادن اعتماد به سیاستگذاران در مورد واکنش‌ها به پیش‌بینیِ نتایجِ سیاست‌های ITC چالشی ویژه در چنین مدل‌هایی محسوب می‌شود. پژوهش‌های اخیر در حیطه تحقیق انتخاب گسسته، رویکردی نویدبخش برای مواجهه با این چالش ارائه می‌کنند اما عدم قطعیتِ قابل ملاحظه‌ای درباره واکنش مصرف‌کنندگان و کسب و کارها در آینده به سیاست‌های ITC همچنان باقی است.



شکل ۱۳,۳ مدل هیبرید پیش‌بینیِ سبدی از سیاست‌های اقلیمی کانادا

یادداشت‌ها:

[۱]. CIMS نامی متناسب است نه مخفف.

[۲]. معمولاً، مقالاتِ حوزه انتخابِ گسسته بخشِ قابل مشاهده مفید بودن را با V_j نشان می‌دهد. اما در اینجا آن را با U'_j نشان می‌دهیم تا مانع سردرگمیِ آن با پارامتر v در CIMS شویم.

[۳]. در مورد فناوری‌هایی که عمر کوتاه‌تری دارند، r را با $r/[1-(1+r)^{-n}]$ تعویض می‌کنیم.

[٤]. این استفاده از CIMS شباهت‌هایی با مدل‌سازیِ عامل‌محور دارد که طی آن مجموعه‌ای از فرضیاتِ ابتدایی در مورد رفتار اولیه ایجاد می‌شود و سپس دینامیکِ رفتاری را به صورت تغییر وضعیت‌های کلیدی شبیه‌سازی می‌کند. هزینه مالیِ فناوریِ جدید، تناسب همسایه‌ها، خانواده و دوستانی که آن فناوری را کسب کرده‌اند.

منابع:

Argote, L. and D. Epple (1990), 'Learning curves in manufacturing', *Science*, 247(1), 920–24.

Arthur, B. (1989), 'Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events', *Economic Journal*, 99(394), 116–31.

Axsen, J., D. Mountain and M. Jaccard (2009), 'Combining stated and revealed choice research to simulate preference dynamics: the case of hybrid electric vehicles', *Resource and Energy Economics*, 31(3), 221–38.

Banerjee, A. (1992), 'A simple model of herd behavior', *Quarterly Journal of Economics*, 107(3), 797–817.

Bataille, C., M. Jaccard, J. Nyboer and N. Rivers (2006), 'Towards general equilibrium in a technology-rich model with empirically estimated behavioural parameters', *The Energy Journal*, Special Issue on Hybrid Modeling of Energy–Environment Policies: Reconciling Bottom-up and Top-down, 93–112.

Bohringer, C. (1998), 'The synthesis of bottom-up and top-down in energy policy modelling', *Energy Economics*, 20(3), 233–48.

Brown, M., M. Levine, J. Romm, A. Rosenfeld and J. Koomey (1998), 'Engineering–economic studies of energy technologies to reduce greenhouse gas emissions: opportunities and challenges', *Annual Review of Energy and the Environment*, 23, 287–385.

Carraro, C. and J.-C. Hourcade (1998), 'Climate modelling and policy strategies: the role of technical change and uncertainty', *Energy Economics*, 20(5–6), 463–71.

DeCanio, S. (2003), *Economic Models of Climate Change: A Critique*, New York: Palgrave Macmillan.

Frei, C., P.-A. Haldi and G. Sarlos (2003), 'Dynamic formulation of a top-down and bottom-up merging energy policy model', *Energy Policy*, 31, 1017–31.

Grubb, M., I. Kohler and D. Anderson (2002), 'Induced technical change in energy and environmental modelling: analytical approaches and policy implications', *Annual Review of Energy and the Environment*, 27, 271–308.

Hautcsh, N. and S. Klotz (2002), 'Estimating the neighborhood influence on decision makers: theory and an application on the analysis of innovation decisions', *Journal of Economic Behavior and Organization*, 52(1), 97–113.

Horne, M., M. Jaccard and K. Tiedemann (2005), 'Improving behavioral realism in hybrid energy–economy models using discrete choice studies of personal transportation decisions', *Energy Economics*, 27, 59–77.

Hourcade, J.-C., M. Jaccard, C. Bataille and F. Ghersi (2006), 'Hybrid modelling: new answers to old challenges', *The Energy Journal*, Special Issue on Hybrid Modelling of Energy–Environment Policies: Reconciling Bottom-up and Top-down, 1–12.

Jaccard, M., A. Bailie and J. Nyboer (1996), 'CO2 emission reduction costs in the residential sector: behavioral parameters in a bottom-up simulation model', *The Energy Journal*, 17(4), 107–34.
Jaccard, M. and M. Dennis (2005), 'Estimating home energy decision parameters for a hybrid energy–economy policy model', *Environmental Modelling and Assessment*, 11(2), 1–10.
Jaccard, M., J. Nyboer, C. Bataille and B. Sadownik (2003), 'Modelling the cost of climate policy: distinguishing between alternative cost definitions and long-run cost dynamics', *The Energy Journal*, 24(1), 49–73.
Jaccard, M. and N. Rivers (2007), 'Estimating the effect of the Canadian government's 2006–2007 greenhouse gas policies', CD Howe Institute, Toronto.
Jacobsen, H.K. (1998), 'Integrating the bottom-up and top-down approach to energy–economy modelling: the case of Denmark', *Energy Economics*, 20(4), 443–61.
Jaffe, A., R. Newell and R. Stavins (1999), 'Energy-efficient technologies and climate change policies: issues and evidence', Resources for the Future, Washington, DC.
Jaffe, A. and R. Stavins (1994), 'The energy efficiency gap: what does it mean?', *Energy Policy*, 22(10), 804–10.
Koopmans, C.C. and D.W. te Velde (2001), 'Bridging the energy efficiency gap: using bottom-up information in a top-down energy demand model', *Energy Economics*, 23(1), 57–75.
Laitner, J., S. DeCanio, J. Koomey and A. Sanstad (2003), 'Room for improvement: increasing the value of energy modelling for policy analysis', *Utilities Policy*, 11, 87–94.
Loschel, A. (2002), 'Technological change in economic models of environmental policy: a survey', *Ecological Economics*, 43, 105–26.
Louviere, J., D. Hensher and J. Swait (2000), *Stated Choice Methods*, Cambridge: Cambridge University Press.
Mau, P., J. Eyzaguirre, M. Jaccard, C. Collins-Dodd and K. Tiedemann (2008), 'The neighbour effect: simulating dynamics in consumer preferences for new vehicle technologies', *Ecological Economics*, 68, 504–16.
McDonald, A. and L. Shrattenholzer (2001), 'Learning rates for energy technologies', *Energy Policy*, 29, 255–61.
Morris, S., G. Goldstein and V. Fthenakis (2002), 'NEMS and MARKAL–MACRO models for energy–environmental–economic analysis: a comparison of the electricity and carbon reduction projections', *Environmental Modelling and Assessment*, 17, 207–16.

Neij, L. (1997), 'The use of experience curves to analyse the prospects for diffusion and adoption of renewable energy technology', *Energy Policy,* 23(13), 1099–107.
Nystrom, I. and C.-O. Wene (1999), 'Energy–economy linking in MARKAL–MACRO: interplay of nuclear, conservation and CO2 policies in Sweden', *International Journal of Environment and Pollution*, 12(2–3), 323–42.
Rivers, N. and M. Jaccard (2005), 'Combining top-down and bottom-up approaches to energy–economy modelling using discrete choice methods', *The Energy Journal*, 26(1), 83–106.
Sanstad, A., S. DeCanio, G. Boyd and J. Koomey (2001), 'Estimating bounds on the economy-wide effects of the CEF policy scenarios', *Energy Policy*, 29, 1299 311.
Sutherland, R. (1991), 'Market barriers to energy efficiency investments', *The Energy Journal*, 12(3), 15–34.
Train, K. (1985), 'Discount rates in consumers' energy related decisions: a review of the literature', *Energy: The International Journal*, 10(12), 1243–53.
Train, K. (2002), *Discrete Choice Methods with Simulation*, Cambridge: Cambridge University Press.
Train, K. and T. Atherton (1995), 'Rebates, loans, and customers' choice of appliance efficiency level: combining stated- and revealed-preference data', *The Energy Journal*, 16(1), 55–69.
Urban, G., B. Wienberg and J. Hauser (1996), 'Premarket forecasting of really-new products', *Journal of Marketing*, 60(January), 47–60.
Weyant, J. and J. Hill (1999), 'Introduction and overview', *The Energy Journal*, Special Issue on the Costs of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation.
Wirjanto, T. (1999), *Estimation of Import and Export Elasticities: A Report Prepared for the Economic and Fiscal Policy Branch at the Department of Finance*, Department of Economics, University of Waterloo, Ontario.
Worrell, E., S. Ramesohl and G. Boyd (2004), 'Advances in energy forecasting models based on engineering economics', *Annual Review of Environment and Resources*, 29, 345–81.

۱۴ مدل‌های تعادل عمومی قابل محاسبه برای تحلیل سیاست‌های انرژی و اقلیمی

*ایان سو وینگ**

۱ مقدمه

در این فصل، مدل‌سازیِ تعادل عمومیِ قابل محاسبه (CGE) را به طور ساده، عملی و موشکافانه بررسی خواهیم کرد. چارچوب جبریِ عمومیِ مدل CGE براساسِ اصولِ اقتصاد خُرد توسعه می‌یابد و به منظور نمایش و تشریح موارد زیر به کار می‌رود: نحوه بهینه‌کاویِ مدل با استفاده از داده‌های اقتصادی در ماتریس حسابداریِ اجتماعی، نحوه حلِ دستگاه معادلاتِ عددی برای مقادیر تعادلیِ متغیرهای اقتصادی و این مطلب که چطور محاسبه اغتشاشات در این تعادل – که حاصلِ وارد کردنِ انحرافاتِ قیمتی یا کمیتی است – تحلیلِ اثراتِ اقتصادیِ سیاست‌های انرژی و اقلیمی را تسهیل می‌کند.

تعادلِ عمومیِ والراسی[1] زمانی غالب خواهد بود که عرضه و تقاضا از نظر تمامی بازارهای به هم مرتبطِ اقتصاد در قالب معادلاتی در نظر گرفته شوند. مدل‌های CGE شبیه‌سازی‌هایی هستند که ساختارِ تعادل عمومیِ ارو–دبرئو[2] را با داده‌های اقتصادیِ واقع‌بینانه ترکیب می‌کنند تا به طور عددی، کمیت و قیمتِ کالاهای بازتولیدپذیر و عواملِ غیر بازتولیدشونده را حل کنند که از تعادل در مجموعه خاصی از بازار حمایت می‌کنند.

مدل‌های CGE ابزار شبه تجربیِ استانداردی در ارزشیابی سیاست‌ها به حساب می‌آیند. نقطه قوتِ آنها در توانایی‌شان برای تشریحِ آینده‌نگرانه خصوصیت و بزرگیِ اثراتِ اقتصادیِ سیاست‌های انرژی و زیست‌محیطی است. شاید مهم‌ترینِ این کاربردها تحلیلِ معیارها در کاهش گسیل گازهای گلخانه‌ای باشد (GHG) – اصولاً گسیل دی‌اکسید کربن (CO_2) حاصل از احتراق سوخت فسیلی. یک دهه پس از تحقیقِ بهاتاچاریا[3] (۱۹۹۶) شاهد افزایش آثارِ تحقیقاتی در این حیطه بودیم به طوری که بیش از ۱۵۰ مقاله در نشریات تألیفی و مروری منتشر شده است و ادبیاتِ خاکستری[4] گسترده‌تری نیز در این‌باره وجود دارد. سیاست‌های کاهشِ GHG می‌توانند در بردارنده چندین ابزار باشند که از جمله انواع مالیات و کمک‌های مالی و دولتی (یارانه)، روش‌های انتقال درآمد و سهمیه میزان گسیل کربنِ کالاهای مصرف‌کننده انرژی، نمونه‌هایی از این قبیل هستند. سوخت‌های فسیلی غنی از کربن منبع اصلی انرژی هستند در نتیجه، ورودی تقریباً تمامیِ انواعِ فعالیت‌های

[1] Walrasian

[2] Arrow–Debreu

[3] Bhattacharyya

[4] grey literature

اقتصادی به حساب می‌آیند. با توجه به محدودیت‌های استفاده از کالاهای جایگزینِ انرژی، می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که اثراتِ این سیاست‌ها در چندین بازار باعث به وجود آمدن تحرکاتی می‌شود و پیامدهای بزرگتری نسبت به سهمِ کوچکِ سوخت‌های فسیلی در درآمد ملی خواهد داشت اما از مدل‌های CGE، به رغم محبوبیت‌شان، در برخی از بخش‌ها با عنوان «جعبه سیاه» یاد می‌کنند (برای مثال پاناگاریا و دوتاگوپتا، ۲۰۰۱). در این بخش‌ها، کارکرد درونیِ پیچیده، باعث مبهم شدنِ پیوند بین خروجی‌ها و ویژگی‌های داده‌های ورودی، ساختار جبری یا شیوه حل می‌شود و یا اینکه حتی بدتر، باعث مخفی ماندنِ فرضیاتِ مشکوکی می‌گردد که ممکن است در نهایت به عاملِ هدایتِ نتایج مبدل شوند. چنین انتقاداتی مدل‌سازانِ CGE را وادار می‌کند تا جعبه سیاه را برای موشکافیِ بیشترِ قضیه باز کنند و هدف این فصل نیز انجام دقیقِ این کار از طریق روشن ساختنِ چارچوبِ جبریِ مشترکِ تمام مدل‌های CGE(صرف نظر از اندازه یا پیچیدگیِ ظاهری‌شان)، مشخصه‌های کلیدیِ پایگاه داده‌ها و بهینه‌کاویِ عددی و تکنیک‌های مورد استفاده برای حل مسئله برنامه‌نویسیِ ریاضیاتی است.

برای دستیابی به این هدف، حرکت به فراتر از تحقیقاتِ سنتیِ مدل‌سازی نیاز است که لزوماً گسترده هستند و مثال‌های فراوانی دارند (برای مثال، کونارد،[۱] ۱۹۹۹، ۲۰۰۱؛ برگ‌من،[۲] ۲۰۰۵). با توجه به مرورهای انجام شده پیشین بر مبنای اصولِ اقتصادِ خُرد نظریه مصرف‌کننده و تولیدکننده (شوون[۳] و والی،[۴] ۱۹۸٤؛ کیهو و کیهو،[۵] ۱۹۹۵؛ کیهو، ۱۹۹۸a؛ بوهرینگر[٦] و همکارانش، ۲۰۰۳؛ پالتسیف،[۷] ۲۰۰٤)، در این فصل چارچوبی جبری ارائه می‌کنیم که قادر به نمایشِ مدلِ CGE با اندازه و بُعد دلخواه است. سپس از این چارچوب برای تشریح نحوه استفاده از ماتریس حسابداری اجتماعی به منظور بهینه‌کاویِ ضرایبِ معادلاتِ مدل، نحوه حل دستگاه معادلات عددیِ حاصل، نحوه مختل شدنِ تعادلِ حل شده و استفاده از نتایج برای تحلیلِ اثراتِ انواع سیاست‌های انرژی استفاده خواهیم کرد. نتیجه نهایی، مقدمه‌ای شفاف و نظام‌مند و در عین حال منسجم از لحاظ نظری و جامع از لحاظ منطقی در مورد مبحث مدل‌سازی CGE است.

---

[1]Conrad

[2]Bergman

[3]Shoven

[4]Whalley

[5]Kehoe – Kehoe

[6]Böhringer

[7]Paltsev

طرح این فصل به‌شرح زیر است: در بخش دو جریان چرخشیِ اقتصاد را معرفی می‌کنیم که نشان می‌دهد چگونه می‌تواند به صورت نقطه آغازینِ مفهومیِ بنیادی برای نظریه تعادل والراسی عمل کند که شالوده مدل CGE به حساب می‌آید. در بخش سه ماتریس حسابداری اجتماعی را ارائه می‌کنیم و نشان می‌دهیم که چطور جبرِ قواعدِ حسابداری‌اش بازتابی از شروطِ تعادل عمومی است. در بخش چهار با استفاده از ابزارِ کششِ ثابتِ جایگزین‌سازی/ جانشینی (CES)[1] اقتصاد، این روابط را وارد مدل CGE کاربردی می‌کنیم که طبق آن، خانوارها دارای ترجیحاتِ CES و بنگاه‌های تجاری دارای فناوری تولید خواهند بود. در بخش پنج از CES اقتصاد برای تشریحِ نحوه بهینه‌کاویِ عددیِ مدل‌ها و بحث درباره مسائلی استفاده می‌کنیم که به طور رایج در فرآیند حل مدل‌های CGE مطرح می‌شوند. در بخش شش نحوه استفاده از مدل CGE برای تحلیل سیاست‌های انرژی و اقلیمی را توضیح می‌دهیم. در بخش هفت به یکی از کاربردها اشاره می‌کنیم که به استفاده از ایده‌های پیشین برای تحلیلِ پیامدهای محدود کردنِ گسیل CO_2 در اقتصاد آمریکا مربوط می‌شود. در بخش هشت خلاصه و جمع‌بندی را ارائه می‌کنیم.

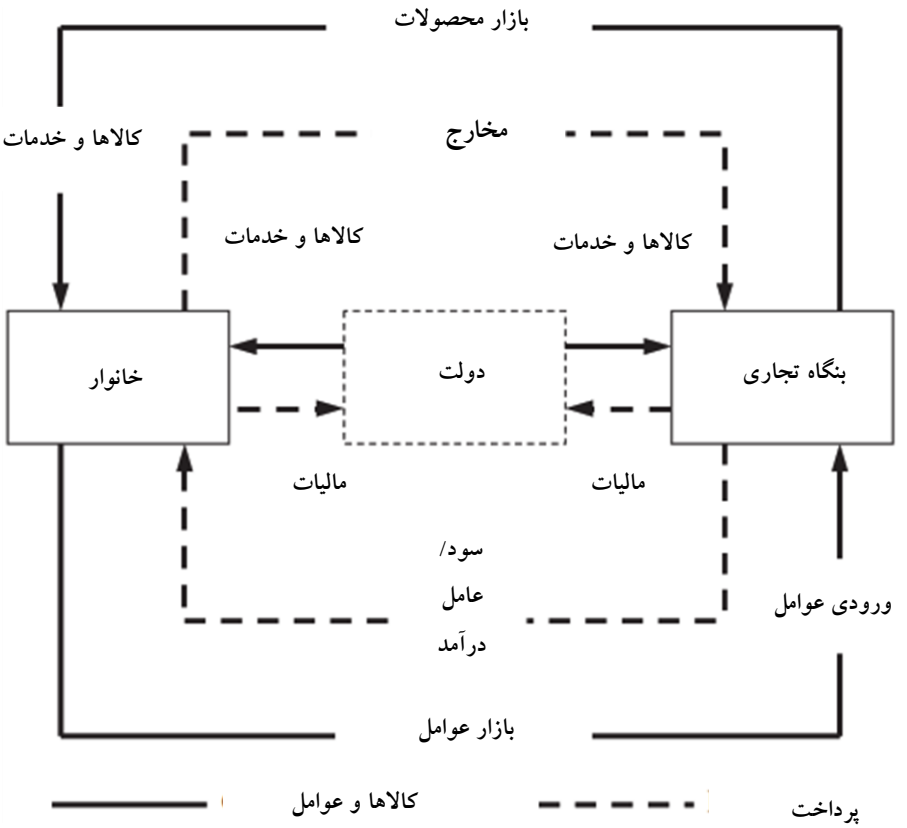
۲ اصول: جریان چرخشی و تعادل والراسی

نقطه آغازینِ مفهومیِ بنیادیِ مدل CGE همان جریان چرخشیِ کالاها در اقتصادی بسته است که در شکل ۱٤,۱ مشاهده می‌کنید. خانوارها مالکِ عواملِ تولید هستند و مصرف‌کننده نهاییِ کالاهای تولیدی به حساب می‌آیند در حالی که بنگاه‌های تجاری، عواملِ تولید را برای ساخت کالا و ارائه خدماتی در اختیار دارند که خانوارها بعداً مصرف خواهند کرد. همچنین بسیاری از مدل‌های CGE، به طور آشکار، بازنمودی از دولت هستند، اما نقشِ آن در جریانِ چرخشی غالباً منفعل است: به منظور گردآوریِ مالیات و پرداخت این درآمدها به بنگاه‌های تجاری و خانوارها به شکل یارانه و انتقالاتِ سرجمع و پول قلم، با توجه به قواعدِ توازنِ بودجه که تحلیلگر آنها را مشخص می‌کند.

تعادل در جریان‌های اقتصادیِ شکل ۱٤,۱ منجر به تبدیلِ محصول و ارزش می‌شود. تبدیلِ محصول زمانی رخ می‌دهد که اقتصاد در تعادل نباشد. بازتابی از اصلِ فیزیکیِ توازنِ مادی است که کمیتِ یک عامل –که خانوار مالک آن است– یا کالای تولید شده توسط بنگاه‌های تجاری، باید در باقیِ اقتصاد، کاملاً به ترتیب از سوی بنگاه‌های تجاری یا خانوارها جذب شود. تبدیل ارزش –که به صورت قیمت x کمیت است– بازتابی از اصل حسابداریِ توازن بودجه است. مخارج بنگاه‌های تجاری در سمتِ ورودی‌ها را بایستی با ارزشِ درآمدِ

[1] constant elasticity of substitution

حاصل از فروشِ محصولِ نهایی، متعادل سازید؛ مخارج خانوار در سمت کالاها را باید با درآمدشان متعادل سازید و هر واحد از مخارج باید مقداری از کالا یا عامل را خریداری کند.



شکل ۱٤,۱ جریان چرخشی

بنابراین، محصول و ارزش به راحتی ظاهر یا محو نمی‌شوند؛ تغییر در قدرت خرید عمومی تنها در صورتی به وجود می‌آید که انتقالِ مقدارِ مثبتی از کالای تولیدی یا خدمات اساسیِ عاملی و برعکس رخ دهد.

این قواعدِ حسابداری از جمله سنگ بناهای تعادل عمومیِ والراسی است. تبدیل محصول یکی از توصیفاتِ اصلِ مصرف‌پذیریِ غیر رایگان است و تضمین می‌کند که خروجی بنگاه‌های تجاری به طور کامل از سوی خانوارها مصرف می‌شود و مصرفِ عاملانِ اساسی از سوی خانوارها به طور کامل از سوی بنگاه‌های تجاری حمایت می‌شود. به این ترتیب در مورد کالایی خاص، میزانِ تولید باید برابر با جمعِ مقادیری باشد که دیگر بنگاه‌های تجاری و خانوارها در اقتصاد تقاضا کرده‌اند. در مقام قیاس، برای عاملی معین، مقادیر تقاضا شده از

سوی بنگاه‌های تجاری بایستی کاملاً عرضه انباشتی به خانوارها را خالی کند. این حالت همان وضعیتِ آشنای «تسویه بازار»[1] است.

تبدیلِ ارزش بر این مطلب دلالت دارد که جمعِ کلِ درآمدِ حاصل از تولید کالاها بایستی به خانوارها به صورت وصولِ اجاره بهای عوامل اساسی تخصیص یابد. در دیگر صنایع، این حالت به صورت پرداخت در ازای ورودی‌های واسطه یا در مورد دولت، به صورت مالیات خواهد بود. پس ارزشِ هر واحد کالا در اقتصاد باید معادل جمع ارزشِ کل ورودی‌های مورد استفاده برای تولیدِ آن باشد: هزینه ورودی‌های مواد واسطه و نیز پرداخت به عوامل اساسیِ به کاررفته در تولیدِ آن. این اصل به طور همزمان، بازتابی از ثباتِ بازده نسبت به مقیاس در تولید و بازارهای کاملاً رقابتی برای کالاهای تولیدی است که تضمین می‌کند در حالت تعادل، تولیدکننده به سودِ صفر می‌رسد.

اخیراً بازده مالکیتِ عواملِ اساسی از سوی خانوارها –که معادلِ ارزشِ اجاره بهای عامل برای تولیدکننده هستند– درآمدی را شکل می‌دهد که خانوارها برای خرید کالا می‌پردازند. این حقیقت که مالکیتِ عوامل از سوی خانوارها کاملاً به کار رفته است و هیچ عاملی بیکار نمانده است و خانوارها نیز درآمد خود را پرداخت و مقداری کالا خریداری کرده‌اند –حتی با هدفِ انبار کردن یا ذخیره‌سازی– بازتابی از اصلِ حسابداریِ بودجه متوازن است که به آن «توازن درآمد» می‌گویند. همچنین می‌توان این اصل را وضعیتی با سود صفر برای تولید «کالایی مفید» در نظر گرفت که مقدارِ آن به واسطه ارزشِ انباشتیِ مخارجِ خانوار برای کالاها تعیین می‌شود و قیمتش برابر با بهره حاشیه‌ای/ نهاییِ مصرفِ انباشتی یا شاخص واحد مخارج است.

در مدل CGE از شروطِ تسویه بازار، سود صفر و توازن درآمد برای حل مجموعه‌ای از قیمت‌ها و تخصیص کالا و عوامل استفاده می‌شود –خطوط ممتد در شکل ١٤,١– که از تعادل عمومی حمایت می‌کنند. چون می‌توان جبران انتقالاتِ مالی را بر مبنای قیمت و تخصیص کمیّت به دست آورد، نمایشِ تعادل بر حسب تجارت پایاپای[2] کالاها و عوامل، بدون نیاز به رصدِ آشکارِ پول، در مقام یک کالا، کفایت می‌کند اما بر همین اساس، ارزش نسبیِ کالاها و عوامل مختلف بایستی بر حسب واحدِ مشترک محاسبه مشخص شود. این کار از طریق توصیفِ جریان‌های شبیه‌سازی شده در واحدهای تک کالایی –به اصطلاح «کالای شمارنده یا کالای مبنای سنجش»[3]– که قیمت ثابتی دارند، انجام می‌شود. به همین دلیل مدل CGE فقط برای قیمت‌های نسبی کاربرد دارد که درباره این نکته در فصل چهار بیشتر بحث خواهیم کرد.

---

[1] market clearance

[2] barter trade

[3] numeraire good

۳ جبر تعادل و ماتریس حسابداری اجتماعی

مرحله بعد در شناختِ مدل CGE، توسعه توصیفی جبری از جریان چرخشی است. اقتصاد بسته فرضی را در نظر بگیرید که متشکل از N صنعت باشد و هر کدام کالای منحصر به خودشان را تولید کنند و تعداد نامشخصی خانوار نیز وجود دارند که مشترکاً مالکِ F نوعِ مختلف عامل اساسی هستند. سه فرضِ کلیدی درباره این اقتصاد باعث ساده شدنِ تحلیلِ زیر می‌شود؛ اول آنکه هیچ مالیات یا انحراف از کمک هزینه‌ها یا محدودیت‌های کمیّتی بر مراودات وجود ندارد. دوم اینکه خانوارها به صورت جمعی در مقامِ تک نماینده‌ای عمل می‌کنند که عوامل را برای صنایع اجاره می‌کند و در مقابل درآمد کسب می‌کند. سپس خانوارها درآمد را برای خریدِ N کالا و با هدفِ رفعِ D نوع تقاضا خریداری می‌کنند -برای مثال تقاضا برای کالاها با هدفِ مصرف و سرمایه‌گذاری. سوم اینکه هر صنعت به صورت بنگاه تجاریِ نماینده عمل می‌کند که ورودی‌های F عامل اساسی را به کار می‌گیرد و از N کالا به صورت ورودیِ واسطه برای تولید مقدارِ y از خروجیِ نوعِ خود استفاده می‌کند.

من از اندیس‌های $i = \{1,\ldots,\mathcal{N}\}$ برای نمایشِ کالاها، $j = \{1,\ldots,\mathcal{N}\}$ برای نمایش مجموعه بخش‌های صنعت، $f = \{1,\ldots,\mathcal{F}\}$ برای نمایش مجموعه عواملِ اساسی و $d = \{1,\ldots,\mathcal{D}\}$ برای نمایش مجموعه تقاضاهای نهایی استفاده می‌کنم. جریان چرخشیِ اقتصاد را می‌توان به طور کامل با سه ماتریسِ داده مشخصه‌یابی کرد: یک ماتریس NxN ورودی-خروجیِ مصارف صنایع از کالاها به صورت ورودی‌های میانجی، $\overline{X}$، یک ماتریس FxN از ورودی عوامل اساسی به صنایع، $\overline{V}$ و یک ماتریس NXD مصارف کالاها از طریق فعالیت‌های تقاضای نهایی $\overline{G}$.

مشخص کردنِ نحوه استقرارِ مؤلفه‌های این سه ماتریس به منظور نمایشِ منطقِ جریانِ چرخشی، آسان است. اول تسویه بازار کالا بر این مطلب دلالت دارد که ارزشِ ناخالصِ خروجیِ صنعت i که معادل ارزشِ عرضه انباشتیِ iاُمین کالا است ($\overline{y}_i$) باید با جمع ارزش j مصرفِ واسطه ($\overline{x}_{i,j}$) و d تقاضای نهایی ($\overline{g}_{i,d}$) که جذبِ آن کالا می‌شود، برابر باشد:

$$\overline{y}_i = \sum_{j=1}^{\mathcal{N}} \overline{x}_{i,j} + \sum_{d=1}^{\mathcal{D}} \overline{g}_{i,d} \qquad \text{۱۴,۱}$$

به طور مشابه، تسویه بازار عوامل بر این مطلب دلالت دارد که جمعِ مصارفِ منفردِ بنگاه‌های تجاری از هر عاملِ اساسی $(\overline{v}_{f,j})$ به طور کامل از مالکیتِ مربوط به عاملِ نماینده $(\overline{V}_f)$ بهره می‌برد:

$$\overline{V}_f = \sum_{j=1}^{\mathcal{N}} \overline{v}_{f,j}. \qquad \text{۱۴,۲}$$

دوم، این حقیقت که صنایع سود صفر می‌سازند دلالت بر این مطلب دارد که ارزشِ خروجیِ ناخالصِ jاُمین بخش $(\overline{y}_j)$ باید برابر با جمعِ ارزش‌های بهینه‌کاویِ ورودیِ i کالای واسطه $\overline{x}_{i,j}$ و f عامل اساسی $\overline{v}_{f,j}$ باشد که در فرآیند تولیدِ آن صنعت به کار می‌رود:

$$\overline{y}_j = \sum_{i=1}^{\mathcal{N}} \overline{x}_{i,j} + \sum_{f=1}^{\mathcal{F}} \overline{v}_{f,j}. \qquad \text{۱٤,۳}$$

سوم، درآمد عاملِ نماینده $\overline{\mathcal{I}}$ متشکل از وصولِ حاصل از اجاره‌بهای عوامل اساسی است که همه آنها به طور کامل به کار رفته‌اند. درآمدِ حاصل بایستی مخارجِ ناخالصِ نماینده را در مورد رفعِ تقاضای کالا متوازن سازد. در مجموع این شروط نشان می‌دهند که درآمد با جمع مؤلفه‌های $\overline{\mathbf{V}}$ متناظر است در نتیجه باید با جمعِ مؤلفه‌های $\overline{\mathbf{G}}$ نیز برابر باشد بنابراین، طبق معادله ۱٤,۲:

$$\overline{\mathcal{I}} = \sum_{f=1}^{\mathcal{F}} \overline{V}_f = \sum_{i=1}^{\mathcal{N}} \sum_{d=1}^{\mathcal{D}} \overline{g}_{i,d}. \qquad \text{۱٤,٤}$$

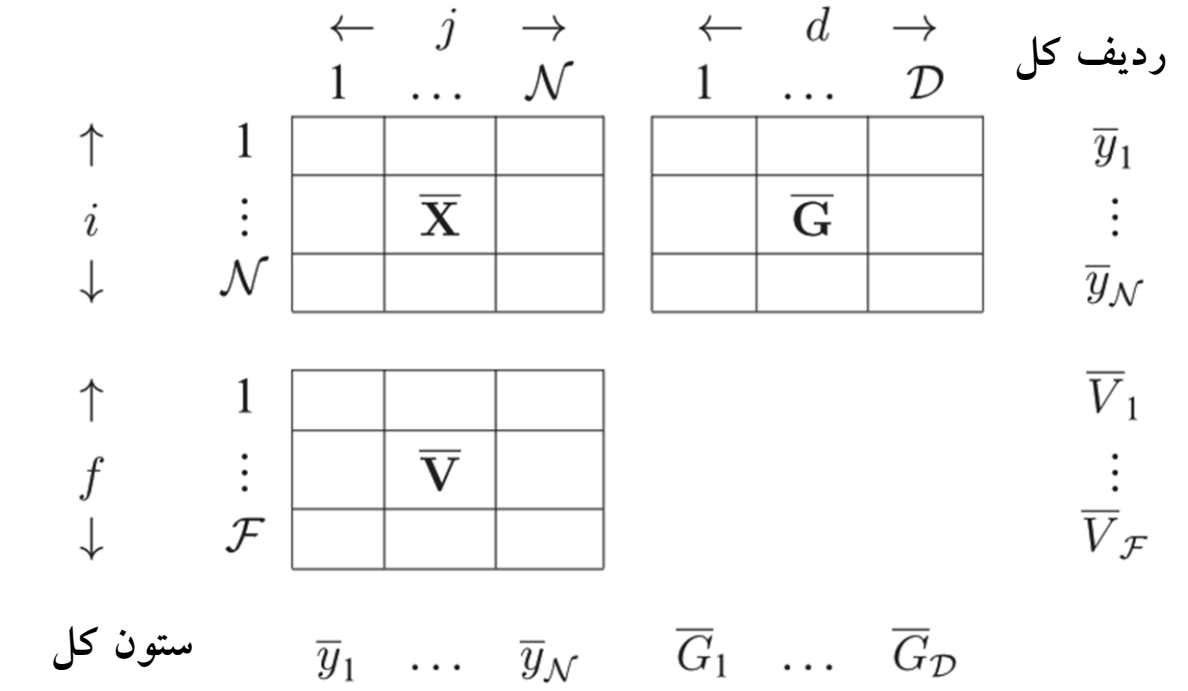
روابط حسابداری در معادلات ۱٤,۱ تا ۱٤,٤، مشترکاً بر این مطلب اشاره دارند که به منظور نشان دادنِ منطقِ جریانِ چرخشی، ماتریس‌های $\overline{\mathbf{X}}, \overline{\mathbf{V}}$ و $\overline{\mathbf{G}}$ باید طبق شکل ۱٤,۲ مستقر شوند. این نمودار نوعی جریانِ نقدینگی است که به SAM –ماتریس حسابداری اجتماعی– معروف است و قسمتی از جریان‌های بین صنعت و بین فعالیتیِ ارزش را در اقتصاد در حالتِ تعادل در دوره بهینه‌کاویِ خاصی نشان می‌دهد. ماتریس SAM آرایه‌ای از حساب‌های ورودی و خروجی است که برحسب واحدهای ارزشِ دوره زمانیِ مورد نظر شماره‌گذاری شده است و به ازای آن، جریان‌ها در اقتصاد ثبت می‌شوند (به طور معمول ارزش پول در سال بهینه‌کاوی). هر حساب با یک ردیف و ستون مشخص می‌شود و مؤلفه‌های هر سلول نیز پرداختِ حسابِ یک ستون به حسابِ یک ردیف را ثبت می‌کنند. بنابراین، مؤلفه‌های درآمدِ حساب –ارزشِ وصول حاصل از فروش کالا– در ردیف ظاهر می‌شود و مؤلفه‌های مخارج –ارزش ورودی‌ها به فعالیتِ تقاضا یا تولیدِ کالا– در ستون ظاهر می‌شود (کینگ،[1] ۱۹۸۵).

ساختارِ SAM بازتابی از اصلِ «دفترداریِ دوبل»[2] است که ملزم می‌دارد به ازای هر حساب، درآمد کل – ردیف کل– با مخارج کل –ستون کل– برابر باشد. این حالت طبق شکل ۱٤,۲ مشخص می‌شود که جمع هر ردیف در چارک‌های بالای ماتریس‌های $\overline{\mathbf{X}}$ و $\overline{\mathbf{G}}$ متناظر با توصیفِ تسویه بازار کالای حاصل از معادله ۱٤,۱

[1] King

[2] double-entry book-keeping

است و جمع هر ردیف در چارکِ پایین سمتِ چپِ ماتریس $\overline{\mathbf{V}}$ با توصیفِ تسویه بازار عاملِ حاصل از معادله ۱٤,۲ متناظر است.



شکل ۱٤,۲ ماتریس حسابداری اجتماعی

به طور مشابه، جمع هر ستون از چارک‌های سمت چپ ماتریس‌های $\overline{\mathbf{X}}$ و $\overline{\mathbf{V}}$ متناظر با توصیفِ سودِ صفر در صنایعِ معادله ۱٤,۳ است. علاوه بر این پس از آنکه این شروط برقرار شد، جمع مؤلفه‌های چارکِ سمت راست بالا و سمت چپ پایین (به ترتیب $\overline{\mathbf{G}}$ و $\overline{\mathbf{V}}$) باید با یکدیگر برابر باشد که با رابطه توازن درآمد حاصل از معادله ۱٤,٤ متناظر است. مورد دوم بازنمودی از این شهود است که در اقتصاد بسته –انباشتِ مؤلفه‌های مخارج– GDP متناظر با ارزش‌افزوده است –انباشتِ مؤلفه‌های درآمد. این ویژگی‌ها SAM را به پایگاه داده ایدئالی تبدیل می‌کند که می‌توان براساسِ آن مدل CGE را ساخت.

٤ از SAM تا مدل CGE: اقتصاد CES

چارچوب جبریِ مدل‌های CGE حاصل از اعمالِ قضیه بیشینه‌سازیِ تولیدکننده و مصرف‌کننده بر چارچوب حسابداریِ SAM است. از ابزارِ آموزشیِ اقتصاد CES برای نمایش رویه‌های مرتبط استفاده می‌شود. از هر نظر، خانوارها به صورت عاملِ نماینده با ترجیحاتِ CES در نظر گرفته می‌شود در حالی که بخش‌های صنعتی را به صورت تولیدکنندگانِ شاخص با فناوری‌های تولید CES مدل‌سازی می‌کنند. بنابراین، توجه داشته باشید که تا اینجا «جبر» در قالبِ جریان‌های ارزشی بیان شد. در تحلیلِ بعدی، تمایز بین قیمت و

کمیتِ کالا و عوامل لازم خواهد بود. بر همین اساس فرض کنید که متغیرهای p_i و w_f به ترتیب نشان دهنده قیمتِ کالاها و عوامل باشند و x_{ij} و v_{fj} و g_{id} (بدون خط) نشان دهنده کمیتِ مؤلفه‌های متغیرهای ارزشی باشند که پیش‌تر تعریف شدند.

خانوارها

هدف از نماینده، به حداکثر رساندنِ میزان مفید بودن –u– از طریق انتخابِ سطوحِ مصرف کالا –g_{iC}–، تحت حاکمیتِ قیمتِ کالا –p_i– و قیود مربوط به بودجه نماینده است. همچنین ممکن است نماینده با اهدافی غیر از مصرف –C– تقاضای کالا و خدمات داشته باشد. در این مثال فرض بر آن است که $d=(C, O)$ باشد که در اینجا O نشان دهنده دیگر تقاضاهای نهایی است –برای مثال صرفه‌جویی/ سرمایه‌گذاری– که براساسِ بردار برون‌زا –خارجی– $g_{i,o}$ تعیین می‌شود. با استفاده از معادله ۱٤,٤، درآمد خالصِ نماینده –پس از کسر مالیات و بیمه و غیره– (μ) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu = \sum_{f=1}^{F} w_f V_f - \sum_{i=1}^{N} p_i g_{i,o}, \qquad \text{۱٤,٥}$$

که به ما اجازه می‌دهد تا مسئله نماینده خانوارها را به صورت زیر مطرح کنیم:

$$\max_{g_{i,C}} u[g_{1,C}, \ldots, g_{N,C}] \text{ s.t. } \mu = \sum_{i=1}^{N} p_i g_{i,C}. \qquad \text{۱٤,٦}$$

فرض ما آن است که نماینده خانوارها دارای ترجیحاتِ CES است، به گونه‌ای که تابعِ مفید بودنِ او به صورت زیر بیان می‌شود:

$$u = \left[\sum_{i=1}^{N} \alpha_i g_{i,C}^{(\omega-1)/\omega} \right]^{\omega/(\omega-1)},$$

در اینجا a_iS ضریب فنیِ تابع مفید بودن است و ω کششِ گزینه جایگزین است.

به جای حل مستقیمِ معادله ۱٤,٦، حلِ مسئله کمینه‌سازیِ مخارج مضاعف، مفید خواهد بود. بنابراین، نماینده به دنبال به حداقل رساندنِ مخارجِ خود برای دستیابی به واحدی از مفید بودن –θ– است که به واسطه انتخابِ سطوحی از تقاضای واحدِ کالا، $(\hat{g}_{i,C})$، تحت قیودِ تابع مفید بودنش است:

$$\min_{\hat{g}_{i,C}} \theta = \sum_{i=1}^{N} p_i \hat{g}_{i,C} \text{ s.t. } 1 = \left[\sum_{i=1}^{N} \alpha_i \hat{g}_{i,C}^{(\omega-1)/\omega} \right]^{\omega/(\omega-1)}. \qquad \text{۱٤,٦'}$$

متغیر θ را شاخصِ واحد مخارج می‌دانند و می‌توان آن را به صورت مفید بودنِ حاشیه‌ای/ نهاییِ مصرفِ انباشتی تفسیر کرد. راه حل این مسئله بردارِ تقاضای واحد برای مصرفِ کالاها است ـ $\hat{g}_{i,C} = \alpha_i^{\omega}\theta^{\omega}p_i^{-\omega}$ ـ که بر تقاضای نهاییِ شرطی دلالت دارد:

$$g_{i,C} = \hat{g}_{i,C}u = \alpha_i^{\omega}\theta^{\omega}p_i^{-\omega}u, \qquad \text{۱۴,۷}$$

در اینجا u نشان دهنده سطح فعالیتِ نماینده است.

تولیدکنندگان

هر تولیدکننده از طریق انتخابِ سطوحی از ورودی‌های میانجی (Xij) و عوامل اساسی (v_{fj}) به منظور تولید خروجی (y_j)، به دنبال به حداکثر رساندنِ سود است (π_j) که تحت حاکمیتِ قیمتِ خروجی‌ها (pj) ورودی‌های میانجی (pi)، عوامل (wf) و قیدِ فناوریِ تولیدش (ϖ_j) است. بنابراین، مسئله jاُمین تولیدکننده به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\max_{x_{i,j},v_{f,j}} \pi_j = p_j y_j - \sum_{i=1}^{\mathcal{N}} p_i x_{i,j} + \sum_{f=1}^{\mathcal{F}} w_f v_{f,j} \text{ s.t.}$$
$$y_j = \varpi_j[x_{1,j}, \ldots, x_{\mathcal{N},j}; v_{1,j}, \ldots, v_{\mathcal{F},j}]. \qquad \text{۱۴,۸}$$

تولیدکنندگان به فناوری CES دسترسی دارند به گونه‌ای که تابع تولید ϑ_j به شکل زیر خواهد بود:

$$y_j = \left[\sum_{i=1}^{\mathcal{N}} \beta_{i,j} x_{i,j}^{(\sigma_j-1)/\sigma_j} + \sum_{f=1}^{\mathcal{F}} \gamma_{f,j} v_{f,j}^{(\sigma_j-1)/\sigma_j}\right]^{\sigma_j/(\sigma_j-1)},$$

در اینجا، β_{ij} و Y_{ij} به ترتیب، از جمله ضرایب فنی روی کالاهای واسطه و عوامل اساسی هستند در حالی که σ_j نشان دهنده کشش صنعتیِ هر کدام از گزینه‌های جایگزین است.

حلِ مسئله کمینه‌سازی هزینه مضاعف معادله ۱۴,۸ اختیاری است. بنگاه تجاری j از طریقِ انتخابِ سطوحِ تقاضای واحد ورودی برای کالاهای $(\hat{x}_{i,j})$ و عامل اساسی $(\hat{v}_{f,j})$ به دنبال به حداقل رساندنِ هزینه واحدِ خود تحت قیودِ فناوریِ تولیدش است:

$$\min_{\hat{x}_{i,j},\hat{v}_{f,j}} p_j = \sum_{i=1}^{\mathcal{N}} p_i \hat{x}_{i,j} + \sum_{f=1}^{\mathcal{F}} w_f \hat{v}_{f,j} \text{ s.t.} \qquad \text{۱۴,۸'}$$
$$1 = \left[\sum_{i=1}^{\mathcal{N}} \beta_{i,j} \hat{x}_{i,j}^{(\sigma_j-1)/\sigma_j} + \sum_{f=1}^{\mathcal{F}} \gamma_{f,j} \hat{v}_{f,j}^{(\sigma_j-1)/\sigma_j}\right]^{\sigma_j/(\sigma_j-1)}$$

پاسخ این مسئله نشان دهنده تقاضای واحد برای ورودی کالاهای میانجی/ واسطه و عوامل اساسی است ($\hat{x}_{i,j} = \beta_{i,j}^{\sigma_j} p_j^{\sigma_j} p_i^{-\sigma_j}$ و $\hat{v}_{h,j} = \gamma_{f,j}^{\sigma_j} p_j^{\sigma_j} w_f^{-\sigma_j}$) که بر تقاضای ورودی‌های شرطی دلالت دارد:

$$x_{i,j} = \hat{x}_{i,j} y_j = \beta_{i,j}^{\sigma_j} p_j^{\sigma_j} p_i^{-\sigma_j} y_j, \qquad \text{۱۴,۹}$$

$$v_{f,j} = \hat{v}_{f,j} y_j = \gamma_{f,j}^{\sigma_j} p_j^{\sigma_j} w_f^{-\sigma_j} y_j, \qquad \text{۱۴,۱۰}$$

در اینجا، yj نشان دهنده سطوح فعالیتِ تولیدکننده است.

تعادل عمومی

به منظور فرمول‌بندیِ ساختار جبریِ مدل CGE، توسعه قیاس‌های سه شرط تعادلِ عمومی در بخش ۳ لازم است که می‌توان تقاضاهای به دست آمده در بالا را در آن وارد نمود. در ابتدا توجه کنید برای همراستاییِ معادلات ۱۴,۷، ۱۴,۹ و ۱۴,۱۰ با جریان‌های SAM باید حالتی برقرار باشد که $\bar{x}_{i,j} = p_i x_{i,j}, \bar{v}_{f,j} = w_f v_{f,j}, \bar{g}_{i,d} = p_i g_{i,d}, \bar{y}_i = p_i y_i$ و $\bar{V}_f = w_f V_f$. با استفاده از این نتیجه، معادلاتِ ۱۴,۱ تا ۱۴,۴ را می‌توان بسط و تعمیم داد تا قیمت و کمیّت مشخص شود و شروطِ تسویه بازار برای کالا و عوامل برسیم و سود صفر برای صنایع و توازن درآمد برای نماینده نیز به صورت زیر تعریف شود:

$$p_i y_i = p_i \left(\sum_{j=1}^{\mathcal{N}} x_{i,j} + g_{i,C} + g_{i,O} \right), \qquad \text{۱۴,۱′}$$

$$w V_f = w \sum_{j=1}^{\mathcal{N}} v_{f,j}, \qquad \text{۱۴,۲′}$$

$$p_j y_j = \sum_{i=1}^{\mathcal{N}} p_i \hat{x}_{i,j} y_j + \sum_{f=1}^{\mathcal{F}} w_f \hat{v}_{f,j} y_j, \qquad \text{۱۴,۳′}$$

$$\mu = \sum_{f=1}^{\mathcal{F}} w_f V_f - \sum_{i=1}^{\mathcal{N}} p_i g_{i,O} = \sum_{i=1}^{\mathcal{N}} p_i \hat{g}_{i,C} u = \theta u. \qquad \text{۱۴,۴′}$$

از جمله دیدگاه‌های مهم، طبق تحقیق مثی‌سن[1] (۱۹۸۵ a، b) این است که معادلاتِ ۱٤,۱تا ۱٤,٤ در قابل قیاس با شروطِ کاروش-کوهن-تاکر[2] در مورد تخصیصِ بهینه کالاها و عوامل و توزیعِ فعالیت‌ها در اقتصاد به حساب می‌آیند. به ویژه متغیری که عاملی مشترک در هر کدام از معادلاتِ مذکور به حساب آید قضیه مکمل (زائد) با توجه به قیودِ مضاعف و ابتداییِ باقی مانده خواهد بود. جدای از جزئیاتِ فنیِ محض، این خصیصه همان است که فرمول‌بندی و حلِ مدل‌های CGE را متحول کرده است.

شهودِ اقتصادیِ مربوط به قضیه مکمل واضح است (به مقاله پالتسیف مراجعه کنید، ۲۰۰٤). در معادله ۱٤,۳ تولیدکننده‌ای که به سود منفی می‌رسد با خروجیِ صفر به کار خود خاتمه می‌دهد. بر همین اساس، توصیفِ سود واحد برای سطح فعالیتِ تولیدکننده مربوطه (yj) مکمل محسوب می‌شود. بنابراین، می‌توان روند تعیینِ قیود را به صورت زیر نوشت:

$$p_j < \sum_{i=1}^{N} p_i \hat{x}_{i,j} + \sum_{f=1}^{F} w_f \hat{v}_{f,j},\ y_j = 0 \text{ or } p_j = \sum_{i=1}^{N} p_i \hat{x}_{i,j} + \sum_{f=1}^{F} w_f \hat{v}_{f,j},\ y_j > 0. \qquad \textbf{۱٤,۱۱}$$

از جمله دیدگاه‌های دیگر آن است که می‌توان از همین منطق در مورد نماینده خانوارها نیز استفاده کرد که تصمیمِ مربوط به مصرفِ بهینه او به صورت سودِ صفر در «تولید» درجه مفید بودن قابل تصور است: اگر هزینه کالاهای لازم برای تولیدِ یک واحد از مصرفِ نهایی بیش از مفید بودنِ نهایی/ مطلوبیتِ نهایی کالای بعدی باشد، آنگاه هیچ فعالیتِ مصرفی صورت نخواهد گرفت. پس بیشینه سمت راستِ تساوی در ۱٤,٤ به صورت زیر مطرح خواهد شد:

$$\theta < \sum_{i=1}^{N} p_i g_{i,C},\ u = 0 \text{ or } \theta = \sum_{i=1}^{N} p_i g_{i,C},\ u > 0. \qquad \textbf{۱٤,۱۲}$$

در معادلاتِ ۱٤,۱ و ۱٤,۲ هر نوع کالا یا عاملی که علاوه بر عرضه باشد قیمتِ صفر خواهد گرفت. بنابراین، توازن بین عرضه و تقاضا برای هر کدام از این ورودی‌ها مکمل سطح قیمتیِ مربوطه است (به ترتیب، pj و wf):

$$y_i > \sum_{j=1}^{N} x_{i,j} + g_{i,C} + g_{i,O},\ p_i = 0 \text{ or } y_i = \sum_{j=1}^{N} x_{i,j} + g_{i,C} + g_{i,O},\ p_i > 0, \qquad \textbf{۱٤,۱۳}$$

$$V_f > \sum_{j=1}^{N} v_{f,j},\ w_f = 0 \text{ or } V_f = \sum_{j=1}^{N} v_{f,j},\ w_f > 0. \qquad \textbf{۱٤,۱٤}$$

---

[1] Mathiesen

[2] Karush–Kuhn–Tucker

دخیل کردنِ مفید بودن در حالت مطلوب در چارچوبِ تعادل باعث می‌شود که شرط تسویه بازار u مشخص شود. به عبارت دیگر منبعی از مطلوبیت/ مفید بودن، اضافه بر منبع حاصلِ نتایجِ مصرف در مخارج واحد صفر به صورت زیر بیان می‌شود:

$$u > \mu/\theta, \theta = 0, \text{ or } u = \mu/\theta, \theta \geq 0. \qquad \text{۱۴,۱۵}$$

در نهایت لازم به ذکر است تعریفِ درآمد خالص که به صورت بیشینه سمت چپ تساوی ۱۴,۴ بیان شد، قضیه مکمل (زائد) با توجه به متغیرهای تشکیل‌دهنده‌اش نیست و بیش از پیش به واسطه معادله ۱۴,۱۵ زائد به حساب می‌آید. در مشخصاتِ تعادل عمومی، نقش ساده‌ای از یک همانی/اتحاد حسابداری[1] بازی می‌کند. یکی از شیوه‌ها برای آشکار ساختنِ این نقش در نظر گرفتنِ شاخصِ مخارج واحد به صورت قیمتِ کالای شمارنده -کالای مبنای سنجش- و ثابت دانستنِ $\Theta=1$ است. این فرض به طور خودکار معادله ۱۴,۱۵ را حذف می‌کند چون $\mu=u$ خواهد بود.

مدل CGE در قالب مکمل

مشخصاتِ مدل CGE در قالب مکمل، شامل جفت کردنِ هر کدام از معادلات ۱۴,۱۱ تا ۱۴,۱۵ با متغیر مکمل مربوطه است تا مکمل بودن آشکار شود (راثرفورد،[2] ۱۹۹۵). استفاده از ۱۴,۷، ۱۴,۹ و ۱۴,۱۰ برای رسیدن به جایگزین‌های متناسب باعث می‌شود که به دستگاه جبریِ ۱۴,۱۶a- ۱۴,۱۶f برسیم که در جدول ۱۴,۱ مشاهده می‌کنید. این معادلات به «مدل CGE» مشهور هستند.

این دستگاه یکی از گزاره‌های ریاضیاتیِ قانونِ والراس است -برای مثال، به مقاله واریان، ۱۹۹۲، صفحه ۳۴۳ مراجعه کنید- که تقاضای شبه اضافی مرتبط با اقتصاد را تعریف می‌کند:

$$\Xi(\mathbf{z}) \geq 0, \quad \mathbf{z} \geq 0, \quad \mathbf{z}'\Xi(\mathbf{z}) = 0, \qquad \text{۱۴,۱۶}$$

در اینجا $\Xi = \{\mathbf{p}, \theta, \mathbf{y}, V, u, \mu\}'$ بردار انباشته 2N+F+3 معادله است و $\mathbf{z} = \{\mathbf{y}, u, \mathbf{p}, \mathbf{w}, \theta, \mu\}$ نیز بردارِ 2N+F+3 مجهول است:

۱. N+1 نامساویِ سود صفر $\{\mathbf{p}, \theta\}$ در تعداد زیادی مجهول $\{\mathbf{y}, u\}$

۲. N+F+1 نامساویِ تسویه بازار $\{\mathbf{y}, V, u\}$ به صورت تعداد زیادی مجهول $\{\mathbf{p}, \mathbf{w}, \theta\}$

[1] accounting identity

[2] Rutherford

۳. یک تک معادله تعریف درآمد (μ) در یک تک‌مجهول (μ)

از این به بعد برای نشانه‌گذاریِ سریع از علامتِ «$\perp$» استفاده می‌کنیم که نشان دهنده رابطه قضیه مکمل زائد در معادلاتِ مدل و متغیرهای مربوطه‌اش است. بنابراین، معادله ۱٤,۱٦ را به طور خلاصه به صورت زیر می‌نویسیم:

$$\Xi(\mathbf{z}) \geq 0 \perp \mathbf{z}.$$

توجه داشته باشید که در حالت تعادل، معادلات در ستون چپ جدول ۱٤,۱ با تساوی ارضا خواهند شد و در عین حال، متغیرهای ستون وسط مثبت خواهند بود.

۵ بهینه‌کاوی و حل عددی

مسئله معادله ۱٤,۱٦ به شدت غیرخطی است، به گونه‌ای که حلی بسته برای $\mathbf{z}$ وجود ندارد. این دلیلی است برای C در مدل‌های CGE: به منظور یافتنِ تعادل عمومیِ اقتصاد با مطلوبیتِ واقع‌بینانه و توابع تولید، دستگاه معادلاتِ مربوطه را بایستی طبق SAM معرفی‌شده در بخش ۳ بهینه‌کاوی کنیم تا به مسئله‌ای عددی برسیم که بتوان آن را با استفاده از تکنیک‌های بهینه‌سازی حل کرد.

سود صفر				
$p_j \le \left(\sum_{i=1}^{N} \beta_{i,j}^{\sigma_j} p_i^{1-\sigma_j} + \sum_{f=1}^{F} \gamma_{f,j}^{\sigma_j} w_f^{1-\sigma_j}\right)^{1/(1-\sigma_j)},$	$y_j \ge 0,$	$y_j\left[p_j - \left(\sum_{i=1}^{N} \beta_{i,j}^{\sigma_j} p_i^{1-\sigma_j} + \sum_{f=1}^{F} \gamma_{f,j}^{\sigma_j} w_f^{1-\sigma_j}\right)^{1/(1-\sigma_j)}\right] = 0$	$\forall j$	۱٤,۱٦a
$\theta \le \left(\sum_{i=1}^{N} \alpha_i^{\omega} p_i^{1-\omega}\right)^{1/(1-\omega)},$	$u \ge 0,$	$u\left[\theta - \left(\sum_{i=1}^{N} \alpha_i^{\omega} p_i^{1-\omega}\right)^{1/(1-\omega)}\right] = 0$		۱٤,۱٦b
تسویه بازار				
$y_i \ge \sum_{j=1}^{N} \beta_{i,j}^{\sigma} p_j^{\sigma} p_i^{-\sigma} y_j + \alpha_i^{\omega} \theta^{\omega} p_i^{-\omega} u + g_{i,O},$	$p_i \ge 0,$	$p_i\left(y_i - \sum_{j=1}^{N} \beta_{i,j}^{\sigma} p_j^{\sigma} p_i^{-\sigma} y_j - \alpha_i^{\omega} \theta^{\omega} p_i^{-\omega} u - g_{i,o}\right) = 0$	$\forall i$	۱٤,۱٦c
$V_f \ge \sum_{j=1}^{N} \gamma_{f,j}^{\sigma} p_j^{\sigma} w_f^{-\sigma} y_j,$	$w_f \ge 0,$	$w_f\left(V_f - \sum_{j=1}^{N} \gamma_{f,j}^{\sigma} p_j^{\sigma} w_f^{-\sigma} y_j\right) = 0$	$\forall f$	۱٤,۱٦d
$u \ge \mu/\theta,$	$\theta \ge 0,$	$\theta(u - \mu/\theta) = 0$		۱٤,۱٦e
توازن درآمد				
$\mu = \sum_{f=1}^{N} w_f V_f - \sum_{i=1}^{N} p_i g_{i,O},$	$\mu \ge 0,$	$\mu\left[\mu - \left(\sum_{f=1}^{N} w_f V_f - \sum_{i=1}^{N} p_i g_{i,O}\right)\right] = 0$		۱٤,۱٦f

جدول ۱٤,۱ معادلاتِ مدل CGE

بهینه‌کاوی

به منظور بهینه‌کاویِ عددیِ مثالِ ما در مورد اقتصاد CES، ایجاد تناظر بین معادلات ۱۴,۱–۱۴,۴ و معادلاتِ ۱۴,۴–۱۴,۱ لازم است. روش‌های متفاوتی برای انجام این کار وجود دارد که علاوه بر SAM به نوعِ اطلاعاتِ موجود وابسته است. با این حال کیهو (a۱۹۹۸) رویه‌ای را تشریح می‌کند که وقتی داده‌هایی درباره قیمت‌های بهینه‌کاوی وجود دارد، غالباً کمبودهایی دارند. در حالتِ دوم، ساده‌ترین روش برای متناسب‌سازیِ معادله ۱۴,۱۶ با تعادلِ بهینه‌کاوی در SAM این است که متغیرهای قیمت را به صورت شاخصی با مقادیر بهینه‌کاویِ واحد در نظر بگیریم: $p_i=w_f=\Theta=1$ و متغیرهای فعالیت و درآمد را مقادیر واقعی به حساب بیاوریم که برابر با جمع کل ستون و ردیف در SAM در نظر گرفته شده‌اند:

$$x_{i,j} = \overline{x}_{i,j},\ v_{f,j} = \overline{v}_{f,j},\ g_{i,d} = \overline{g}_{i,d},\ y_i = \overline{y}_i,\ V_f = \overline{V}_f,\ u = \mu = \overline{G}_C.$$

سپس ضرایبِ فنیِ معادلاتِ هزینه و مخارج را می‌توان با جایگذاریِ این شروط در توابع تقاضا ۱۴,۶، ۱۴,۹ و ۱۴,۱۰ محاسبه کرد:

$$\alpha_{i,C} = (\overline{g}_{i,C}/\overline{G}_C)^{1/\omega},\ \beta_{i,j} = (\overline{x}_{i,j}/\overline{y}_j)^{1/\sigma_j} \text{ and } \gamma_{f,j} = (\overline{v}_{f,j}/\overline{y}_j)^{1/\sigma_j}. \qquad \textbf{۱۴,۱۷}$$

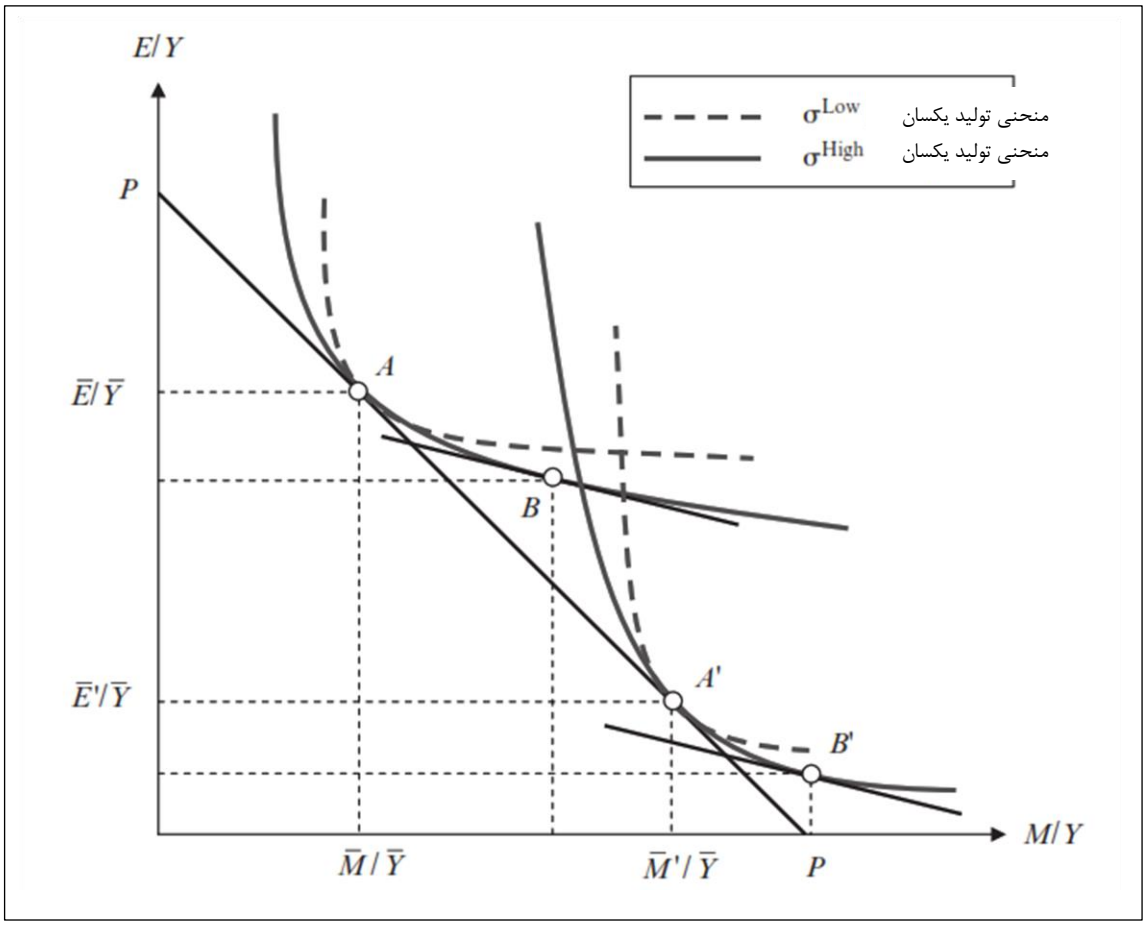
این نتیجه لزوماً مانندِ «گونه سهمِ بهینه‌کاوی شده» در تابع CES است (برای مثال به مقاله بوهرینگر و همکارانش، ۲۰۰۳ مراجعه کنید).

وارد کردنِ پارامترهای بهینه‌کاوی شده مذکور در گزاره‌های جدول ۱۴,۱ همراه با مقادیرِ مربوط به کشش و انعطاف‌پذیریِ جایگزین‌های σ و ω که تحلیلگر مشخص می‌کند، به تشکیلِ دستگاهی از نامساوی‌های عددی منجر می‌شود که مدل CGE واقعی را تشکیل می‌دهد. درک این مطلب مهم است که برای ارضای گزاره‌های حاصل با تساوی، بایستی متغیرهای قیمت را برابر با واحد قرار دهیم و متغیرهای کمیّت را با مقادیر مرتبط در SAM برابر کنیم. این رویه که به آن «تکثیرِ معیار/ تکثیر بهینه‌کاوی» می‌گویند به تحلیلگر اجازه می‌دهد تا مشخص کند که بهینه‌کاوی صحیح است یا خیر. شهودِ این فرآیند آن است که چون SAM متوازن‌شده، بازنمودی از تعادل اولیه مدل است، بازگرداندنِ مقادیرِ SAM به مجموعه تقاضای شبه اضافی عددیِ بهینه‌کاوی شده مربوطه بایستی به ایجاد تعادل منجر شود.

توجه داشته باشید که معادله ۱۴,۱۷ تکثیرِ جملاتِ $\alpha_{i,C}^{\omega}, \beta_{i,j}^{\sigma_j}$ و $\gamma_{f,j}^{\sigma_j}$ را در معادله ۱۴,۱۶ با ضرایبِ حاصل از نسبتِ سلول‌های مربوطه SAM و جمعِ کل ستون امکان‌پذیر می‌کند. استنباطِ کلیدی این است که مقادیرِ کشش‌های جایگزین هیچ‌گونه تأثیرِ عملی بر تعادلِ معیار/ تعادلِ بهینه‌کاوی ندارند که از لحاظ شهودی معنادار به نظر می‌رسد چون SAM تعیین‌کننده تعادل آغازین مدل است، با تعدادِ نامتناهیِ مقادیر بالقوه σ و ω

همخوانی دارد. نتیجه فرعی آن است که از لحاظ بنیادی، انواع جایگزین‌ها در اقتصاد به واسطه SAM تعیین می‌شوند یعنی درجه تنظیمِ کمیت‌های اقتصادی در واکنش به تغییر در قیمت.

مثالی ساده این نکته را روشن می‌سازد. شکل ۱٤,۳ حاشیه درون‌صنعتیِ جایگزین را برای صنعتی فرضی نشان می‌دهد که خروجی Y را از ورودی‌های انرژی E و مواد M تولید می‌کند. داده‌های بهینه‌کاوی در مورد مقادیرِ ورودی ($\overline{E}$ و $\overline{M}$) و خروجی $(\overline{Y} = \overline{E} + \overline{M})$ همراه با این فرضِ قیمت‌های یکه -که خط PP منفی ٤٥ درجه تعیین می‌شود- نقطه بهینه‌کاویِ منحصر به فردی را تعریف می‌کند: A. تعداد نامتناهی از منحنی‌های تولید یکسانِ[1] بالقوه از این نقطه عبور می‌کنند پس برای مشخص کردنِ فناوریِ خاصِ صنعتِ مورد نظر لازم

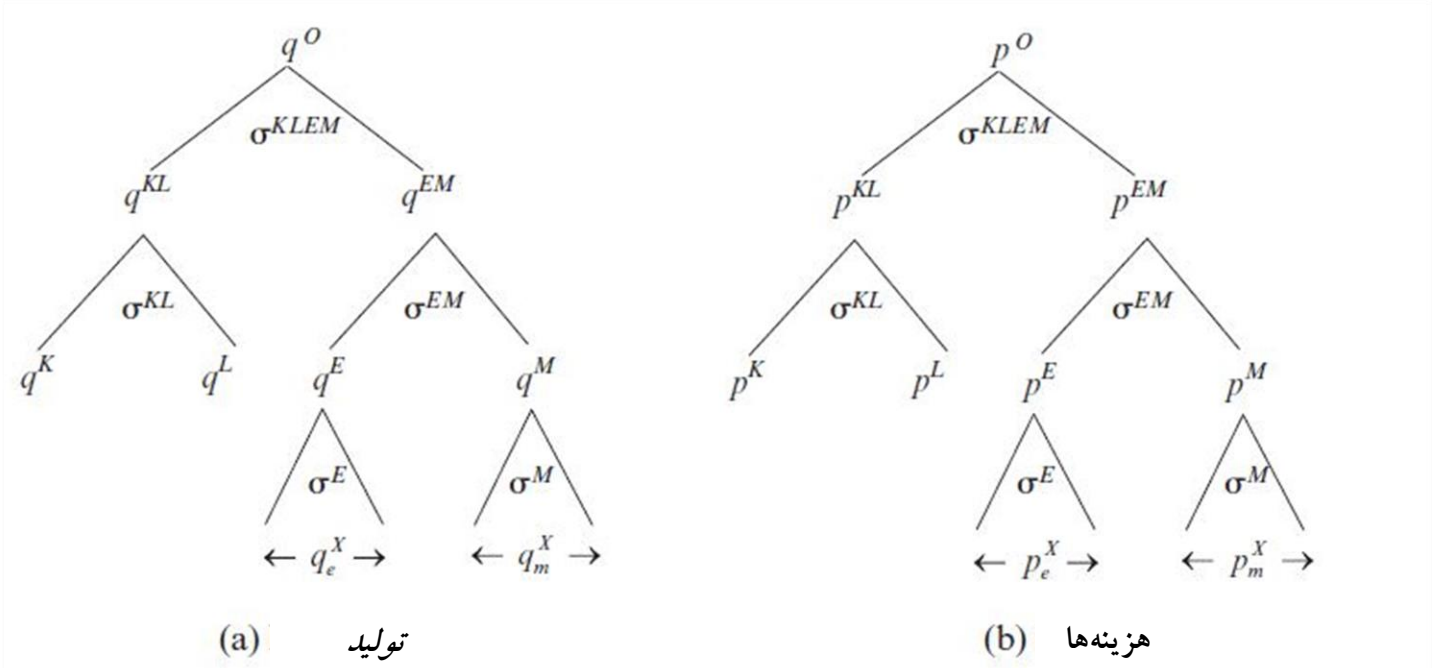


شکل ۱٤,۳ بهینه‌کاوی، کشش گزینه جایگزین و تنظیم نسبت به تغییر قیمت

[1] isoquants

است که درباره کششِ گزینه جایگزین (σ)، فرضی را مطرح کنیم. مقدار کم یا زیادِ این پارامتر (σ^{Low} یا σ^{High}) منحنیِ تولید یکسان را کم و بیش به شدت انحنادار می‌کند. بنابراین، تنظیمِ کوچکتر یا بزرگتری در چگالی ورودی‌ها در واکنش به دورانِ معینی از خط قیمتِ نسبی خواهیم داشت، $A \to B$. مکان هندسیِ نقطه بهینه‌کاوی نیز برای این فرآیند مهم است: با شروع از توزیع ورودیِ بهینه‌کاویِ دیگر، A’ (در اینجا $\overline{Y} = \overline{E}' + \overline{M}'$) تفاوت بین الگوی جدیدِ تنظیم ($A' \to B'$) و اصلی به اندازه انتقالِ القا شده به واسطه تغییر در σ است.

حال این سؤال درباره میزانِ دقتِ تعیینِ کششِ گزینه جایگزین، مطرح می‌شود که به واقع مسئله‌ای پیچیده است. در اقتصاد CES ساده ما، پارامترهای آزاد بیشتری نسبت به معادلاتِ مدل یا مشاهداتِ داده‌های بهینه‌کاوی وجود دارد و به همین دلیل، معادله ۱٤,۱۷ به مسئله ریاضیِ نامعینی تبدیل می‌شود. این دشواری در مدل‌های واقعیِ CGE مشهود است. در این مدل‌ها مشخص کردنِ توابع مخارج مصرف‌کننده و هزینه صنایع با استفاده از توابع سلسله مراتبیِ CES که هر کدام‌شان کشش چندگانه‌ای برای گزینه‌های جایگزین دارند به امری رایج تبدیل شده است.



شکل ۱٤,٤

توابع لانه‌ایِ تولید و هزینه در مدلِ گولدر[1] (۱۹۹۵) را در شکل ۱٤,٤ مشاهده می‌کنید که هر گره از این درخت، نشان دهنده خروجیِ یکی از توابع CES و شاخه‌ها نیز نشان دهنده ورودی‌های مربوطه است. در هر صنعت، گونه‌های جایگزین در بین سرمایه K، کار L، انرژی E و مواد M به واسطه پنج پارامترِ کششی کنترل می‌شوند: جایگزینی عوامل اساسی KL و کالاهای واسطه EM با σ^0، جایگزینیِ سرمایه–کار با σ^{KL}، جایگزینیِ انرژی–ماده با σ^{EM}، جایگزینیِ بین‌سوختی با σ^E و جایگزینی ورودی‌های غیرانرژی واسطه با σ^M.

برآورد یا محاسبه مقادیر این کشش‌ها بدون داشتنِ اطلاعاتِ کمکی امکان‌پذیر نیست [۱]. مدل‌سازان در مواجهه با قیود داده‌ای، گاهی تصمیم می‌گیرند تا بر مبنای قضاوت و فرضیات، از ادبیاتِ تجربی، مقادیری را برای این پارامترها انتخاب کنند. بسیاری از اقتصاددانانِ تجربیِ برجسته از ذاتِ تک موردیِ این فرآیند انتقاد کرده‌اند (برای مثال یورگنسون، ۱۹۸٤؛ مک‌کی‌تریک، ۱۹۹۸). این اقتصاددانان حامیِ رویکردی اقتصادسنجی در مورد مدل‌سازی CGE هستند. در این رویکرد، تناظرِ تقاضای شبه اضافی برخاسته از هزینه برآورده آماری و توابع مخارج است.

رویکردِ اقتصادسنجی باعث اصلاحِ بی‌ثباتیِ مشکل‌سازِ موجود بین گونه‌های لانه‌ایِ توابع CES به کار رفته در مدل‌ها و برآورد سری‌های توانیِ انعطاف‌پذیر از توابعِ مخارج یا هزینه‌های اختیاری مشاهده شده در مطالعاتِ تجربی می‌شود که به دنبال برآوردِ جفت کشش‌های جایگزینِ Allen-Uzawa (AUES) در میان انواع ورودی‌های تولید و مصرف هستند. برای مثال گونه غیرجبریِ تابع هزینه در شکل ۱٤,٤ بایستی لگاریتم قیمت خروجی را به صورت تابع درجه دو از لگاریتم‌های قیمت ورودی P و زمان t مشخص کند:

$$\log p^O = \delta_0 + \boldsymbol{\delta}_P \log \mathbf{P}' + \delta_T t + \tfrac{1}{2}\log \mathbf{P}\boldsymbol{\delta}'_{PP}\log \mathbf{P} + \boldsymbol{\delta}_{PT}\log \mathbf{P}' t + \tfrac{1}{2}\delta_{TT}t^2, \qquad \text{۱٤,۱۸}$$

در اینجا δ_0, δ_T, δ_{TT}, $\boldsymbol{\delta}_P$, $\boldsymbol{\delta}_{PP}$, $\boldsymbol{\delta}_{PT}$ بردارهای پارامتر هستند که باید برآورد شوند. براساسِ تکنیکِ شفرد[2]، مشتق این عبارت با توجه به لگاریتم قیمت ورودی به بردار سهم هزینه ورودی منجر می‌شود، $\mathbf{s} = \{s^K, s^L, s^E, s^M\}$.

$$\frac{\partial \log p^O}{\partial \log \mathbf{P}'} = \frac{\operatorname{diag}(\mathbf{P}\mathbf{Q}')}{p^O q^O} = \mathbf{s}' = \boldsymbol{\delta}'_P + \log \mathbf{P}\boldsymbol{\delta}_{PP} + \boldsymbol{\delta}'_{PT} t, \qquad \text{۱٤,۱۹}$$

در اینجا Q بردار کمیت‌های ورودی است.

---

[1] Goulder

[2] Shephard

برآورد معادلاتِ ۱٤,۸ و ۱٤,۱۹ به صورت دستگاه معادلات به تولید بردارِ معادلاتِ خطیِ بهینه‌کاوی شده به طور عددی منجر می‌شود که می‌توان از آنها در مدلِ مثالِ ما به جای معادله ۱٤,۱۷ استفاده کرد. این شیوه جایگزین، مستلزمِ استفاده از معادله ۱٤,۱۸ به جای تابع هزینه CES (a۱٤,۱٦) است و تقاضای کالا و عاملِ مشتق‌شده از معادله ۱٤,۱۹ را به جای شروطِ تسویه بازار (c۱٤,۱٦) و (d۱٤,۱٦) جایگذاری می‌کند. سپس انواعِ جایگذاری‌ها را براساسِ AUES بین هر جفت ورودی k و L تعیین می‌کنیم: $\zeta_{kl} = 1 + \delta_{kl}/(\underline{s}^k \underline{s}^l)$، در اینجا $\underline{s}$ نشان دهنده مقدار متوسطِ سهمِ هر ورودی از کل هزینه در نمونه داده‌ها است. توجه داشته باشید که فرضِ اصلیِ ما در مورد فناوری CES بر این مطلب دلالت دارد که $\zeta_{KL,j} = \zeta_{KE,j} = \zeta_{KM,j} = \zeta_{LE,j} = \zeta_{LM,j} = \zeta_{EM,j} = \sigma_j$ شرطی سختگیرانه در مورد پارامترهای برآورد شده است. داوکینز[1] و همکارانش (۲۰۰۱) تحقیقی برجسته در مورد این مسائل انجام داده‌اند.

رویکردِ اقتصادسنجی، به رغم دقت و سختگیری‌اش، بدون نقصیه نیست. اول و مهم‌ترین از همه اینکه، داده‌محور است و به مشاهداتِ سری زمانیِ در مورد قیمت و کمیتِ ورودی‌ها و خروجی‌های صنایعِ ارائه شده در مدل CGE نیاز دارد. در اغلب موارد، چنین داده‌هایی به راحتی در دسترس نیستند و به همین دلیل، از لحاظ مقایسه‌ای، کاربردِ آن به چند مدل محدود شده است (برای مثال یورگنسون،[2] ۱۹۸٤؛ مک‌کیبین و ویل‌کاکسن[3]، ۱۹۹۸؛ مک‌کیتریک،[4] ۱۹۹۸؛ فیشر–ون‌دن و هو،[5] ۲۰۰۷). نقیصه دوم و پیچیده‌تر شامل خودِ گونه‌های منعطفِ تابعی می‌شود. برای آنکه شرطِ تعادل عمومیِ *مصرف‌پذیریِ غیررایگان* برقرار شود، باید هزینه سهم شبیه‌سازی شده در تمامی قیمت‌ها اساساً مثبت باشد اما مدت‌ها عقیده بر این بود که مقادیرِ بزرگ و منفیِ برآورد شده از δ^{PP} می‌تواند به افزایش هزینه سهم‌ها منجر شود که منفی هستند! (برای مثال لوتون و لی‌بلنک،[6] ۱۹۸٤). به همین دلیل، استدلالِ پرونی[7] و راثرفورد (۱۹۹۸) این است که گونه‌های تابعیِ منعطف فاقدِ *ترتیب و نظمِ سراسری* هستند در نتیجه نمی‌توان مطمئن بود که معادلات ۱٤,۱۸ یا ۱٤,۱۹ بتوانند بردار دلخواهِ قیمت‌های مثبت را در قالبِ $\mathfrak{R}^+$ نگاشت کنند. در عمل زمانی‌که چنین مسائلی مطرح می‌شود، پیش‌بینیِ *دلیل مقدم امکان‌پذیر* نیست و در هر صورت، مدل‌سازان از اقداماتِ مقابله به مثل تک‌موردی استفاده می‌کنند [۲]. با

---

[1] Dawkins

[2] Jorgenson

[3] McKibbin –Wilcoxen

[4] McKitrick

[5] Fisher-Vanden –Ho

[6] Lutton –LeBlanc

[7] Perroni

این حال، این مسئله در شبیه‌سازیِ سیاست‌های انرژی و اقلیمی همچنان حائز اهمیت است، زیرا اعمالِ مالیاتِ بسیار بالا بر مثلاً انرژی می‌تواند باعث شود که p^E به خارج از بازه تاریخی مقادیر افزایش یابد و نتیجه این می‌شود که اگر کشش‌های قیمتیِ درون و بین فناوری به قدر کافی بزرگ باشند، آنگاه $s^E < 0$ خواهد بود.

محاسبه تعادل

رویه بهینه‌کاوی باعث تبدیلِ معادله ۱٤,۱٦ به دستگاه مربعیِ نامساوی‌های عددی می‌شود که به مسئله مکمل مختلط یا MCP[1] معروف است (فریس و پانگ،[2] ۱۹۹۷) و می‌توان آن را با استفاده از الگوریتم‌هایی حل کرد که امروزه به طور متداول در نرم‌افزارهای تجاریِ مدرن برای بهینه‌سازی وجود دارند. رویکردِ پایه، که ماثی‌سن (b،a۱۹۸۵) و راثرفورد (۱۹۸۷) توصیف کرده‌اند، یکی از انواع الگوریتم‌های نیوتن است که به طور مکرر، توالیِ مسائل مکمل خطی یا LCP[3] را حل می‌کند (کوتل[4] و همکارانش، ۱۹۹۲) که هر کدامشان یکی از بسط و تعمیم‌های سری مرتبه اول تیلور از تابع غیرخطی Ξ است؛ بنابراین، مسائل LCP حل شده در هر تکرار به صورت یافته‌های زیر خواهد بو د:

$$\mathbf{z} \geq 0 \text{ s.t. } \boldsymbol{\xi}_1 + \boldsymbol{\xi}_2\mathbf{z} \geq 0,\ \mathbf{z}^T(\boldsymbol{\xi}_1 + \boldsymbol{\xi}_2\mathbf{z}) = 0, \qquad \text{۱٤,۲۰}$$

در اینجا خطی‌سازیِ Ξ پیرامونِ $\mathbf{z}_{\{\iota\}}$، بردار وضعیتِ قیمت‌ها، سطوح فعالیت و درآمد در تکرار ι به صورت $\boldsymbol{\xi}_1[\mathbf{z}_{\{\iota\}}] = \nabla\Xi[\mathbf{z}_{\{\iota\}}]\mathbf{z}_{\{\iota\}} - \Xi[\mathbf{z}_{\{\iota\}}]$ و $\boldsymbol{\xi}_2[\mathbf{z}_{\{\iota\}}] = \nabla\Xi[\mathbf{z}_{\{\iota\}}]$ خواهد بود. مقدار z که مسئله فرعی ۱٤,۲۰ را در ιمین تکرار حل کند برابر با $\mathbf{z}^*_{\{\iota\}}$ است؛ سپس با آغاز از نقطه اولیه، $\mathbf{z}_{\{0\}}$، این الگوریتم توالی بردارهای z را تولید می‌کند که طبق جست‌وجوی خطیِ زیر اشاعه می‌یابد:

$$\mathbf{z}_{\{\iota+1\}} = \lambda_{\{\iota\}}\mathbf{z}^*_{\{\iota\}} + (1 - \lambda_{\{\iota\}})\mathbf{z}_{\{\iota-1\}}, \qquad \text{۱٤,۲۱}$$

در اینجا $\lambda_{\{\iota\}}$ کنترل‌کننده طولِ گام رو به جلو در هر تکرار است. معیارِ همپوشانی برای این الگوریتم که متشکل از معادلات ۱٤,۲۰ و ۱٤,۲۱ است به صورت $\|\Xi(\mathbf{z}^*)\| < \varphi$ تعریف می‌شود که معادلِ سطح بیشینه تقاضای اضافی، سود یا درآمد است که تحلیلگر در آن نقطه فرض می‌کند اقتصاد به تعادل رسیده است.

---

[1] mixed complementarity problem

[2] Ferris –Pang

[3] linear complementarity problems

[4] Cottle

امروزه اصلاحاتِ فراوانی برای این رویکرد در مقالات مشاهده می‌شود که بر مبنای روش‌های هوموتوپی (هم‌مکانیِ) پیرو مسیر است که به طور نظری، در مقاله گارسیا و زانگ‌ویل[1] (۱۹۸۱) تشریح شده است و کیهو[2] (۱۹۹۱، صفحات ۲۰۶۱-۲۰۶۵) و ایوس و اشمدرز[3] (۱۹۹۹) نیز کاربرد آن را توضیح داده‌اند. دیرکس و فریس (۱۹۹۵)، فریس و همکارانش (۲۰۰۰) و فریس و کانزوف (۲۰۰۲) جزئیاتِ الگوریتم‌ها و بحث درباره ویژگی‌های همپوشانیِ این روش‌ها را ارائه می‌کنند. در نرم‌افزارهای مدرن، φ به طور متداول از لحاظ بزرگی، شش مرتبه کوچکتر از مقدار درآمد انباشتی است.

توضیح مذکور این سؤال را به وجود می‌آورد که مدل‌های CGE تا چه حد در یافتنِ تعادل توانمند هستند. تجربه حاصل از راهکارهای متداولِ مدل‌های CGE بهینه‌کاوی شده بر مبنای داده‌های اقتصادیِ واقعی و وجودِ انحرافاتِ فراوان در انواع قیمت و کمیت حاکی از آن است که رویه‌های ذکرشده منسجم و نیرومند هستند. با این حال ارائه پاسخی قطعی به این پرسش اندکی پیچیده و دشوار است چون به ماهیت، منحصر به فرد بودن و توانایی تعادلِ عمومیِ شبیه‌سازی شده وابسته است. به سبب کمبود فضا، این مسائل خارج از بحث هستند؛ اما به همین میزان بسنده می‌کنیم که بگوییم آزمونِ چندپارگی تعادل‌ها در مدل‌های CGE دنیای واقعی به ندرت انجام می‌شود و بخش عمده‌ای از مطالعات با این فرض انجام شدند که راه حل مدل‌هایشان منحصر به فرد و پایدار است. برای کسب اطلاعات بیشتر شما را به تحقیقاتِ برجسته کیهو (۱۹۹۱، b۱۹۹۸) و ارزیابی این مقالات توسط سووینگ[4] (۲۰۰٤) ارجاع می‌دهیم.

٦ مدل‌سازی سیاست‌های انرژی و زیست‌محیطی

در اکثر مواقع، متغیرهای سیاست در مدل‌های CGE در شکل پارامترهایی ظاهر می‌شوند که به طور برون‌زا توسط تحلیلگر تعیین شده‌اند که یا قیمت محورند (مالیات و کمک هزینه/ یارانه) یا کمیت محورند (قیود مربوط به تقاضا و یا عرضه). شروع کار با تعادل اولیه مشخص‌شده در SAM باعث می‌شود که اقتصاد به سمت تعادل جدیدی همگرا شود – تغییر در یک یا چند پارامتر باعث اختلال در بردار قیمت و سطوح فعالیت می‌شود. به منظور ارزیابی اثرِ سیاست برخاسته از این تغییر، تحلیلگر بردار تعادلِ پیش‌تغییر و پس‌تغییرِ قیمت‌ها، سطوح فعالیت و سطوح درآمد را با توجه به دقت و واقع‌بینیِ فرضیاتِ مدل مقایسه می‌کند.

---

[1] Garcia – Zangwill

[2] Kehoe

[3] Eaves –Schmedders

[4] Sue Wing

این رویکرد از مزیتِ اندازه‌گیریِ اثرِ نهاییِ سیاست‌ها بر سلامتِ انباشته مصرف‌کننده از لحاظ نظری برخوردار است که با تعیینِ کمیتِ تغییرات در میزانِ مصرف و درآمدِ نماینده خانوارها –حاصل از تعاملاتِ فراوانِ عرضه و تقاضا در بین بازارهای اقتصاد– به این مزیت دست می‌یابد. از جنبه دیگر می‌توان گفت که این کاربردپذیری، ریشه انتقادِ مربوط به «جعبه سیاه» است که در مقدمه به آن اشاره کردیم زیرا ممکن است سیاستگذاران بخواهند مدل‌های CGE را نوعی گوی غیب‌گوییِ اقتصادی بدانند. برخلاف این حالت، مفید بودنِ مدلCGE در مقامِ ابزاری برای تحلیلِ سیاست، چندان به دقتِ پیش‌بینی‌گری‌اش ربط ندارد و بیشتر به تواناییِ آنها بر آشکار ساختنِ سازوکارهای مسئولِ دستکاری قیمت‌ها و کمیت‌ها در بین بازارها وابسته است. بنابراین، مدل‌های CGE را بایستی به طور مناسب، آزمایشگاهِ محاسباتی در نظر بگیریم که در آن، دینامیکِ تعاملاتِ اقتصادی تحلیل می‌شود؛ سیاست‌ها نیز اثرات خود را از همین تعاملات مشتق می‌کنند.

در ادامه این فصل بر تولید در بخش انرژی و مصارفِ کالاهای انرژی‌محور در اقتصاد متمرکز می‌شویم. تأکید بر این نکته لازم است که کالاهای انرژی‌محور قابلیت بازتولید دارند و از طریق ترکیب ورودی‌های منابع طبیعی (که غیر بازتولید هستند و ذخایر اصلی انرژی به حساب می‌آیند) با کار، سرمایه و کالاهای واسطه‌ای ساخته می‌شوند. بر همین اساس، بردار کالاها و صنایع در قالبِ زیرمجموعه‌های ε کالاها/ بخش‌های انرژی دسته‌بندی می‌شوند و با نمادِ e نشانه‌گذاری خواهند شد. همچنین مواد و کالاها/ بخش‌های غیرانرژی‌محور M نیز با نماد m نشانه‌گذاری می‌شوند.

ابزارهای قیمتی

نمایشِ اثر بر تعادلِ ابزارهای قیمتی نظیر مالیات و کمک هزینه‌ها/ یارانه‌ها ساده‌ترین کار است. در مدل CGE به طور معمول، مالیات براساس ارزش[1] مشخص می‌شود که طبق این شیوه، مالیات با نرخی معین تعیین‌کننده افزایش کمی در سطح قیمتِ کالای مالیات‌دار است. برای مثال مالیات براساس ارزش با نرخ τ برای خروجیِ صنعتِ e باعث ایجادِ شکافی بین قیمت تولیدکننده خروجی، p_e و قیمتِ مصرف‌کننده، $(1+\tau)p_e$ در فرآیندی می‌شود که y_e واحد خروجی با مقدار $\tau\, y_e p_e$ به درآمدزایی می‌رسیم. می‌توان با فرض$\tau>0$ کمک هزینه/ یارانه‌ای را که باعث کاهش قیمت شود نیز در این شیوه دخیل کرد.

به طور مفهومی، سه نوع بازار در اقتصاد وجود دارد که در آنها می‌توان مالیاتِ پایه بر انرژی یا کمک هزینه‌ها را وضع کرد: بازارِ خروجیِ بخش‌های انرژی –که با بالاوندِ Y مشخص می‌شود– بازار مصرفِ انرژی –که با بالاوند C مشخص می‌شود– و بازار ورودیِ انرژی برای تولید در هر صنعت که با بالاوند X مشخص

[1] ad valorem

می‌شود. فرض کنید که نرخ مالیات یا کمک هزینه‌ای را که به هر کدام از این بازارها مربوط می‌شود به ترتیب با τ_e^Y، τ_e^C و $\tau_{e,j}^X$ نشان دهیم. اگر این نرخ‌های مطابق با ارزش –براساسِ ارزش– را پارامترهای برون‌زایِ سیاست در نظر بگیریم به راحتی در اقتصاد CES ما یکپارچه می‌شوند. مسئله نماینده به شکل زیر تغییر می‌کند:

$$\min_{\hat{g}_{i,C}} \theta = \sum_{e=1}^{\mathcal{E}} (1+\tau_e^C)(1+\tau_e^Y) p_e \hat{g}_{e,C} + \sum_{m=1}^{\mathcal{M}} p_m \hat{g}_{m,C}$$

$$\text{s.t. } 1 = \left[\sum_{i=1}^{\mathcal{N}} \alpha_i \hat{g}_{i,C}^{(\omega-1)/\omega} \right]^{\omega/(\omega-1)}, \qquad \text{۱۴,۶″}$$

در حالی که، مسئله تولیدکننده به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\min_{\hat{x}_{i,j},\, \hat{v}_{f,j}} p_j = \sum_{e=1}^{\mathcal{E}} (1+\tau_{e,j}^X)(1+\tau_e^Y) p_e \hat{x}_{e,j} + \sum_{m=1}^{\mathcal{M}} p_m \hat{x}_{m,j} + \sum_{f=1}^{\mathcal{F}} w_f \hat{v}_{f,j}$$

$$\text{s.t. } 1 = \left[\sum_{i=1}^{\mathcal{N}} \beta_{i,j} \hat{x}_{i,j}^{(\sigma_j-1)/\sigma_j} + \sum_{f=1}^{\mathcal{F}} \gamma_{f,j} \hat{v}_{f,j}^{(\sigma_j-1)/\sigma_j} \right]^{\sigma_j/(\sigma_j-1)}, \qquad \text{۱۴,۸″}$$

که به تقاضاهای واسطه و نهاییِ جدید برای کالاهای انرژی‌محور منجر می‌شوند:

$$g_{e,C} = \alpha_e^{\omega} \theta^{\omega} [(1+\tau_e^C)(1+\tau_e^Y) p_e]^{-\omega} u, \qquad \text{۱۴,۲۲}$$

$$x_{e,j} = \beta_{e,j}^{\sigma_j} p_j^{\sigma_j} [(1+\tau_{e,j}^X)(1+\tau_e^Y) p_e]^{-\sigma_j} y_j. \qquad \text{۱۴,۲۳}$$

هر مالیات (کمک هزینه/ یارانه) جریانِ درآمدی مثبت (منفی) ایجاد می‌کند که درآمدِ مصرف‌کننده را افزایش (کاهش) می‌دهد و در عین حال بر تولید و جذبِ کالای مورد نظر تأثیری منفی (مثبت) می‌گذارد. در مدل‌های نماینده–عامل، ساده‌ترین راه برای نمایشِ این پدیده آن است که دولت را نهادی خنثی در نظر بگیریم که درآمدهای مالیاتی را جمع می‌کند و بلافاصله آن را به صورت مکمل سرجمع برای درآمد حاصل از بازده عوامل، به یک خانوار تحویل می‌دهد. این رویکرد بر نمایشِ دولت به صورت بخشی آشکار در مدل دلالت دارد. به راحتی می‌توان مالیات و یارانه را به صورت انتقالِ قدرتِ خرید ***از*** و ***به*** نماینده خانوارها تعریف کرد. در این وضعیت، توابع تقاضای ۱۴,۲۲ و ۱۴,۲۳ و نیز تعدیلاتِ لازم برای درآمد به دگرگونیِ معادله ۱۴,۱۶ به رابطه جدید تقاضای شبه اضافی ۱۴,۲۴ منجر می‌شود:

$$p_j \leq \left\{ \sum_{e=1}^{\mathcal{E}} \beta_{e,j}^{\sigma_j} [(1 + \tau_{e,j}^X)(1 + \tau_e^Y) p_e]^{1-\sigma_j} + \sum_{m=1}^{\mathcal{M}} \beta_{m,j}^{\sigma_j} p_m^{1-\sigma_j} + \sum_{f=1}^{\mathcal{F}} \gamma_{f,j}^{\sigma_j} w_f^{1-\sigma_j} \right\}^{1/(1-\sigma_j)} \quad \perp y_j \qquad \text{١٤,٢٤a}$$

$$\theta \leq \left\{ \sum_{e=1}^{\mathcal{E}} \alpha_e^{\omega} [(1 + \tau_e^C)(1 + \tau_e^Y) p_e]^{1-\omega} + \sum_{m=1}^{\mathcal{M}} \alpha_m^{\omega} p_m^{1-\omega} \right\}^{1/(1-\omega)} \quad \perp u \qquad \text{١٤,٢٤b}$$

$$y_e \geq \sum_{j=1}^{\mathcal{N}} \beta_{e,j}^{\sigma_j} p_j^{\sigma_j} [(1 + \tau_{e,j}^X)(1 + \tau_e^Y) p_e]^{-\sigma_j} y_j + \alpha_e^{\omega} \theta^{\omega} [(1 + \tau_e^C)(1 + \tau_e^Y) p_e]^{-\omega} u + g_{e,O} \quad \perp p_e \qquad \text{١٤,٢٤c'}$$

$$y_m \geq \sum_{j=1}^{\mathcal{N}} \beta_{m,j}^{\sigma_j} p_j^{\sigma_j} p_m^{-\sigma_j} y_j + \alpha_m^{\omega} \theta^{\omega} p_m^{-\omega} u + g_{m,O} \quad \perp p_m \qquad \text{١٤,٢٤c''}$$

$$V_f \geq \sum_{j=1}^{\mathcal{N}} \gamma_{f,j}^{\sigma_j} p_j^{\sigma_j} w_f^{-\sigma_j} y_j \quad \perp w_f \qquad \text{١٤,٢٤d}$$

$$u \geq \mu/\theta, \quad \perp \theta \qquad \text{١٤,٢٤e}$$

$$\mu = \sum_{f=1}^{\mathcal{F}} w_f V_f - \sum_{i=1}^{\mathcal{N}} p_i g_{i,O} + \sum_{e=1}^{\mathcal{E}} \tau_e^Y p_e y_e$$

$$+ \sum_{e=1}^{\mathcal{E}} \tau_e^C (1 + \tau_e^C)^{-\omega} [(1 + \tau_e^Y) p_e]^{1-\omega} \alpha_e^{\omega} \theta^{\omega} u$$

$$+ \sum_{e=1}^{\mathcal{E}} \sum_{j=1}^{\mathcal{N}} \tau_{e,j}^X (1 + \tau_{e,j}^X)^{-\sigma_j} [(1 + \tau_e^Y) p_e]^{1-\sigma_j} \beta_{e,j}^{\sigma_j} p_j^{\sigma_j} y_j \qquad \perp \mu. \qquad \textbf{۱۴,۲۴f}$$

می‌توان دستگاه مذکور را برای تعادلی جدید و تعرفه‌محور حل کرد که تخصیص کمیت و قیمتِ آن با تعادلِ بهینه‌کاویِ اصلی، بدون مالیات، قابل مقایسه است. معیارِ تأثیرِ انباشتِ مالیات بر سلامتِ اقتصادیِ همان نوسانِ متناظر است. برحسب تغییر در میزان مصرفِ نماینده (u) و با توجه به تعادلِ اولیه که معادلِ کاهشِ قدرتِ خریدِ واقعیِ خانوارها ناشی از انحراف در قیمت‌های نسبی است می‌توان این مورد را برآورد کرد. لازم به ذکر است که معنادارترین تعدیل در رابطه تقاضای شبه اضافی اصلی همان جملاتِ معادله تعریفِ درآمد (f۱۴,۲۴) هستند. استنباط این است که اثرِ رفاهیِ تک مالیات یا کمک هزینه، به مراوداتِ بین انبوهی از عوامل وابسته است: سطح مالیات و توزیعِ دیگر مالیات‌ها و یارانه‌ها/ کمک هزینه‌ها در بین تمامی بازارهای اقتصاد، مشخصاتِ بازاری خاص که در آن مالیات وضع می‌شود، پیوند بین این بازار و دیگر بازارها در اقتصاد و ارزشِ بردارِ پارامترهای بهینه‌کاوی شده α، β و Υ.

توانایی به حساب آوردنِ دقیقِ پیامدهای درآمدیِ قیمتِ بین‌بازاری و تعدیلِ کمیت‌ها همان چیزی است که رویکردِ فعلی را از تحلیلِ تعادلِ جزئی متمایز می‌سازد؛ اما اشاره‌ای نیز به انتقادات مربوط به جعبه سیاه دارد. غیرخطی بودن و چندبُعدی بودنِ رابطه تقاضای شبه اضافی، درون‌یابیِ اثرِ خالصِ افزودن یا حذفِ تک انحراف را حتی در مدل‌هایی با تعدادِ متوسطی از بخش‌ها یا خانوارها دشوار می‌سازد. به علاوه غالباً، دسته‌بندیِ کامل و درکِ گستره تعاملات و مراوداتی که به تعادلِ *پسا–مالیات* منجر می‌شوند مستلزم آن است که تحلیلگر تحلیل و آزمایشِ *عطف به ماسبق* فراوانی انجام دهد.

ابزارهای کمیتی

در مقایسه با مالیات‌ها، ابزارهای کمّی از لحاظ ویژگی‌ها و کاربردهایشان بسیار فرق دارند. متمایز دانستنِ خودِ ابزار –که به واسطه یک یا چند پارامترِ کمّیِ برون‌زا نمایش داده می‌شود– و تأثیرش بر عرضه و تقاضا در بازاری خاص یا مجموعه‌ای از بازارها که بایستی با استفاده از یک یا چند معادله کمکی توصیف شود، مفید

خواهد بود. گرچه ممکن است پارامتری‌سازیِ ابزارهای کمّیتی ساده باشد اما گاهی اوقات یکپارچه کردن مشخصه‌های پیچیده تأثیراتِ اقتصادی‌شان از طریق فرمول‌بندیِ مناسبِ معادلاتِ کمکی می‌تواند چالش‌برانگیز باشد. قیودِ کمیتِ مدل‌سازی در چارچوبِ مکمل باعث لزومِ وارد کردنِ متغیری مضاعف (دوگانه) می‌شود تا امکانِ جفت کردنِ معادله کمکی (اصلی) فراهم شود. از لحاظ شهودی، انحراف کمیتیِ تعریف شده طبق این معادله، انحراف قیمتِ مکملی تولید می‌کند که اثری مشابه با مالیات یا یارانه دارد. در نتیجه با آنکه در بخشِ قبلی، انحراف قیمت پارامتری برون‌زا بود اما در اینجا قیمت سایه‌ای (شبه‌قیمت)[1] به حساب می‌آید –متغیرِ درون‌زایی که قضیه مکمل زاید را با توجه به ابزارِ کمیتی نشان می‌دهد. علاوه بر این همانند مالیات، انحراف کمیتی به تولیدِ جریانی از اجاره‌بها می‌انجامد که بایستی جایی در اقتصاد تخصیص داده شود.

غالباً معادله کمکی به صورت قیدِ سهمیه‌بندی معرفی می‌شود که طبق آن ابزارِ کمیتی برای عرضه و یا استفاده از یک یا چند کالای انرژی‌محور، کران بالا یا پایین را مشخص می‌کند. چنین قیودی ممکن است مستقیم باشند در حالی که برازندگی و مطلوبیتِ انرژیِ مورد نظر در معرض محدودیت‌ها –غیرمستقیم– قرار دارد و برخی از خصیصه‌های این مطلوبیت نیز با قید و بندهایی مواجه است (مثلاً مقدار CO_2 حاوی). همچنین می‌توان آنها را برحسب جملاتی مطلق یا نسبی توصیف کرد به طوری که مورد اول به حدِ برون‌زا در انرژی یا خصیصه‌های آن مربوط می‌شود و مورد دوم، این کمیت‌ها را به دیگر متغیرهای اقتصاد پیوند می‌دهد. در شکل ۱٤,۵ خلاصه‌ای از این ملاحظات و چند مثال را مشاهده می‌کنید. تولید و یا مصرفِ کالای انرژی‌محور را می‌توان به طور مستقیم مشخص کرد که در واقع، وضعیتی مربوط به انقطاعِ منبعِ انرژی یا نوعی از مداخله مستقیمِ دولت در بازارها در مواقع بروز بحران است. همچنین سیاست‌هایی نظیر *استانداردِ سبدِ تجدیدپذیر* (RPS)[2] که به صورت ابزارهای رایج برای ترویجِ منابعِ جایگزینِ عرضه برق معرفی شدند از طریقِ اعمالِ کرانِ پایین بر تولیدِ انرژی‌های تجدیدپذیر –که با فروشِ انرژی‌های مرسوم ارزش ترازی پیدا می‌کنند– به صورت قیدِ سهمیه‌بندیِ نسبی عمل می‌کنند. برخلافِ این معیارهای مستقیم، سیاست‌هایی نظیر تقلیلِ تغییراتِ اقلیمی باعث محدود شدنِ گسیل آلاینده‌ها از سبدِ سوخت‌های فسیلی می‌شود و در نهایت به طور غیرمستقیم و درون‌زا از میزانِ تقاضا برای اکثرِ سوخت‌های CO_2محور می‌کاهد. در نهایت می‌توان حد مجاز گسیل را به گونه‌ای نسبی نظیرِ *سقفِ چگالی* اعمال کرد که الرمن[3] و سو وینگ درباره آن بحث کردند (۲۰۰۳). با انتخابِ خردمندانه سطحِ این سقف، اثرِ آینده آن بر گسیلِ GHG و عرضه و تقاضای انرژی می‌تواند همانند

[1]Shadow price

[2]renewable portfolio standard (RPS)

[3]Ellerman

همتای مطلق خود تحت شرایط معین باشد. با این حال ورودِ عدم‌قطعیتِ پیشین به سقف‌هایی منجر خواهد شد که برحسب شدت و مقادیرِ مطلق تعیین شده‌اند و اثراتِ اقتصادیِ متفاوتی دارند [۳].

شکل ۱٤,٥ ابزارهای کمیتی: طبقه‌بندی و مثال‌ها

	نسبی	مطلق
مستقیم	استاندارد سبد تجدیدپذیر	سهمیه‌بندی/ کاهش عرضه
غیرمستقیم	سقف چگالی GHG	سقف گسیل GHG

فرآیند سهمیه‌بندیِ محض بسیار ساده است. با توجه به معادله بدون تعرفه ۱٤,۱٦ فرض بر آن است که کالای انرژیِ خاصی (مثلاً e') وجود دارد که عرضه آن با سقفِ مجازِ کمیتی qe' مواجه باشد. ساده‌ترین شیوه برای مدل‌سازیِ شرط مذکور آن است که تعرفه *براساسِ ارزشِ* درون‌زا ($\tau^{Y}_{e'}$) را بر خروجیِ e' اعمال کنیم. توجه داشته باشید که $\tau^{Y}_{e'}$ پارامتر نیست بلکه متغیرِ کمکی است که برای سهمیه مورد نظر، مضاعف حساب می‌شود: با افزایشِ قیمتِ مالیاتِ کل، pe' تعرفه باعث کاهشِ تقاضای انباشتی به ازای e' تا نقطه‌ای می‌شود که شرطِ مربوط به سقف/ حد برقرار شود. رابطه تقاضای شبه اضافی جدید ۱٤,۲٥- متشکل از معادلاتِ b۱٤,۱٦ تا e۱٤,۱٦ است که شرطِ سودِ غیرصفرِ جدیدی به حساب می‌آید که تعرفه خروجیِ درون‌زا را در برگرفته است:

$$p_{e'} \le (1+\tau^{Y}_{e'})\left(\sum_{i=1}^{\mathcal{N}}\beta_{i,j}^{\sigma_j}p_m^{1-\sigma_j}+\sum_{f=1}^{\mathcal{F}}\gamma_{f,j}^{\sigma_j}w_f^{1-\sigma_j}\right)^{1/(1-\sigma_j)} \quad \perp y_{e'} \qquad \text{۱٤,۲٥a'}$$

$$p_j \le \left(\sum_{i=1}^{\mathcal{N}}\beta_{i,j}^{\sigma_j}p_m^{1-\sigma_j}+\sum_{f=1}^{\mathcal{F}}\gamma_{f,j}^{\sigma_j}w_f^{1-\sigma_j}\right)^{1/(1-\sigma_j)} \quad \perp y_j \;\; j\neq e', \qquad \text{۱٤,۲٥a''}$$

قیدِ سهمیه‌بندی با تعرفه مضاعف:

$$y_{e'} \le q_{e'} \quad \perp \tau^{Y}_{e'}, \qquad \text{۱٤,۲٥g}$$

و معادله تعریف درآمدِ جدید که شاملِ اجاره‌بهای محضِ حاصل از عرضه با قید است و فرض می‌شود که به نماینده برمی‌گردد:

$$\mu = \sum_{f=1}^{\mathcal{F}} w_f V_f - \sum_{i=1}^{\mathcal{N}} p_i g_{i,O} + \tau^{Y}_{e'} q_{e'} \quad \perp \mu. \qquad \text{۱٤,۲٥f}$$

ارائه فرضیه‌های جایگزین درباره مکانِ تخصیصِ جریانِ درآمدیِ مذکور امکان‌پذیر است؛ برای مثال می‌توان از طریقِ تعریفِ کمک هزینه *براساسِ ارزشِ* درون‌زا برای خروجیِ بخشِ مورد نظر ($\tau^{Y}_{i} < 0$)، که ارزشِ

درآمد یارانه‌ای با ارزشِ اجاره‌بها برابر است، اجاره‌بها را به صورت جمع‌شونده در صنعتی خاص، مدل‌سازی کرد (مثلاً j’): $\tau_{e'}^{Y} q_{e'} = \tau_{j'}^{Y} p_{j'} y_{j'}$. این قید تشکیل‌دهنده معادله کمکیِ اضافی است که در آن $\tau_{j'}^{Y}$ متغیرِ مکمل خواهد بود. علاوه بر این بازمشخص‌سازیِ شرطِ سودِ صفر برای j’ به صورت مشابه در معادله a’۱٤,۲٤ به منظور به حساب آوردنِ اثراتِ اعوجاجی و انحرافیِ یارانه بر قیمت‌های نسبی لازم است.

دومین مثال به یکی از سیاست‌های RPS مربوط می‌شود که دولت حکم می‌کند بخشی از عرضه انرژیِ انباشته ($\rho \in (0, 1)$) باید از منابعِ تجدیدپذیر حاصل شود. فرض کنید که مجموعه صنایعِ انرژی در قالبِ منابعِ تجدیدپذیر و مرسوم دسته‌بندی شود که به ترتیب با نمادهای $\mathcal{E}^C$ و $\mathcal{E}^R$ نشان داده می‌شوند همچنین فرض کنید که هر واحد از فعالیت در این بخش‌ها (y_e) به تعدادِ ε_e واحدِ فیزیکیِ انرژی تولید می‌کند. سپس می‌توان RPS را با قیدِ سهمیه‌بندی به صورت رو به‌رو تعریف کرد: $\Sigma_{e \in \mathcal{E}^R} \varepsilon_e y_e \geq \rho \Sigma_{e=1}^{\mathcal{E}} \varepsilon_e y_e$. برای تطابق با استاندارد، تأمین‌کنندگان انرژی بایستی حتماً خودشان به طور جمعی مالیات را جمع کنند تا منابع مالیِ تولیدِ p واحد انرژی تجدیدپذیر برای هر واحد از انرژیِ تولیدشده در سطح سامانه تأمین گردد. بهای تأمینِ مالیِ نهایی به ازای هر واحد از انرژی انباشته تأمین‌شده را می‌توان به صورت مالیاتِ درون‌زا τ^{RPS} در نظر گرفت که پرداخت‌هایش به سمت تولیدکنندگانِ انرژی‌های تجدیدپذیر، بازگشت داده می‌شود. بنابراین، هر بنگاه انرژی هزینه‌ای اضافی ($\rho\tau^{\text{RPS}}$) به ازای هر واحد از انرژی تولیدشده می‌پردازد در حالی که تأمین‌کنندگانِ انرژی‌های تجدیدپذیر در حالتِ گروهی به طور کامل τ^{RPS} را به ازای هر واحد از انرژی که تولید می‌کنند دریافت خواهند کرد [٤].

روشی شهودی برای درکِ این نتیجه آن است که RPS را به صورت طرحِ اعتباریِ انرژی‌های تجدیدپذیرِ قابل معامله در نظر بگیریم (برای مثال به مقاله بارون و سریت مراجعه کنید، ۲۰۰۲). یک واحد انرژی تأمین‌شده از سوی تولیدکننده انرژی‌های تجدیدپذیر «یک اعتبار» تولید می‌کند که می‌توان آن را فروخت در حالی که یک واحد انرژیِ تولیدشده —صرف نظر از منشأ آن— نیازمندِ خریدِ «p اعتبار» به عنوان بهای تأمین مالیِ انرژی تجدیدپذیر است. یکی از استنباط‌های مهم در اینجا آن است که برخلافِ مثالِ مربوط به سهمیه‌بندی، RPS اجاره‌بهای محض نمی‌سازد —صرفاً درآمد را از تولیدکنندگانِ انرژی‌های رایج به تولیدکنندگانِ انرژی‌های تجدیدپذیر بازتویع می‌نماید و اثری غیرمستقیم بر درآمدِ انباشتی دارد که به واسطه قیمتِ کالاهای انرژی‌محور عمل می‌کند. بر همین اساس در معادله تقاضای اضافیِ جدید ١٤,٢٦ تمامی اقدامات با شرطِ سود صفر برای صنایع انجام می‌شود:

$$p_j \le \left(\sum_{i=1}^{N}\beta_{i,j}^{\sigma_j}p_m^{1-\sigma_j} + \sum_{f=1}^{\mathcal{F}}\gamma_{f,j}^{\sigma_j}w_f^{1-\sigma_j}\right)^{1/(1-\sigma_j)} \qquad \perp y_j \;\; j \in \mathcal{M} \qquad \text{۱۴,۲۶a}'$$

$$p_j \le \left(\sum_{i=1}^{N}\beta_{i,j}^{\sigma_j}p_m^{1-\sigma_j} + \sum_{f=1}^{\mathcal{F}}\gamma_{f,j}^{\sigma_j}w_f^{1-\sigma_j}\right)^{1/(1-\sigma_j)} + \rho\tau^{\mathrm{RPS}} \qquad \perp y_j \;\; j \in \mathcal{E}^C \qquad \text{۱۴,۲۶a}$$

$$p_j + \tau^{\mathrm{RPS}} \le \left(\sum_{i=1}^{N}\beta_{i,j}^{\sigma_j}p_m^{1-\sigma_j} + \sum_{f=1}^{\mathcal{F}}\gamma_{f,j}^{\sigma_j}w_f^{1-\sigma_j}\right)^{1/(1-\sigma_j)} + \rho\tau^{\mathrm{RPS}} \qquad \perp y_j \;\; j \in \mathcal{E}^R, \qquad \text{۱۴,۲۶a}''$$

با آنکه قیدِ سهمیه‌بندی صرفاً تعیین‌کننده ارزشِ بهای تأمین مالیِ کمکی است:

$$\sum_{e\in\mathcal{E}^R}\varepsilon_e y_e \ge \rho\sum_{e=1}^{\mathcal{E}}\varepsilon_e y_e \qquad \perp \tau^{\mathrm{RPS}}, \qquad \text{۱۴,۲۶g}$$

و معادلاتِ باقی مانده بدون تغییر هستند (f۱۴,۱۶ –b۱۴,۱۶).

سیاستِ آخری که در این فصل بررسی می‌کنیم به تعیینِ سقف مجاز برای گسیل آلاینده‌های CO2 مربوط می‌شود. ایجادِ رابطه‌ای بین سطوحِ تولید و فعالیت‌های عرضه و کمیتِ گسیل لازم است. ساده‌ترین راه برای انجام فرآیند مذکور آن است که فرض کنیم رابطه‌ای استوکیومتریک بین کمیتِ گسیلِ آلاینده‌ها در سالِ بهینه‌کاوی و ارزشِ تقاضای انباشتی برای کالاهای مصرف‌کننده سوختِ فسیلی و تولیدکننده آلاینده‌ها برقرار است که به صورت مجموعه‌ای از ضرایبِ گسیلِ خاصِ کالا تعریف می‌شود (φ_e). بنابراین، مالیات بر گسیل (τ^{CO_2}) مجموعه‌ای از مالیات بر کالا ایجاد می‌کند که طبق مقدار کربنِ کالاهای انرژی‌محور استخراج می‌شود و قیمتِ هر سوخت فسیلی را به مقدار $\tau^{CO_2}\phi_e$ افزایش می‌دهد.

فرض کنید که Q^{CO_2} نشان دهنده کمیتِ سقفِ مجازِ CO_2 باشد که کرانِ بالا را در مورد گسیل از کل سوخت‌های فسیلی مشخص می‌کند. قیمت سایه/ شبه‌قیمت مربوط به این قید، مالیاتِ τ^{CO_2} است که می‌توان آن را به صورت قیمتِ تسویه بازارِ درون‌زا حد مجازِ گسیل در فضای کنترل و تجارتِ گستره اقتصاد در نظر گرفت. نکته جالب توجه این است که در حال حاضر تعیینِ این دو شیوه اصلی برای تخصیصِ حدودِ مجاز –به مزایده گذاشتن و مستثنی کردنِ بنگاه‌های تجاری– به شکل یکسان مدل‌سازی می‌شوند و اثراتِ رفاهیِ مشابهی تولید می‌کنند. مستثنا کردنِ سقف‌های مجاز، متناظر با تعریفِ عاملی جدید در تولید است که به افزایشِ سودآوریِ بنگاه‌های تجاری می‌انجامد اما در عین حال خانوارها نیز مالک آن هستند. به این ترتیب بازده مجوزها به صورت درآمدی عایدِ نماینده خانوارها می‌شود. به طور مشابه به مزایده گذاشتنِ سقف مجاز باعث

تولیدِ درآمد اضافی برای دولت می‌شود که در ادامه بلافاصله به صورت سرجمع به نماینده خانوارها بازگردانده می‌شود.

همانند آنچه در معادلاتِ a۱٤,۲٤- f۱٤,۲٤ مشاهده کردیم انحراف قیمت به طور همزمان بر سودِ صفر و تسویه بازار و شروطِ توازنِ درآمد اثر می‌گذارد. بنابراین، رابطه تقاضای شبه اضافی مربوطه (۱٤,۲۷) متشکل از معادلات d۱٤,۲٤ و e۱٤,۲٤ است که در کنار معادلاتِ زیر قرار می‌گیرد:

$$p_j \le \left[\sum_{e=1}^{\mathcal{E}} \beta_{e,j}^{\sigma_j} (p_e + \tau^{CO_2}\phi_e)^{1-\sigma_j} + \sum_{m=1}^{\mathcal{M}} \beta_{m,j}^{\sigma_j} p_m^{1-\sigma_j} + \sum_{f=1}^{\mathcal{F}} \gamma_{f,j}^{\sigma_j} w_f^{1-\sigma_j}\right]^{1/(1-\sigma_j)} \quad \perp y_j \qquad \textbf{۱٤,۲۷a}$$

$$\theta \le \left[\sum_{e=1}^{\mathcal{E}} \alpha_e^{\omega} (p_e + \tau^{CO_2}\phi_e)^{1-\omega} + \sum_{m=1}^{\mathcal{M}} \alpha_m^{\omega} p_m^{1-\omega}\right]^{1/(1-\omega)} \quad \perp u \qquad \textbf{۱٤,۲۷b}$$

$$y_e \ge \sum_{j=1}^{\mathcal{N}} \beta_{e,j}^{\sigma_j} p_j^{\sigma_j} (p_e + \tau^{CO_2}\phi_e)^{-\sigma_j} y_j + \alpha_e^{\omega}\theta^{\omega}(p_e + \tau^{CO_2}\phi_e)^{-\omega} u + g_{e,o} \quad \perp p_e \qquad \textbf{۱٤,۲۷c}'$$

$$y_m \ge \sum_{j=1}^{\mathcal{N}} \beta_{m,j}^{\sigma_j} p_j^{\sigma_j} p_m^{-\sigma_j} y_j + \alpha_m^{\omega}\theta^{\omega} p_m^{-\omega} u + g_{m,o} \quad \perp p_m \qquad \textbf{۱٤,۲۷c}''$$

$$\mu = \sum_{f=1}^{\mathcal{F}} w_f V_f - \left[\sum_{e=1}^{\mathcal{E}} (p_e + \tau^{CO_2}\phi_e) g_{e,o} + \sum_{m=1}^{\mathcal{M}} p_m g_{m,o}\right] + \tau^{CO_2} Q^{CO_2} \quad \perp \mu \qquad \textbf{۱٤,۲۷f}$$

و قیدِ سهمیه‌بندی که برحسبِ مقدارِ گسیلِ ناشی از تقاضاهای واسطه و نهایی برای انرژی فسیلی مشخص می‌شود:

$$Q^{CO_2} \geq \sum_{e=1}^{\mathcal{E}} \phi_e \left[\sum_{j=1}^{\mathcal{N}} \beta_{e,j}^{\sigma_j} p_j^{\sigma_j} (p_e + \tau^{CO_2}\phi_e)^{-\sigma_j} y_j + \alpha_e^{\omega}\theta^{\omega}(p_e + \tau^{CO_2}\phi_e)^{-\omega} u + g_{e,o} \right] \quad \perp \tau^{CO_2}. \qquad \text{۱۴,۲۷g}$$

توجه داشته باشید که در مدلِ اقتصادِ بسته فعلی، قیدِ سهمیه‌بندی را می‌توان به صورت $Q^{CO_2} \geq \Sigma_{e=1}^{\mathcal{E}} \phi_e y_e$ بیان کرد. با این حال در مدلِ اقتصادِ بازار، که معامله کالاهای انرژی‌محور باعث بروز واگرایی بین تولید و مصرفِ سوخت فسیلی می‌شود، منبعِ واقعیِ گسیل، همان مصرف است که در معادله g۱۴,۲۷ به آن اشاره شد.

در اینجا به نکته نهایی اشاره می‌کنیم. چه با ابزارِ قیمتی چه با ابزارِ کمیتی، اثرِ مستقیمِ سیاست بر رفاهِ نماینده خانوارها از دو جهت نمایان می‌شود: اثرِ جایگزینی در مصرف که به واسطه تغییر در قیمتِ کالاها القا می‌شود و اثرِ درآمدیِ تغییرات در حق‌الزحمه عامل القا شده به سبب انتقال در قیمتِ عامل‌ها است. مورد دوم با تغییر در بزرگیِ اولین جمله در سمت راستِ معادله تعریفِ درآمد مشخص می‌شود و می‌توان آن را به صورت اقدامی کلی از بارِ اقتصادیِ ابتداییِ سیاستِ مورد نظر برحسب وقوعِ عاملش در نظر گرفت اما لازم به ذکر است که برآورد رفاه نه براساسِ این کمیت نه GDP نه حتی «مثلثِ هاربرگر»[1] برای مشخص کردنِ کلِ اثراتِ تعادلِ عمومی بر مطلوبیتِ مصرف‌کننده، کفایت می‌کند (در موردِ مالیات بر خروجی τ_j^Y که باعث اعمال تغییرات در تولید Δy_j می‌شود به صورت $\frac{1}{2}\Sigma_j \tau_j^Y \Delta y_j$ تعریف می‌گردد – به هینس،[2] ۱۹۹۹ مراجعه کنید). از لحاظ نظری اقدامِ صحیح و به‌رویه رفاهی معادلِ کمیتِ مصرفِ انباشتی است که برحسب سطحِ فعالیت u مشخص می‌شود. استنباط آن است که انتخابِ کالای شمارنده بر اندازه‌گیریِ اثراتِ رفاهیِ سیاستِ مورد نظر تأثیر می‌گذارد (برای مثال به مقاله هوسوء،[3] ۲۰۰۰ مراجعه کنید). θ را قیمتِ کالای شمارنده در نظر بگیرید که مطلوبیت را با درآمد خالص در معادله قرار می‌دهد.

۷ مثالی واقعی: اثراتِ کاهش گسیل CO2 ناشی از سوخت‌های فسیلی در آمریکا

در این بخش به یکی از کاربردهای واقع‌بینانه و در عین حال ساده اقتصاد CES مذکور اشاره می‌کنیم. هدف از این بخش آشکار ساختنِ هزینه‌ها و اثراتِ اقتصادیِ کاهشِ گسیل آلاینده‌های CO2 ناشی از احتراقِ سوخت‌های فسیلی در اقتصاد آمریکا است.

---

[1] Harberger triangle

[2] Hines

[3] Hosoe

ساختار مدل

این شبیه‌سازی، بسط و تعمیم اقتصادِ CES است که در بخش‌های پیشین به آنها اشاره شد. به طور خلاصه ساختار اقتصاد را در شکل a١٤,٦ مشاهده می‌کنید. بنگاه‌های تجاری به هشت دسته بخشیِ گسترده تقسیم شده‌اند: استخراج زغال‌سنگ، استخراج نفت خام و گاز طبیعی، توزیع گاز طبیعی، نفت تصفیه شده، برق، تولیدِ مبتنی بر انرژی (مجموعه‌ای از صنایعِ مواد شیمیایی، فلزات آهنی و غیرآهنی، کاغذ و خمیر کاغذ، سنگ، ماسه و شیشه)، حمل و نقل خریداری شده، و ترکیبی از صنایعِ ساخت و تولید، خدماتی و استخراجیِ موادِ اساسی در اقتصاد.

خانوارها در قالبِ یک نماینده مدل‌سازی می‌شوند که مالکِ مقادیرِ ثابتی از سه عامل اساسی است: کار، سرمایه و منابع انرژی اساسی. با آنکه می‌توان در واکنش به انتقالاتِ بین‌بخشیِ تقاضای عامل دو مورد اول را می‌توان بین صنایع بازتخصیص داد اما منابع انرژی در نقشِ عواملِ ثابتِ خاصِ بخش ایفا نقش می‌کنند که از آنها یک نوع در صنعت استخراج زغال‌سنگ، نوع دیگری در صنعت نفت خام و گاز و سومین مورد در صنعت برق وجود دارد.

یکی از ویژگی‌های مهم این مدل وجودِ انحرافاتِ از پیش موجود است. سیاست‌های تقلیلِ GHG در دنیای واقعی باعث بروز برهمکنش‌هایی بین اثراتِ انحرافیِ سقف‌های مجازِ کمّی یا کارمزدهای پیگویان[1] بر گسیل و نظامِ مالیاتِ از پیش موجود می‌شود به ویژه مالیات بر کار، سرمایه و سوخت فسیلی.

ساده‌ترین راهِ به حساب آوردنِ اثراتِ مذکور آن است که مالیات براساسِ ارزشِ از پیش موجود بر تولید و واردات $(\bar{\tau}_j^Y)$ معرفی شود و فرض بر آن است که بر خروجیِ هر صنعت نیز وضع گردد. مانند قبل (به معادله f١٤,٢٧ مراجعه کنید) فرض بر آن است که درآمدِ حاصل از این مالیات‌ها و مزایده یا مستثنی کردنِ حدودِ مجازِ گسیل به صورت سرجمع به نماینده خانوارها بازمی‌گردد. با این حال یکی از نتایج کلیدی حاصل از مقالاتِ گسترده مربوط به اثراتِ سیاست‌های زیست‌محیطی در حضورِ انحرافاتِ مالیاتیِ پیشین این است که استفاده جایگزین از درآمد حاصل از مجوزها برای تأمین مالیِ طرح کاهش آلاینده با درآمد خنثی در $\bar{\tau}_j^Y$ قادر است به طور معناداری از هزینه رفاهیِ قیدِ مربوط به گسیل آلاینده‌ها بکاهد (برای مثال به مقاله گولدر، ۲۰۰۲ مراجعه کنید).

[1] Pigovian fees

انرژی (e)	غیرانرژی (m)	تقاضاهای نهایی
۱. استخراج زغال‌سنگ	۶. صنایع انرژی‌محور	**C** مصرف خصوصی
۲. نفت خام و گاز	۷. حمل‌ونقل	**O** دیگر موارد (سرمایه‌گذاری + دولت + صادرات خالص)
۳. تأمین و توزیع گاز	۸. دیگر صنایع	
۴. نفت تصفیه‌شده	ضرایب اساسی (f)	
۵. برق	**L** کار	
a تولید سوخت فسیلی	**K** سرمایه	
b تولید بدون کربن	**R** منابع اساسیِ انرژی	

a) ساختار بخشی

	۱	۲	۳	٤	٥ (a)	٥ (b)	٦	۷	۸	C	O	کل
۱	۰/۲۰۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۲/۷٤۸	۰/۰۰۰	۰/۲۱٦	۰/۰۰۲	۰/۲۷۷	۰/۰۰۸	۰/۵۱٤	۳/۹۷۳
۲	۰/۰۰٦	۲/۱۸۱	۵/۵۰۱	۱۹/٤۱۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۵۹۱	۰/۵۳۳	۱/٤۹۱	۰/۰۰۰	−۱۵/۰۷۲	۱٤/٦٤۸
۳	۰/۰۰۰	۰/۰۱۸	۰/۱۰۵	۰/۲۹٤	۳/۳٤۳	۰/۰۰۰	۰/٤۰۸	۰/۰۵۹	۱/۹۵٦	٤/۲۸۷	۰/۰۲۳	۱۰/٤۹٤
٤	۰/۰۹۳	۰/۱۵۳	۰/۱۰٤	٤/۳٦۹	۰/۵۱۳	۰/۰۰۰	۲/۳۷۵	٤/۸۵۸	۱۵/۲٤۱	۸/۸۷۱	−۲/۰۸٤	۳٤/٤۹۲
٥	۰/۰۳٤	۰/۱۳۳	۰/۰۱۳	۰/۲۲۰	۰/۰۲۱	۰/۰۰۰	۱/۱۹۵	۰/۲۸۸	۱۳/۷٤۰	۱٤/۳۹۲	−۰/۰۳۵	۳۰/۰۰۲
٦	۰/۰٦۳	۰/۳۱۲	۰/۰۲۳	۰/٦۹۲	۰/۱۷۹	۰/۰۷۱	۱٦/٦۷۹	۰/۳٤۸	٤۸/۸۹۸	۲۱/۷۱۳	−٦/٤۵٦	۸۲/۵۲۱
۷	۰/۱٤۱	۰/۱۵۰	۰/۸۰۸	۱/۰٦۹	۰/۹٦٦	۰/۳۸۳	۳/۰۷۱	٦/٤۷۷	۲۷/۰۲۳	۱۵/۵٦۵	۷/۷۷۰	٦۳/٤۲۲
۸	۰/٦٤٦	٤/۰۹۸	۰/۵۲۵	۳/۹۸۹	۲/٦۱۳	۱/۰۳۷	۲۵/٦۹٦	۱۹/۹۷۲	٦۸٤/۷۸٤	۷۵۵/۸۵۰	٤۰۵/۷۰۳	۱۹۰٤/۹۱۳
L	۱/۰۰۹	۱/۰۷۸	۰/۸۲۳	۰/۹٦۸	۲/۹۰۸	۱/۱۵٤	۱۵/۸۹۷	۲۰/۱۷۹	٦٦۷/۰٤۰			۷۱۱/۰۵۸
K	۰/۹۷۲	۳/۱٦۸	۲/۱٦۰	۳/۳۲۰	۷/۲٤۸	۲/۸۷۵	۱۵/٤۸٤	۹/۰۸۱	۳٦۵/۵۱۲			٤۰۹/۸۱۹
R	۰/٦٤۸	۲/۵۹۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۵۳۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰			۳/۷۷۳
$\overline{\psi}$	۰/۱۵٤	۰/۷٦۵	۰/٤۳۰	۰/۱۵۱	۳/٤۱۳		۰/۹۰۸	۱/٦۲٦	۷۸/۹۵۲			۸٦/۳۹۹
کل	۳/۹۷۳	۱٤/٦٤۸	۱۰/٤۹٤	۳٤/٤۹۲	۳۰/۰۰۲		۸۲/۵۲۱	٦۳/٤۲۲	۱۹۰٤/۹۱۳	۸۲۰/٦۸۵	۳۹۰/۳٦۳	۳۳۵۵/۵۱۲
q^{CO_2}	۲۰۹٤	۱۱۷۰	۲٤۸۷									
Φe	۰/۰۵۳	۰/۰۱۱	۰/۰۰۷									۵۷۵۱

b) حساب اجتماعیِ بهینه‌کاوی برای سال ۲۰۰۵

یادداشت:

جریان‌های پولی: $۱۰^{۱۰}$ ۲۰۰٤ دلار، گسیل CO_2 ($\overline{q}^{CO_2}$): $۱۰^{٦}$ تن، ضرایب گسیل (φ): تن CO_2 به ازای هر دلار.

ψ پرداختِ مالیاتِ ایالت و فدرال بر خالص تولید و واردات یارانه‌ها.

GDP: ۱۲,۱ تریلیون دلار، خروجی ناخالص: ۳۳,٦ تریلیون دلار.

شکل ۱٤,٦ مدل ساختار بخشی و پایگاه داده‌ها

خروجی صنایع با ترکیبِ ورودیِ کالاهای واسطه‌ای انرژی و غیرانرژی با عوامل اساسی تولید می‌شود. یکی از مشخصه‌های بارزِ سیاست‌های تقلیلِ تغییراتِ اقلیمی آن است که قیمتِ بالاترِ سوخت فسیلی موجبِ گسترشِ منابعِ انرژیِ عاری از کربن می‌شود که بخش عمده‌ای از آنها در صنعتِ برق رخ خواهد داد. بر همین اساس، از تابع تک‌سطحی CES که در بخش‌های پیشین مشاهده کردید برای مدل‌سازیِ تولید در تمامی بخش‌ها به جز صنعت برق استفاده می‌کنیم (بخش ۵) که در این صنعت از تابع لانه‌ایِ دوسطحیِ CES برای مشخص کردنِ موارد جایگزین بین تولید برق از سوخت فسیلی (5a) و برق حاصل از منابع عاری از کربن استفاده خواهیم کرد (5b- ترکیبی از انرژی هسته‌ای، آبی و سایر منابع تجدیدپذیر). در نتیجه هر نوع از تولید با توابع CES نمایش داده می‌شود که در دیگر صنایع به کار رفته است. به منظور متمایز نمودنِ تولید در بخش‌های فرعی فرض بر آن است که تمامی ورودی‌های سوخت فسیلی به صنعت برق در معادله 5a به کار رفته است در حالی که معادله 5b کاملاً به تقاضای بخش برای منابع انرژی اساسی مربوط می‌شود.

با این حال حتی این ساختارِ ساده نیز به طور چشمگیری باعث پیچیده شدنِ مشخصاتِ رابطه تقاضای شبه اضافی می‌شود. وارد کردنِ متغیرهای جدید فعالیت برای بخش‌های فرعیِ سوخت فسیلی و انرژی‌های تجدیدپذیر ($y_{5(a)}$ و $y_{5(b)}$) و نیز متغیرهای دوگانه مکمل ($p_{5(a)}$ و $p_{5(b)}$) به منظور ردیابیِ هزینه‌های نهایی/ حاشیه‌ای این فعالیت‌ها لازم است. سپس با وارد نمودنِ بخش‌های فرعیِ مرتبط با برق در مجموعه فعالیت‌ها به صورت $j = \{1, \ldots, 5(a), 5(b), \ldots, 8\}$ و در عین حال حفظ برق به صورت کالایی همگن با مجموعه $i = \{1, \ldots, 5, \ldots, 8\}$، مدل حاصل به صورت زیر تعریف خواهد شد:

$$p_j \leq \left\{ \sum_e \beta_{e,j}^{\sigma_j} [(1 + \overline{\tau}_e^Y) p_e + \tau^{CO_2} \phi_e]^{1-\sigma_j} + \sum_m \beta_{m,j}^{\sigma_j} [(1 + \overline{\tau}_m^Y) p_m]^{1-\sigma_j} + \sum_{f=L,K} \gamma_{f,j}^{\sigma_j} w_f^{1-\sigma_j} + \gamma_{R,j}^{\sigma_j} w_{R,j}^{1-\sigma_j} \right\}^{1/(1-\sigma_j)} \perp y_j \qquad ۱٤,۲۸a'$$

$$p_5 \leq (\eta_{5(a),5}^{\vartheta} p_{5(a)}^{1-\vartheta} + \eta_{5(b),5}^{\vartheta} p_{5(b)}^{1-\vartheta})^{1/(1-\vartheta)} \quad \perp y_5 \qquad \text{١٤,٢٨a}$$

$$\theta \leq \left\{ \sum_e \alpha_e^{\omega} [(1 + \overline{\tau}_e^Y) p_e + \tau^{CO_2} \phi_e]^{1-\omega} + \sum_m \alpha_m^{\omega} [(1 + \overline{\tau}_m^Y) p_m]^{1-\omega} \right\}^{1/(1-\omega)} \quad \perp u \qquad \text{١٤,٢٨b''}$$

$$y_e \geq \sum_j \beta_{e,j}^{\sigma_j} p_j^{\sigma_j} [(1 + \overline{\tau}_e^Y) p_e + \tau^{CO_2} \phi_e]^{-\sigma_j} y_j + \alpha_e^{\omega} \theta^{\omega} [(1 + \overline{\tau}_e^Y) p_e + \tau^{CO_2} \phi_e]^{-\omega} u + g_{e,O} \quad \perp p_e \qquad \text{١٤,٢٨c'}$$

$$y_m \geq \sum_j \beta_{m,j}^{\sigma_j} p_j^{\sigma_j} [(1 + \overline{\tau}_m^Y) p_m]^{-\sigma_j} y_j + \alpha_m^{\omega} \theta^{\omega} [(1 + \overline{\tau}_m^Y) p_m]^{-\omega} u + g_{m,O} \quad \perp p_m \qquad \text{١٤,٢٨c''}$$

$$y_i \geq \eta_{i,5}^{\vartheta} p_5^{\vartheta} p_i^{-\vartheta} y_5 \quad \perp p_i,\ i = 5(a),5(b) \qquad \text{١٤,٢٨c'''}$$

$$V_f \geq \sum_j \gamma_{f,j}^{\sigma_j} p_j^{\sigma_j} w_f^{-\sigma_j} y_j \quad \perp w_f,\ f = K, L \qquad \text{١٤,٢٨d'}$$

$$V_{R,j} \geq \gamma_{R,j}^{\sigma_j} p_j^{\sigma_j} w_{R,j}^{-\sigma_j} y_j \quad \perp w_{R,j} \qquad \text{١٤,٢٨d''}$$

$$u \geq \mu/\theta, \quad \perp \theta = 1 \qquad \text{١٤,٢٨e}$$

$$\mu = \sum_{f=K,L} w_f V_f + \sum_j w_{R,j} V_{R,j}$$

$$- \sum_e [(1 + \overline{\tau}_e^Y) p_e + \tau^{CO_2} \phi_e) g_{e,o}$$
$$- \sum_m [(1 + \overline{\tau}_m^Y) p_m] g_{m,o}$$
$$+ \tau^{CO_2} Q^{CO_2} + \sum_i \overline{\tau}_i^Y p_i y_i \quad \perp \mu \qquad \text{۱٤,۲۸f}$$

$$Q^{CO_2} \geq \sum_e \phi_e \left\{ \sum_j \beta_{e,j}^{\sigma_j} p_j^{\sigma_j} [(1 + \overline{\tau}_e^Y) p_e + \tau^{CO_2} \phi_e]^{-\sigma_j} y_j \right.$$
$$\left. + \alpha_e^{\omega} \theta^{\omega} [(1 + \overline{\tau}_e^Y) p_e + \tau^{CO_2} \phi_e]^{-\omega} u + g_{e,o} \right\} \quad \perp \tau^{CO_2}. \qquad \text{۱٤,۲۸g}$$

جمله آخر در سمت راست معادله g۱٤,۲۸ نشان دهنده درآمد حاصل از مالیات‌های از پیش موجود برای نماینده خانوارها است. برهمکنش‌های بین Q^{CO_2} و $\overline{\tau}_i^Y$ به واسطه اثرِ Q^{CO_2} بر قیمت خروجی صنایع و سطح فعالیت‌ها رخ می‌دهد. خواهیم دید که جدای از اثرِ مستقیمِ آن بر حق‌الزحمه عامل، اثرِ غیرمستقیمِ حد گسیل این است که درآمد اضافی از *مالیات به علاوه مجوز* به وجود آورد و در عین حال درآمدِ حاصل از مالیات‌های از پیش موجود را از طریق اثراتِ انحرافی‌اش بر قیمتِ کالاها کاهش دهد. پس از انتخابِ θ به عنوان کالای شمارنده، جمع این سه اثر تعیین‌کننده اثرِ رفاهیِ انباشتی سیاست مورد نظر خواهد بود.

داده‌ها و بهینه‌کاوی

مدل SAM مورد استفاده برای بهینه‌کاوی مدل در معادلات g۱٤,۲۸–a۱٤,۲۸ براساسِ جداول آمارِ اداره کار از ۲۰۰ بخشِ مربوط به سال ۲۰۰٤ ساخته شده که فرض فناوری صنعتی نیز در آن به کار رفته است [۵]. مؤلفه‌های ارزش‌افزوده را با استفاده از داده‌های مربوط به سهم کار، سرمایه، مالیات و یارانه‌های صنعت در GDP و طبق آمارِ اداره تحلیل اقتصادی GDP برحسب حساب‌های صنعت تفکیک کردیم. جدول جریانِ بهینه‌کاویِ حاصل به هشت گروه بخشی که در بالا به آنها اشاره شد، تقسیم شدند و مقیاس‌بندیِ آنها به گونه‌ای بود که وضعیتِ اقتصاد آمریکا در ۲۰۰۵ را با استفاده از نرخ رشدِ GDP واقعی برآورد کنند. به منظور تطابقِ ماتریس مراوده‌ها با آمارِ اداره اطلاعات انرژی (EIA) در مورد مصرف سوخت فسیلی، تعدیل‌هایی انجام دادیم، به ویژه در بخش برق. همچنین در مورد ماتریس منبعِ عامل، به منظور تفکیکِ ورودی‌های منبعِ طبیعی از بازده بر سرمایه طبق مقاله سو وینگ (۲۰۰۱) عمل کردیم. در نهایت، چون ۲۸,٤ درصد از برقِ تولیدی در

۲۰۰۵ از طریق منابع انرژی اساسیِ عاری از کربن تأمین شده بود (هسته‌ای، آبی و تجدیدپذیر)، بخش برق طوری تفکیک‌سازی شد که این منابع از سوخت‌های فسیلی مجزا باشند [٦].

مدل نهایی SAM را در شکل b١٤,٦ مشاهده می‌کنید. با آنکه ساختارش شبیه شکل ١٤,٢ است، بخش‌های فرعیِ سوخت فسیلی و برق عاری از کربن را از یکدیگر تفکیک می‌کند و بردار دیگری از بهینه‌کاویِ پرداختِ مالیاتِ خالصِ مربوط به تولید و واردات در هر صنعت (ψ) را در بر می‌گیرد. این اعوجاج‌ها بر تعادل معیار/ تعادل بهینه‌کاوی اثر می‌گذارند و بنابراین، بایستی در بهینه‌کاوی مدل به حساب بیایند. از آنجا که فرض می‌شود این جریان‌ها نشان دهنده پرداختِ مالیات بر خروجیِ صنایع باشند یافتنِ نرخ مالیاتِ خالص براساس ارزشِ برخاسته از مدل SAM ($\bar{\tau}_j^Y = \bar{\psi}_j/\bar{y}_j$) و استفاده از نتیجه در محاسبه ضرایب فنی در امتداد خطوط معادله ١٤,١٧ آسان است: $\alpha_{i,C} = (\bar{g}_{i,C}/\bar{G}_C)^{1/\omega}$ و در مورد بخش‌های غیربرق $\beta_{i,j} = (\bar{x}_{i,j}/\bar{y}_j)^{1/\sigma_j}(1 + \bar{\tau}_j^Y)^{-1/\sigma_j}$ و $\gamma_{f,j} = (\bar{v}_{f,j}/\bar{y}_j)^{1/\sigma_j}(1 - \bar{\tau}_j^Y)^{-1/\sigma_j}$.

به منظور بهینه‌کاویِ هزینه برق بایستی این حقیقت را درک کنیم که پرداخت مالیات‌های ثبت‌شده در SAM بین فعالیت‌های بخش‌های فرعی تقسیم و افراز نشده است. با نشانه‌گذاریِ مجموعه‌های فرعی به صورت k=5(a)، 5(b)، یکی از راه حل‌های ساده این است که سطح ناخالصِ مالیاتِ فعالیتِ کل بخش برق را به صورت $\bar{y}_5 = \Sigma_k \bar{y}_k + \bar{\psi}_5$ تعریف کنیم که در اینجا، $\bar{y}_k = \Sigma_i \bar{x}_{i,k} + \Sigma_f \bar{v}_{f,k}$ نشان دهنده سطوحِ خالصِ مالیاتِ فعالیتِ بخش‌های فرعی است. همچنین می‌توان ضرایب فنی را بر مبنای ناخالصِ مالیات به صورت $\eta_k = (\bar{y}_k/\bar{y}_5)^{1/\vartheta}(1 + \bar{\tau}_5^Y)^{-1/\vartheta}$ در سطح بالای سلسله مراتب تولید و برمبنای خالصِ مالیات به صورت $\beta_{i,k} = (\bar{x}_{i,k}/\bar{y}_k)^{1/\sigma_k}$؛ و $\gamma_{f,k} = (\bar{v}_{f,k}/\bar{y}_k)^{1/\sigma_k}$ در سطح پایین محاسبه کرد.

پارامترهای نهاییِ لازم برای بهینه‌کاویِ این مدل شامل انواع کشش‌های جایگزین‌سازی می‌شود. در نبودِ برآوردهای تجربیِ خاص برای این پارامترها، مقادیری فرض می‌شود که در بازه مشاهده شده در دیگر مطالعاتِ مدل‌سازی قرار بگیرد (به این مقاله مراجعه کنید: مک‌کیبین و ویلکاکسن، ١٩٩٨). برای حفظ سادگیِ کار، فرض می‌کنیم که ورودی‌های کالا به قسمتِ مصرف به صورت جایگزین‌های غیرکششی باشند که با مقدارِ ω=0.5 نمایش داده می‌شوند. جایگزین‌سازی بین ورودی‌ها برای تولید نیز غیرکششیِ یکنواخت در نظر گرفته می‌شود و برای حفظ سادگیِ فرآیند، مقادیر کشش‌های مربوطه نیز فرض می‌شود که در تمامی بخش‌ها یکسان باشد: $\sigma_j = 0.8\ \forall j$. با این حال، کششِ سطح بالا در بخش برق متفاوت است چون بخش‌های فرعیِ تولیدِ عاری از کربن و سوخت فسیلی تقریباً جایگزین‌های کاملی برای یکدیگر در بخش تولید برق به حساب می‌آیند. این مطلب به صورت $\vartheta = 10$ قابل دستیابی است.

با جایگزین کردنِ مقادیر پارامترها و جریان‌های مربوطه از SAM در معادلاتِ بهینه‌کاویِ مذکور و شبیه‌سازیِ مدلِ حاصل، تعادلِ منحرف شده اولیه در شکل b۱٤,٦ را تکرار می‌کنیم. این مدل از لحاظ جبری معین و از لحاظ عددی بهینه‌کاوی شده است. همچنین با استفاده از دستگاه فرعی MPSGE به صورت MCP (راثرفورد، ۱۹۹۹)برای GAMS توصیف می‌شود (بروک و همکارانش، ۱۹۹۸) و با استفاده از حل‌کننده PATH حل می‌شود (دیرکسی و فریس، ۱۹۹۵؛ فریس و همکارانش، ۲۰۰۰؛ فریس و مانسون، ۲۰۰۰).

تحلیل سیاست

سیاستِ مورد بحث به تعیینِ حد مجازِ گسیل انباشته CO2 در سال ۲۰۱۲ مربوط می‌شود که می‌توان آن را با استفاده از رویه‌ای سه‌مرحله‌ای تحلیل کرد. مرحله اول، پیوندی بین گسیل و تقاضا برای انواع سوخت‌های فسیلی مشخص کنید که از طریق این مدل و برحسب معیارهای پولی حل شده است. برای این منظور، ما از داده‌های US EPA (۲۰۰۷) در مورد گسیلِ CO2 مرتبط با استفاده انباشته از هر سوخت در ۲۰۰۵ استفاده خواهیم کرد که در شکل b۱٤,٦ با نماد $\overline{q}_e^{CO_2}$ نمایش داده شده است. ضرایب گسیل را با تقسیم این کمیت بر تقاضای انباشته برای هر سوخت فسیلی در SAM محاسبه می‌کنیم $(\phi_e = \overline{q}_e^{CO_2}/\overline{y}_e)$ که اجرای بهینه‌کاویِ مدل را برای تکرارِ گسیلِ CO2 انباشتی ممکن می‌سازد.

دومین مرحله، نشان دادن سطح گسیل خط مبنای آینده در ۲۰۱۲ از طریق شبیه‌سازیِ گسترشِ آینده اقتصاد و اُفتِ شدت گسیل CO2 است. رشد اقتصادی را با مقیاس‌بندیِ میزانِ بهینه‌کاوی عوامل اساسی رو به بالا با میانگین نرخ رشد سالانه GDP مشاهده شده طی سال‌های ۱۹۹۹–۲۰۰٦ در درآمد ملی و حساب محصولات مدل‌سازی کرده‌اند (۲,٦ درصد). این کار به رشد GDP شبیه‌سازی شده تقریبیِ ۱۵٪ از ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲ منجر می‌شود. برای مدل‌سازیِ افت در شدتِ گسیلِ انباشتی/ مجموع ضرایب انرژی در توابع هزینه و مخارج مدل (α_e و β_{ej}) به‌سمت پایین با میانگین نرخ سالانه افولی در نسبتِ CO2-GDP در دوره ۱۹۹۹–۲۰۰۵ مقیاس‌بندی شده‌اند و EIA آن را به صورت جدول ارائه کرده است (منفی ۱,۷ درصد). این رویه متناظر است با وارد کردنِ شاخصِ بهبود بازده انرژی خودمختار (AEEI) که ابزاری متداول برای ثبتِ اُفت مستمر القا شده غیر قیمتی در شدتِ انرژی یا گسیلِ انباشتیِ مشاهده شده در بسیاری از اقتصادها است (به این مقاله مراجعه کنید: سو وینگ و ایکائوس، ۲۰۰۷). در اینجا تأثیرِ این مورد در کاهشِ شدت CO2 انباشتی به اندازه ۸ درصد از ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲ است.

جدول a۱٤,۲ خلاصه‌ای از خصوصیاتِ اقتصادِ متداول (BAU) در ۲۰۱۲ را ارائه می‌کند. میزان گسیلِ CO2 حاصل از سوخت‌های فسیلی ٦۱۸۳ میلیون تُن (mt) بوده است که حدود ۷٪ بالای سطوح ۲۰۰۵ است

و رشدِ آن اندکی سریع‌تر از میزانِ مشاهده شده از سال ۱۹۹۹ تا آن تاریخ است. بخش عمده‌ای از CO_2 از بخش‌های فرعیِ تولیدکننده برق با سوختِ فسیلی نشئت می‌گیرد که بیشترِ زغال‌سنگِ کشور در این حیطه سوزانده می‌شود. یکی‌دیگر از عوامل اصلی در گسیل‌های انباشتی ناشی از بخشِ «باقیِ اقتصاد» است که مسئولِ عمده تقاضای نفت و مصرفِ خانوار است که از مقادیر قابل توجهی نفت و گاز طبیعی استفاده می‌کنند.

سومین گام این است که مدل را با محدودیتی کمّی در مورد گسیل CO_2 به صورت سیاستی خلافِ واقعیت حل کنیم. سقف مجازِ گسیل چندان به قانونِ نوآوری و حفاظت در محیط زیست –مصوب ۲۰۰۷ (S.280/H.R. 620)– پایبند نیست. این قانون به دنبال محدود کردن گسیل سالانه شش نوع GHG تا مقادیرِ ۶۱۳۰ میلیون تن بین سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۹ است. از آنجا که GHGهایی با منشأ غیر از CO_2 در این مدل به حساب نیامده‌اند، پس بایستی فرضی درباره تأثیرِ سیاست بر CO_2 مطرح کنیم. ساده‌ترین کار این است که فرض کنیم CO_2 گسیل‌شده از احتراق سوخت‌های فسیلی با همان نسبتی محدود شده است که CO_2 فسیلی در گسیل‌های انباشتیِ GHG در ۲۰۰۵ سهیم بوده است: ۷۹٪ از این ۷۲۶۰ میلیون تن کل گسیلِ GHG به صورت کربنِ معادل/ کربن متناظر بوده است (US EPA، ۲۰۰۷). نتیجه این شد که سقف مجاز گسیل CO_2 به میزان ٤٨٥٦ میلیون تن تعیین شد که تقریباً ۱۶٪ کمتر از سطح گسیل در ۲۰۰۵ و ۲۲٪ کمتر از BAU مذکور است.

اثراتِ این سیاست را در جدول b١٤,٢ مشاهده می‌کنید. سقف مجاز/ حد گسیل باعث افزایشِ معنادارِ قیمتِ سوخت‌های فسیلی می‌شود بر مبنای ناخالصِ CO_2 و از نظر افزایش قیمت ثبت می‌شود –خالصِ افزایشِ قیمتِ سوخت‌های فسیلی به علت انقباضِ تقاضا دچار اُفت شدیدی می‌شود. این افزایش به طور ویژه برای زغال‌سنگ بزرگ است زیرا قیمتِ مصرف‌کننده آن تقریباً دو برابر می‌شود. قیمتِ برقِ مصرفی نیز افزایش می‌یابد اما این میزان فقط ۹٪ است که نشان می‌دهد تولیدکنندگان برق قادرند جایگزینی برای سوخت‌های فسیلیِ مصرفی در کالاها، امور و سرمایه‌های واسطه‌ایِ غیرانرژی ارائه کنند همچنین توانایی مولدهای برقِ عاری از کربن را در گسترش منابع نشان می‌دهد. بنابراین، برحسب درصد، افزایشِ قیمت برق کمتر از افزایشِ هزینه نهایی/ هزینه حاشیه‌ای(marginal) تولیدِ فسیلی است اما دو برابرِ افزایشِ هزینه نهایی/ هزینه حاشیه‌ای برقِ عاری از کربن خواهد بود. قیمتِ کالاهای غیر انرژی قابل چشم‌پوشی است در حالی که قیمتِ استخراجِ نفتِ خام و گاز با توجه به میزان تقاضا برای خروجیِ این بخش اُفت می‌کند.

در مجموع خروجیِ بخش‌های انرژی به شدت کاهش می‌یابد. از یک جهت تولید زغال‌سنگ حدود ٤١٪ کاهش می‌یابد و تقاضا برای این سوخت در تمامی بخش‌ها دچارِ اُفتی دورقمی می‌شود. از طرف دیگر تولیدِ برق به اندازه فقط ٦٪ کم می‌شود در حالی که در بخش‌های غیرانرژی میزان کاهشِ تقاضا مشابه حالت قبل

است و در بخش‌های انرژی‌محور سه تا هشت برابر کاهش خواهیم داشت. با این حال، نمای کلیِ مذکور باعث پنهان ماندنِ این حقیقت می‌شود که بخش‌های فرعیِ سوختِ فسیلی حدود ۱۹٪ اُفت خواهند داشت، در حالی

	۱	۲	۳	٤	٥	٥ (a)	٥ (b)	٦	۷	۸	خانوار	کل
(a) سناریوی غیرسیاستیِ متداول برای ۲۰۱۲												
قیمت‌ها [a]	۰/۹٦	۰/۹٥	۰/۹۷	۰/۹٥	۰/۹٦	۰/۹٥	۰/۹۸	۱/۰۰	۰/۹۹	۱/۰۱	–	–
سطوح فعالیت [b]	٤/۱۸	۱٥/۱٤	۱۱/۲٥	۳۷/۸۹	۳۳/۰۳	۲۳/٦۱	٥/٦۷	۱۰۰/۱۸	۷٦/٥٤	۲۲۹۳/۱٤	۹۹۲/٦۱	۱۳۸٦/۰۰[e]
مصرف [b]	۰/۰۱	۰/۰۰	٤/٦۸	۹/۷۸	۱٥/۷۸	–	–	۲٦/۳٥	۱۸/۹۳	۹۱۳/۳٦	–	–
تقاضای انرژی [b]												
زغال‌سنگ	۰/۲۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۸۸	۲/۸۸	–	۰/۲٤	۰/۰۰	۰/۳۱	۰/۰۱	٤/۱۸
نفت خام	۰/۰۹	۰/۱٤	۰/۱۰	٤/۳۲	۰/٥٤	۰/٥٤	–	۲/٦۷	٥/٤۲	۱۷/۰٤	۹/۷۸	۳۷/۸۹
گاز طبیعی	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۱۰	۰/۲۹	۳/٤۸	۳/٤۸	–	۰/٤٥	۰/۰۷	۲/۱٥	٤/٦۸	۱۱/۲٥
برق	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۲۲	۰/۰۲	۰/۰۲	–	۱/۳۳	۰/۳۲	۱٥/۲۳	۱٥/۷۸	۳۳/۰۳
مالیات بر درآمد [b]	۰/۱٦	۰/۷٥	۰/٤٥	۰/۱٦	۳/٦۲	–	–	۱/۱۰	۱/۹٥	۹٥/٥۷	–	۱۰۳/۷٥
از پیش‌موجود	۰/۱٦	۰/۷٥	۰/٤٥	۰/۱٦	۳/٦۲	–	–	۱/۱۰	۱/۹٥	۹٥/٥۷	–	۱۰۳/۷٥
مجوز CO_2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
گسیل‌ها [c]	۱۰۹/۳۹	۱۲/۱۳	۱۸/٤۷	۳٤۳/۸۸	۱۹٤٥/٤٤	۱۹٤٥/٤٤	–	۳٦۹/٦۸	۳۹۹/٤۷	۱٦۳۰/٦٤	۱۲۳۱/۷٤	٦۱۸۳/۸۲
(b) تأثیراتِ سیاست: تغییرات ناشی از مقادیرِ متداول (برحسب ٪، مگر اینکه غیر از این ذکر شود)												
قیمت‌ها	۸۷/٦٦	-٥/۷۸	۱٦/۸٥	۱۱/۱۱	۹/۱۹	۱۰/۸٤	٤/۲٦	۰/۲٥	۰/۳٤	-۰/۳٥	–	–
سطوح فعالیت‌ها	-٤۰/۷۷	-۱٥/۹۲	-۱۳/۸۳	-۹/٦٥	-٦/۰٦	-۱۹/۱۸	۱٦,٤۹	-۰/۷٥	-۰/۹۱	-۰/۱۰	-۰/۱٦	-۰/۱٤[e]
مصرف	-۲۷/۱۲۳	۰/۰۰	-۷/٦٤	-٥/۲۹	-٤/٤٦	–	–	-۰/۲۹	-۰/۳۳	۰/۰۱	–	–
تقاضای انرژی												
زغال‌سنگ	-٦٦/٥۱	-٥۱/٥٥	-٤۹/۲٤	-٤٦/۳۱	-٤٦/۹٦	-٤٦/۹٦	–	-۳۹/۸۹	-۳۹/۹٥	-۳۹/۸۰	-۲۷/۱۲	-٤۰/۷۷
نفت	-٤۹/۰٦	-۲٦/۳۱	-۲۲/۸۰	-۱۸/۳٥	-۱۹/۳٤	-۱۹/۳٤	–	-۸/٥۹	-۸/٦۷	-۸/٤٤	-٥/۲۹	-۹/٦٥
گاز	-٥۱/۰۷	-۲۹/۲۲	-۲٥/۸٥	-۲۱/٥۸	-۲۲/٥۲	-۲۲/٥۲	–	-۱۲/۲۰	-۱۲/۲۸	-۱۲/۰٦	-۷/٦٤	-۱۳/۸۳
برق	-٤۸/۳٥	-۲٥/۲۸	-۲۱/۷۱	-۱۷/۲۰	-۱۸/۲۰	-۱۸/۲۰	–	-۷/۳۰	-۷/۳۹	-۷/۱٥	-٤/٤٦	-٦/۰٦

مالیات بر درآمد	-۳/۱۵	-۱۸/۷۳	-۱۱/۱۳	۲۹۷/۵۲	۵۷/٤۳	۵۷/٤۳	-	٤٦/۵٦	۳۲/۰٦	۲/۱٦	۲/۰۱	۷/۵۰
از پیش‌موجود	-٤۵/۵۰	-۲۰/۷۸	-۱٦/۵٤	-۱۱/۵۵	۲/۵۷	-	-	-۰/۵۰	-۰/۵۷	-۰/٤٦	-	-۰/٦٦
مجوز CO_2[d]	٤۲/۳٤	۲/۰۵	۵/٤۲	۳۰۹/۰۷	۵٤/۸٦	۵٤/۸٦	-	٤۷/۰٦	۳۲/٦۳	۲/٦۲	۲/۰۱f	۸/۱٦
گسیل‌ها	-٦۵/٤۹	-۲۷/۰٦	-۲٤/٦۵	-۱۸/۷۰	-٤۱/۵٤	-٤۱/۵٤	-	-۱۹/۸٤	-۸/۸۲	-۱۲/۰۸	-٦/۳۷	-۲۱/٦۰
کاهش [c]	-۷۱/٦٤	-۳/۲۸	-٤/۵۵	-٦٤/۳۰	-۸۰۸/۱۳	-۸۰۸/۱۳	-	-۷۳/۳٤	-۳۵/۲٤	-۱۹۷/۰۰	-۷۸/٤٤	-۱۳۳۵/۹۲

جدول ۱٤,۲ تأثیرات اقتصادیِ سقف مجاز رهاسازی CO_2

یادداشت: a شاخص: سال ۲۰۰۵ = ۱,۰۰؛ b 10^{10} دلار در ۲۰۰٤؛ c میلیون تن CO_2؛ d محاسبه‌شده به صورت درصدی از درآمدِ حاصل از مالیات‌های از پیش موجود؛ e سطح فعالیتِ انباشتی بر مبنای GDP؛ f ارزشِ خریداریِ مجوزها از سوی نماینده برحسب 10^{10} دلار ۲۰۰٤ (هیچ درآمدی از مالیات‌های از پیش موجود وجود ندارد که بتوان درصدی را برای آن محاسبه کرد)

که بخشِ فرعیِ عاری از کربن، گسترشِ فراوانی را در خروجیِ خود شاهد خواهد بود که تقریباً ۵۰٪ بیشتر می‌شود. همانند قبل، تأثیر بر تولید در بخش‌های غیرانرژی بسیار اندک است و اُفت اندکِ کمتر از ۱ درصد را در خروجیِ شاهد خواهد بود.

دقیق‌ترین حالت برای کاهشِ CO2 در بخش استخراج زغال‌سنگ و تولید برق از سوخت فسیلی رخ می‌دهد در حالی که بزرگترین میزانِ کاهشِ گسیل از سویِ برق‌های فسیلی و بخش‌های «باقیِ اقتصاد» است. مصرف خانگی، حمل و نقل، استخراج زغال‌سنگ و نفت بیشترین میزانِ کاهشِ باقی مانده را به خود اختصاص می‌دهند. در اکثر موارد، این کاهش‌ها بر درآمدِ حاصل از مالیات‌های از پیش موجود، به ویژه در صنایعِ انرژی‌محور، تأثیری منفی خواهند داشت. در اینجا، انرژی برق یک مورد استثنایی است که خروجیِ آن افزایش می‌یابد و قیمتش به سبب گسترشِ تولیدِ عاری از کربن تعدیل می‌شود اما تأثیرِ کلیِ سقفِ مجازِ گسیل بر درآمدِ حاصل از مالیات‌های بهینه‌کاوی کمتر از ۱ درصد است.

این خروجی برخلاف درآمد به دست آمده از مجوزهای CO2 است که مسئولِ حدود ۸٪ افزایشِ درآمدهای مالیاتی در BAU است و عمدتاً از بخش‌های انرژی برق، باقیِ اقتصاد، و مصرف‌کننده نهایی نشئت می‌گیرد.

در نهایت اینکه با نگاه به تأثیری که در حالت کلی بر اقتصاد دارد، قیمتِ سایه/ شبه‌قیمت بر سقف مجاز گسیل اثری ناچیز دارد: ۱۵/۵دلار به ازای هر تن، GDP نسبت به سطحِ BAU حدود ۰/۱٤ درصد افت می‌کند در حالی که اُفت در مصرفِ انباشتی اندکی بزرگتر است: ۰/۱٦٪، که تمامی این موارد نشان می‌دهد هزینه‌های اقتصاد کلانِ *کوتاه‌مدت/ نزدیکِ* سقف‌های مجازِ گسیل کوچک هستند. با وجود این، قیمت CO2 و زیانِ

رفاهیِ متصدیان بسیار کمتر از زیانی است که پالتسیف و همکارانش (۲۰۰۷) با استفاده از مدل MIT-EPPA محاسبه کرده‌اند. شبیه‌سازیِ چندمنطقه‌ایِ مقیاس بزرگی که گسیلِ GHG غیر CO2 و انواع شیوه‌های کاهشِ آن را علاوه بر مقادیر مرتبط با ویژگیِ «بتونه–سفال»[1] تعدیلاتِ سرمایه‌ای در نظر می‌گیرد (پالتسیف و همکارانش، ۲۰۰۵). بررسیِ این موارد و دیگر منابع به مشخص کردنِ محدودیت‌های این رویکردِ مدل‌سازی کمک می‌کند و بحث درباره روش‌های حل و فصل این مسائل را آغاز می‌کند که در حیطه مقولاتِ پیشرفته قرار می‌گیرد و به سبب محدودیت فضا، بنده قادر به مطرح کردن آنها در این مطالب نیستم.

موارد احتیاطی و اصلاحات بالقوه

با توجه به انتقاد مربوط به جعبه سیاه، اشاره به این نکته لازم است که نتایج اصلی در جدول ۱٤,۲ شامل چندین نیروی محرک می‌شود که تأثیراتِ دقیق‌شان بر هزینه‌های اقتصاد کلانِ شوکِ سیاسیِ مورد نظر، به طور آشکارا تعیین کمیّت نشده است. از یک‌سو، تحلیلِ تجزیه‌ای روشی ساختاردار برای انجام این نوع بررسی‌هاست که محبوبیتِ آن در حال گسترش است زیرا قادر است شبیه‌سازیِ تعداد بسیاری از بخش‌ها، نواحی و پارامترهای برون‌زا را انجام دهد (برای مثال به این مقالات مراجعه کنید: هریسون[2] و همکارانش، ۲۰۰۰؛ پالتسیف، ۲۰۰۱؛ بوهرینگر و راثرفورد، ۲۰۰۲). از سوی دیگر ساخت مدل‌های ماکتِ بسیار مشابه با ساختاریِ ساده است و فقط چند بخش می‌تواند به شفافیتِ مراوداتِ اقتصادیِ موجود منجر شود اما این مطلب نشان می‌دهد که بایستی با احتیاط به نتایج فعلی توجه کنیم: مدل‌های ساده نظیر اقتصاد CES، به ناچار، درباره ویژگی‌های مهمِ اقتصاد در دنیای واقعی بحث نمی‌کنند که استنباط‌های مهم و بالقوه‌ای در مورد اثراتِ سیاستِ مورد نظر در پی خواهند داشت. در زیر، درباره چندین مورد از این موارد احتیاطی بحث می‌کنیم.

اولین محدودیت آن است که مصرف تنها مقوله حساس به قیمت در مصارف نهایی است. بردارِ ثابتِ «دیگر تقاضاهای نهایی» بر این مطلب دلالت دارد که جایگاهِ صادراتیِ خالصِ اقتصاد و سطح سرمایه‌گذاری، هر دو در مواجهه با حدِ گسیل بی‌تغییرند که البته، به شدت غیر واقع‌بینانه است. حل و فصل این نقیصه نیازمندِ آن است که مدل‌ساز، جریان‌های ناخالصِ تجاری و سرمایه‌گذاری را از یکدیگر تفکیک کند و آنها را به صورت متغیرهای درون‌زا، مدل‌سازی نماید و واردات و صادرات را به صورت توابعی در نظر بگیرد که حاصل تعاملاتِ زیر است: تأثیراتِ مشترکِ تغییرات بر درآمدهای انباشتی و سطحِ قیمتِ داخلیِ ناخالصِ مالیات بر کربن نسبت به قیمت‌های جهانی، و سرمایه‌گذاری مربوط به رفتارِ آینده‌نگرانه خانوارها و تعدیلِ پس‌انداز و صرفه‌جویی و رفتارهای سرمایه‌گذارانه در واکنش به شوکِ سیاستِ مورد نظر. پس می‌توان این مدل را در قالبِ

[1] putty-clay

[2] Harrison

اقتصادِ باز کوچک از نو دوباره محاسبه کرد (برای مثال، هریسون و همکارانش، ۱۹۹۷) و آنطور که آرمینگتون (۱۹۶۹) مطرح کرده است، واردات و صادرات به واسطه قیدِ توازنِ پرداخت‌ها به یکدیگر پیوند می‌خورند و ورودی کالاها به تولید و مصارف نهایی متشکل از گونه‌های تولیدِ داخلی و وارداتی است.

مشخص کردن و بهینه‌کاویِ مدل CGE کاملاً آینده‌نگر در قالبِ مکمل تعادل بحثی بسیار پیچیده در اینجا است. لائو و همکارانش (۲۰۰۲) برای هر حالتی، مقدمه‌ای فوق‌العاده در مورد اصول بنیادیِ آنها مطرح کرده‌اند. مدل‌های CGE با دینامیک بازگشتی به سبب سادگیِ قابل مقایسه‌شان متداول‌ترند، ترتیبی از تعادل‌های استاتیکِ زنجیرشده به یکدیگر را برحسب معادلاتِ بین زمانی حل می‌کند، مالکیتِ عواملِ اساسیِ اقتصاد را به‌روزرسانی می‌نماید و ارزشِ پارامترهای کلیدیِ متغیر با زمان را تعدیل می‌نماید. هسته فرآیند دینامیکِ این مدل‌ها یک معادله سرمایه‌گذاری است که از مقادیرِ متغیرهای دوره فعلی برای برآوردِ نظریِ تقاضای صحیحِ بین زمانی برای شکل‌گیریِ سرمایه جدید استفاده می‌کند. می‌توان با ایجاد امکانِ سرمایه‌گذاری انباشتی به منظور تعدیلِ درون‌زا از طریق دخیل نمودنِ طرحی با تقاضای سرمایه‌گذاری مشابه، واقع‌بینیِ مدل فعلی را به طور چشمگیری بهبود داد.

دومین محدودیت به چشم‌پوشیِ این مدل از اثراتِ مهم انعطاف‌پذیریِ سرمایه (توانایی تعدیلِ نسبتِ عواملِ فرآیندهای تولید که از سرمایه باقی مانده استفاده می‌کنند) و اثرانتقالِ آسانِ سرمایه در بین بخش‌ها بر هزینه‌های کوتاه‌مدتِ سقف مجاز گسیل مربوط می‌شود (ژآکوبی و سو وینگ، ۱۹۹۹). موضوع بحث این است که سرمایه را عاملی همگن در نظر بگیریم که می‌توان آن را به صورت تغییرات نسبیِ قیمت، بدون استهلاک بازتخصیص داد که در نتیجه باعث ایجادِ برگشت‌پذیریِ کامل در تولید می‌شود اما در واقعیت، تغییراتی در تولید دیده می‌شود (جدول ۱٤,۲) که احتمالاً بازجورسازی و اسقاط سرمایه مصرف‌کننده انرژی را در مقیاسی وسیع لازم دارد در نتیجه هزینه‌های هنگفتی برای تعدیل در پی خواهد داشت. با طراحیِ قسمتی از سرمایه ورودیِ هر بخش، به صورت سرمایه موجود/ باقی مانده، این نوع استهلاک را می‌توان مشخص کرد که مسئولِ تولید خروجی با استفاده از فناوریِ دارای ورودی با نسبت‌های ثابتی است. از جمله پیامدهای محتمل کاهش قابل توجه در گردش و بازده سرمایه، به ویژه در بخش‌های رو به اُفول است همچنین کاهش بیشترِ هزینه‌ها در سطوح مختلفِ رفاهی خواهد بود.

سومین محدودیت این است که همانند سرمایه، کار نیز به گونه‌ای مدل‌سازی می‌شود که در حالتِ عرضه غیرکششی قرار دارد. این حالت در ترکیب با فرض اشتغالِ کاملِ بسیاری از مدل‌های CGE، بر این مطلب دلالت دارد که کاهش در کارِ تقاضاشده از طرف بخش‌های رو به اُفول مصرف‌کننده انرژی و سوخت‌های فسیلی نمی‌تواند به «بیکاری» منجر شود. در عوض با کاهش دستمزد، به بازار کار اجازه می‌دهیم تا نیروی کار

اضافی و مازاد را به سمت بخش‌هایی هدایت کند که در آنجا مجدداً جذب خواهند شد اما در واقعیت، کار احتمالاً از تحرک‌پذیریِ کمتری برخوردار باشد که نشان می‌دهد این نوع تعدیلِ قیمت و کمیت با ظهورِ بیکاریِ استهلاکی/ اصطکاکیِ موقت، بسیار آهسته رخ خواهد داد. این پدیده را به راحتی با وارد کردنِ منحنیِ عرضه و تأمین کار در مدلِ مورد نظر شبیه‌سازی می‌کنند و از طریقِ آن، اُفت در دستمزدها باعث کاهشِ مالکیتِ نماینده خانوارها از نظر کار می‌شود (برای مثال به این مقاله مراجعه کنید: بالیستریری،[1] ۲۰۰۲). بسته به ارزشِ کششِ منبع کار، ممکن است تعادلِ برهم‌خورده (منحرف شده) به بیکاری چشمگیری منجر شود اما تعاملاتِ تعادلِ عمومی پیش‌بینی این مطلب را دشوار می‌سازد که آیا زیان رفاهی ناشی از سقف مجاز گسیل، نسبت به حالتی که منبع غیرکششیِ کار را در نظر می‌گیریم بزرگتر است یا کوچکتر.

در آخر اینکه، شاید بزرگترین نقیصه مدلِ فعلی خودِ فرض CES باشد. مدل‌های تحلیلِ سیاست در دنیای واقعی به طور متداول، نشان دهنده امکاناتِ جایگزین‌سازیِ مصرف‌کننده و تولیدکننده با استفاده از توابعِ لانه‌ایِ CES است که کششِ جایگزین‌سازیِ آنها به طور همزمان در بین سطوحِ ساختارهای لانه‌ای و بخش‌های مختلف فرق می‌کند. به این ترتیب، مدلِ کنونی به میزانِ ناهمگنیِ بین‌بخشی در حالات و امکاناتِ جایگزین‌سازی توجه چندانی نمی‌کند که نشان می‌دهد نتایجِ جدول ۱٤,۲ از جهات مختلف دچار سوگیری‌هایی شده‌اند. به طور معمول وقتی تحلیلگر با این نوع مسائل مواجه می‌شود تحلیل حساسیت را انجام می‌دهد تا نتایجِ شبیه‌سازی را با ترکیباتِ مختلفی از مقادیر برای پارامترهای مختلف در مدلِ خود مقایسه کند. با این حال استفاده از تکنیک‌های تحلیلِ عدم‌قطعیتِ ساختاردار، که از توزیع احتمالِ مشتق‌شده از پارامترهای ورودی به طور تجربی بهره می‌گیرد (به این مقاله مراجعه کنید: وبستر و چو،[2] ۲۰۰٦) ظرفیتِ ارتقای فوق‌العاده ادراک ما از چشم‌انداز و پیامدهای عدم‌قطعیت را در ساختار و فرضیاتِ مدل‌های CGE را داراست و از این‌رو، دیدگاه‌های منسجمی را درباره اثراتِ اقتصادیِ سیاست‌ها مطرح می‌کند.

۸ خلاصه

در این فصل، مقدمه‌ای روشن، دقیق و عملی درباره اصول بنیادیِ مدل‌سازی تعادل عمومی قابل محاسبه ارائه کردیم. هدفِ ما روشن ساختنِ مدل‌های CGE و استفاده از آنها در تحلیلِ سیاست‌های انرژی و اقلیمی، از طریق توسعه چارچوبی جامع، شفاف و ساده است که طبق آن اصول بنیادی، پارامتری‌سازیِ عددی، سازوکارِ راه حل‌ها و تکنیک‌های استفاده از آنها را مفهومی‌سازی کردیم. کار را با جریانِ چرخشیِ اقتصاد شروع کردیم و در ادامه، منطق و قواعدِ ماتریس‌های حسابرسیِ اجتماعی را توسعه دادیم و نشان دادیم که چطور اصولِ فرآیند

[1] Balistreri

[2] Webster – Cho

بیشینه‌سازیِ تولیدکننده و مصرف‌کننده بر این چارچوب‌ها امکانِ ساختِ اقتصادی مصنوعی را فراهم می‌کند که بتوان آن را برمبنای این داده‌ها بهینه‌کاوی کرد. سپس تکنیک‌های بهینه‌کاویِ عددی و تکنیک‌های راه حل‌یابی را تشریح کردیم و درباره منحصر به فرد بودن و پایداریِ تعادل‌های شبیه‌سازی شده آنها بحث کردیم. سپس بحث را بر تکنیک‌های استفاده متمرکز کردیم و انواع اصلاحاتِ ساختاری را معرفی کردیم که به مدل‌های CGE اجازه می‌داد تا تأثیراتِ اقتصادیِ انواع انحرافاتِ قیمتی و کمیّتیِ سیاست‌های انرژی و زیست‌محیطی را تحلیل کند و با استفاده از مثال عددیِ واقعی، به طور عملی آن را توضیح دادیم.

به رغم گستره پهناوری که با این نظرسنجی و تحقیق پوشش دادیم، محدودیتِ فضایی باعث شد که بحث درباره ترفندهای روش‌شناختیِ معاملات و تجارت را کنار بگذاریم که در تحلیلِ CGE سیاست‌های انرژی و زیست‌محیطی جزء استانداردها به حساب می‌آیند. به ویژه تمرکز ما بر اقتصاد بسته در این فصل به سمت مسائل مهمِ دیگری سوق پیدا نکرد: برای مثال موارد مربوط به قواعدِ انعقاد قرارداد، بهینه‌کاویِ مدل در حضورِ تعرفه‌های از پیش موجود وارداتی و یا مالیات بر صادرات یا مشخصه‌یابی و بهینه‌کاویِ مدل‌های چندمنطقه‌ای که SAM مربوط به هر اقتصاد را با داده‌های حاصل از جریانِ تجاریِ بین‌منطقه‌ای ترکیب می‌کند. قاعده دانش عملی و نظریِ مطرح‌شده در اینجا می‌تواند شالوده‌ای را برای مطالعه این موارد و دیگر مباحث پیشرفته در زمینه تحلیلِ کاربردیِ تعادل عمومی برای خواننده این کتاب به وجود آورد.

یادداشت‌ها

*. حامی مالی این تحقیق دفتر انرژی و علوم آمریکا (BER) بود (DE-FG0202ER63484 و DE-FG02-06ER64204). همچنین تام راثرفورد دیدگاه‌های ارزشمندی در این زمینه در اختیار ما گذاشت.

۱. به مقاله آرنت و همکارانش (۲۰۰۲) مراجعه کنید که تکنیک همگون‌سازیِ داده‌های بیشینه آنتروپی را برای بهینه‌کاویِ کشش‌های جایگزین‌سازی بر مبنای اطلاعات جانبی درباره قیمت و کران‌های عینیِ مقادیر پارامترها توسعه دادند.

۲. برای مثال به مقاله ویلکوکسن مراجعه کنید (۱۹۸۸، صفحه ۱۲۷، به ویژه پانوشت ۲).

۳. بحث در بخش ۵ درباره تغییرناپذیریِ تکثیرِ بهینه‌کاویِ مدل‌ها بر مقادیرِ پارامترهای جایگزین‌سازی‌شان به طور برجسته‌ای در اینجا نمایان می‌شود. دو مدل استاتیک را در نظر بگیرید که هر کدم کشش جایگزین‌سازی متفاوتی دارند و به گونه‌ای بهینه‌کاوی شده‌اند که بهینه‌کاویِ یکسانی در SAM و در نبودِ انحرافات ناشی از سیاست بازتولید کنند. می‌توان حد گسیلِ مطلقی را بر مدل اول اعمال کرد و از مقدار GDP در تعادلِ انحرافیِ حاصل برای محاسبه سقفِ شدتِ متناظرِ پیش‌بینی شده استفاده نمود. با اعمالِ این سقف بر اولین مدل به همان تعادلِ انحرافیِ قبل می‌رسیم اما اگر مدل دوم را با این سقف مقید کنیم به اثراتِ متفاوتی خواهیم رسید که در نتیجه اثرِ پارامتری‌سازیِ جایگزین بر GDP است؛

٤. مشاهده کنید که درآمد حاصل از تمامیِ تولیدکنندگان $\Sigma_{e=1}^{\varepsilon}\rho\tau^{RPS}\varepsilon_e y_e$ است در حالی که درآمد دریافتیِ تولیدکنندگانِ انرژی تجدیدپذیر $\Sigma_{e\in\varepsilon''}\tau^{RPS}\varepsilon_e y_e$ است. این گزاره‌ها را معادل هم قرار دهید و τ^{RPS} را از هر دو طرف عبارت حاصل حذف کنید تا به قیدِ سهمیه‌بندی در متن برسید. استنباط این است که بارِ تأمین مالیِ حاشیه‌ای، با توجه به قیدِ RPS به قضیه مکمل می‌رسد: حالتِ دوم یا پیونددهنده است و $0<\tau^{RPS}$ خواهد بود یا غیرپیوندی است و $0=\tau^{RPS}$.

۵. برای مشاهده جزئیات برای مثال به مقاله رینرت و رولند–هولست[1] (۱۹۹۲) مراجعه کنید. گابریل مدیروس از اداره تحلیل اقتصادی کمک شایانی در این رویه به ما کرد.

٦. تفکیکِ ستونِ بخشِ مورد نظر به سادگی انجام شد: ۲۸/٤٪ از کار، سرمایه و ورودیِ واسطه‌ای غیرانرژی و نیز تمامیِ ورودی‌های منابع اساسی انرژی، به تولیدِ برق عاری از کربن تخصیص یافت در حالی که باقی ورودیِ کالاهای واسطه و عوامل اساسی به تولید برق از سوخت فسیلی تخصیص یافت. سو وینگ (۲۰۰۸) روش پیچیده‌تری برای تفکیکِ فناوری‌های منفرد از بخشِ اقتصادیِ انباشتی توسعه داده‌اند.

---

[1] Reinert – Roland-Holst

منابع:

Armington, P.S. (1969), 'A theory of demand for products distinguished by place of production', IMF Staff Papers, 16 (1), 170–201.

Arndt, C., S. Robinson and F. Tarp (2002), 'Parameter estimation for a computable general equilibrium model: a maximum entropy approach', *Economic Modelling*, 19 (3), 375–98.

Balistreri, E.J. (2002), 'Operationalizing equilibrium unemployment: a general equilibrium external economies approach', *Journal of Economic Dynamics and Control*, 26, 347–74.

Baron, R. and Y. Serret (2002), 'Renewable energy certificates: trading instruments for the promotion of renewable energy', in *Implementing Domestic Tradeable Permits: Recent Developments and Future Challenges*, OECD Proceedings, Paris: OECD, pp. 105–40.

Bergman, L. (2005), 'CGE modeling of environmental policy and resource management', in K.-G. Maler and J.R. Vincent (eds), *Handbook of Environmental Economics*, Vol. 3, Amsterdam: Elsevier, pp. 1273–306.

Bhattacharyya, S.C. (1996), 'Applied general equilibrium models for energy studies: a survey', *Energy Economics*, 18, 145–64.

Bohringer, C. and T.F. Rutherford (2002), 'Carbon abatement and international spillovers', *Environmental and Resource Economics*, 22 (3), 391–417.

Bohringer, C., T.F. Rutherford and W. Wiegard (2003), 'Computable general equilibrium analysis: opening a black box', Discussion Paper No. 03-56, ZEW, Mannheim, Germany.

Brooke, A., D. Kendrick, A. Meeraus and R. Raman (1998), *GAMS: A User's Guide*, Washington, DC: GAMS Development Corp.

Conrad, K. (1999), 'Computable general equilibrium models for environmental economics and policy analysis', in J. van den Bergh (ed.), *Handbook of Environmental and Resource Economics*, Cheltenham, UK and Northampton, MA, USA: Edward Elgar, pp. 1061–87.

Conrad, K. (2001), 'Computable general equilibrium models in environmental and resource economics', in T. Tietenberg and H. Folmer (eds), *The International Yearbook of Environmental and Resource Economics 2002/2003*, Cheltenham, UK and Northampton, MA, USA: Edward Elgar, pp. 66–114.

Cottle, R.W., J.-S. Pang and R.E. Stone (1992), *The Linear Complementarity Problem*, Boston, MA: Academic Press.

Dawkins, C., T. Srinivasan and J. Whalley (2001), 'Calibration', in J. Heckman and E. Leamer (eds), *Handbook of Econometrics*, Vol. 5, Amsterdam: Elsevier Science, pp. 3653–703.

Dirkse, S.P. and M.C. Ferris (1995), 'The PATH solver: a non-monotone stabilization scheme for mixed complementarity problems', *Optimization Methods and Software*, 5, 123–56.
Eaves, B.C. and K. Schmedders (1999), 'General equilibrium models and homotopy methods', *Journal of Economic Dynamics and Control*, 23, 1249–79.
Ellerman, A.D. and I. Sue Wing (2003), 'Absolute vs. intensity-based emission caps', *Climate Policy*, 3 (Supplement 2), S7–S20.
Ferris, M.C. and C. Kanzow (2002), 'Complementarity and related problems', in P. Pardalos and M. Resende (eds), *Handbook of Applied Optimization*, New York: Oxford University Press, pp. 514–30.
Ferris, M.C. and T.S. Munson (2000), 'Complementarity problems in GAMS and the PATH solver', *Journal of Economic Dynamics and Control*, 24, 165–88.
Ferris, M.C., T.S. Munson and D. Ralph (2000), 'A homotopy method for mixed complementarity problems based on the PATH solver', in D. Griffiths and G. Watson (eds), *Numerical Analysis 1999*, London: Chapman & Hall, pp. 143–67.
Ferris, M.C. and J.-S. Pang (1997), 'Engineering and economic applications of complementarity problems', *SIAM Review*, 39 (4), 669–713.
Fisher-Vanden, K. and M.S. Ho (2007), 'How do market reforms affect China's responsiveness to environmental policy?', *Journal of Development Economics*, 82 (1), 200–233.
Garcia, C. and W.I. Zangwill (1981), *Pathways to Solutions, Fixed Points, and Equilibria*, Englewood Cliff s, NJ: Prentice-Hall.
Goulder, L.H. (1995), 'Effects of carbon taxes in an economy with prior tax distortions: an intertemporal general equilibrium analysis', *Journal of Environmental Economics and Management*, 29, 271–97.
Goulder, L.H. (ed.) (2002), *Environmental Policy Making in Economies with Prior Tax Distortions*, Cheltenham, UK and Northampton, MA, USA: Edward Elgar.
Harrison, W.J., J.M. Horridge and K. Pearson (2000), 'Decomposing simulation results with respect to exogenous shocks', *Computational Economics*, 15, 227–49.
Harrison, G.W., T.F. Rutherford and D.G. Tarr (1997), 'Quantifying the Uruguay round', *Economic Journal*, 107, 1405–30.
Hines, J.R. (1999), 'Three sides of Harberger triangles', *Journal of Economic Perspectives*, 13, 167–88.
Hosoe, N. (2000), 'Dependency of simulation results on the choice of numeraire', *Applied Economics Letters*, 7, 475–77.
Jacoby, H.D. and I. Sue Wing (1999), 'Adjustment time, capital malleability, and policy cost', *The Energy Journal Special Issue: The Costs of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation*, 73–92.

Jorgenson, D.W. (1984), 'Econometric methods for applied general equilibrium analysis', in H. Scarf and J.B. Shoven (eds), *Applied General Equilibrium Analysis*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 139–207.
Kehoe, P.J. and T.J. Kehoe (1995), 'A primer on static applied general equilibrium models', in Kehoe and Kehoe (eds), *Modeling North American Economic Integration*, Boston, MA: Kluwer Academic, pp. 1–31.
Kehoe, T.J. (1991), 'Computation and multiplicity of equilibria', in W. Hildenbrand and H. Sonnenschein (eds), *Handbook of Mathematical Economics*, Vol. IV, Amsterdam: North-Holland, pp. 2049–143.
Kehoe, T.J. (1998a), 'Social accounting matrices and applied general equilibrium models', in I. Begg and S. Henry (eds), *Applied Economics and Public Policy*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 59–87.
Kehoe, T.J. (1998b), 'Uniqueness and stability', in A.P. Kirman (ed.), *Elements of General Equilibrium Analysis*, Oxford: Basil Blackwell, pp. 38–87.
King, B. (1985), 'What is a SAM?', in J. Pyatt and J. Round (eds), *Social Accounting Matrices: A Basis for Planning*, Washington, DC: World Bank, pp. 1–15.
Lau, M., A. Pahlke and T. Rutherford (2002), 'Approximating infinite-horizon models in a complementarity format: a primer in dynamic general equilibrium analysis', *Journal of Economic Dynamics and Control*, 26, 577–609.
Lutton, T. and M. LeBlanc (1984), 'A comparison of multivariate logit and translog models for energy and nonenergy input cost share analysis', *The Energy Journal*, 5 (4), 45–54.
Mathiesen, L. (1985a), 'Computation of economic equilibria by a sequence of linear complementarity problems', *Mathematical Programming Study*, 23, 144–62.
Mathiesen, L. (1985b), 'Computational experience in solving equilibrium models by a sequence of linear complementarity problems', *Operations Research*, 33, 1225–50.
McKibbin, W. and P.J. Wilcoxen (1998), 'The theoretical and empirical structure of the G-cubed model', *Economic Modelling*, 16 (1), 123–48.
McKitrick, R.R. (1998), 'The econometric critique of applied general equilibrium modelling: the role of functional forms', *Economic Modelling*, 15, 543–73.
Paltsev, S. (2001), 'The Kyoto Protocol: regional and sectoral contributions to the carbon leakage', *The Energy Journal*, 22, 53–79.
Paltsev, S. (2004), 'Moving from static to dynamic general equilibrium economic models (notes for a beginner in MPSGE)', Technical Note No. 4, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Cambridge, MA.
Paltsev, S., J. Reilly, H. Jacoby, R. Eckaus, J. McFarland, M. Sarofim, M. Asadoorian and M. Babiker (2005), 'The MIT emissions prediction and policy

analysis (EPPA) model: Version 4', Report No. 125, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Cambridge, MA.
Paltsev, S., J.M. Reilly, H.D. Jacoby, A.C. Gurgel, G.E. Metcalf, A.P. Sokolov and J.F. Holak (2007), 'Assessment of U.S. cap-and-trade proposals', Working Paper No. 13176, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.
Panagariya, A. and R. Duttagupta (2001), 'The "gains" from preferential trade liberalization in the CGE models: where do they come from?', in S. Lahiri (ed.), *Regionalism and Globalization: Theory and Practice*, London: Routledge, pp. 39–60.
Perroni, C. and T.F. Rutherford (1998), 'A comparison of the performance of flexible functional forms for use in applied general equilibrium modelling', *Computational Economics*, 11 (3), 245–63.
Reinert, K.A. and D.W. Roland-Holst (1992), 'A detailed social accounting matrix for the USA, 1988', *Economic Systems Research*, 4, 173–87.
Rutherford, T.F. (1987), 'Implementational issues and computational performance solving applied general equilibrium models with SLCP', Cowles Foundation Discussion Paper No. 837, Yale University, New Haven, CT.
Rutherford, T.F. (1995), 'Extensions of GAMS for complementarity problems arising in applied economic analysis', *Journal of Economic Dynamics and Control*, 19, 1299–324.
Rutherford, T.F. (1999), 'Applied general equilibrium modeling with MPSGE as a GAMS subsystem: an overview of the modeling framework and syntax', *Computational Economics*, 14, 1–46.
Shoven, J.B. and J.L. Whalley (1984), 'Applied general equilibrium models of taxation and international trade: an introduction and survey', *Journal of Economic Literature*, 22, 1007–51.
Sue Wing, I. (2001), 'Induced Technical Change in CGE Models for Climate Policy Analysis', PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
Sue Wing, I. (2004), 'Computable general equilibrium models and their use in economy-wide policy analysis', Technical Note No. 6, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Cambridge, MA.
Sue Wing, I. (2008), 'The synthesis of bottom-up and top-down approaches to climate policy modeling: electric power technology detail in a social accounting framework', *Energy Economics*, 30, 547–73.
Sue Wing, I. and R.S. Eckaus (2007), 'The decline in U.S. energy intensity: its origins and implications for long run CO2 emission projections', *Energy Policy*, 35, 5267–86.

US EPA (2007), *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2005*, Washington, DC: Government Printing Office. Varian, H.R. (1992), *Microeconomic Analysis*, New York: Norton.
Webster, M. and C.-H. Cho (2006), 'Analysis of variability and correlation in long-term economic growth rates', *Energy Economics*, 28, 653–66.
Wilcoxen, P.J. (1988), 'The Effects of Environmental Regulation and Energy Prices on U.S. Economic Performance', PhD thesis, Harvard University, Cambridge MA.

۱۵ مدل‌سازیِ اقتصاد انرژی محیط زیست: تحقیق

کلادیا کم‌فرت و ترونگ ترونگ

۱ مقدمه

نگرانی درباره اتمامِ ذخایر سوخت فسیلی در اوایل دهه ۷۰ میلادی باعث توسعه مدل‌های اقتصادی نظری و کاربردیِ پیوند اقتصاد و انرژی همراه با بررسیِ مفصلِ بازار انرژی شد. اقداماتِ اولیه در مورد مدل‌سازیِ رابطه اقتصاد–انرژی، اساساً بر تأثیرِ منابعِ کمیاب انرژی نظیر نفت بر اقتصادهای جهان متمرکز بودند. اخیراً نه تنها کمیاب شدنِ منابع انرژی بلکه دیگر منابع طبیعی در محیط زیست نیز نقشی عمده در مدل‌سازی اقتصادی ایفا می‌کند. پیچیدگیِ مدل‌ها به شدت افزایش یافته است به ویژه در حیطه‌های مرتبط با مسائل زیست‌محیطیِ جهانی نظیر باران‌های اسیدی، سوراخ شدن لایه اوزون و تغییرات اقلیمی. برای مثال تغییرات اقلیمی را در نظر بگیرید. در اینجا توافق عمومی یا فرضِ عمومی بر این است که یکی از عللِ مهمِ این پدیده محتمل، رهاسازی گازهای گلخانه‌ایِ با منشأ انسانی است که عمدتاً ناشی از مصرفِ سوخت‌های فسیلی است. به منظور جلوگیری یا تقلیلِ این رویدادِ محتمل، به راهبردها و سیاست‌های یکپارچه زیست‌محیطی–انرژی نیاز داریم که تعاملاتِ پیچیده بین سامانه‌های اقلیمی، اکولوژیکی و اقتصادی را به حساب بیاورد. چنین سیاست‌ها و استراتژی‌های یکپارچه‌ای غالباً در چارچوبِ رویکردِ مدل‌سازیِ ارزیابیِ یکپارچه (IAM)[1] مطالعه می‌شوند [۱]. مقالاتِ فعلی درباره IAM عمدتاً بر مقایسه نتایج مدل‌سازی متمرکز هستند [۲]. هدف این فصل ارائه تصویری کلی از پیشینه نظری، رویکردهای روش‌شناختی و طراحی مدل‌ها است. در بخش دو، نظریات و روش‌های عمومیِ هر مدل را توضیح می‌دهیم و در بخش سه، مدل‌های کاربردی را بررسی خواهیم کرد. در بخش چهار، به برخی از مسائل خاص نظیرِ جایگزین‌پذیریِ انرژی و نقشِ منابع انرژی و محیط زیست در مدل‌های اقتصادی اشاره می‌کنیم. همچنین تحقیقی مختصر درباره مدل‌های اقتصاد–انرژی–محیط زیست کنونی انجام خواهیم داد. در بخش پنج جمع‌بندی را ارائه می‌کنیم.

۲ نظریه‌های اقتصادی

معمولاً اقتصاددانان بین دو نظریه عمده اقتصادی تمایز قائل می‌شوند: مکتب اقتصادیِ نوکلاسیک[2] و مکتب اقتصادیِ نوکینز[3]. نظریه اقتصادیِ نوکلاسیک تصمیماتِ اقتصادِ خُردِ افراد را در برمی‌گیرد و توزیع و تخصیصِ

[1] integrated assessment modelling (IAM)

[2] neoclassical

[3] neo-Keynesian

منابعِ کمیاب به سمت اهدافِ جایگزین را با این فرض که قیود منابع و تسویه بازار ثابت است بررسی می‌کند. مصرف‌کنندگان سطحِ مطلوبیتِ خود را از نظرِ محدودیت‌های بودجه‌ای به حداکثر می‌رسانند و بنگاه‌های تجاری با توجه به محدودیت‌های هزینه‌ای، سود خود را به حداکثر می‌رسانند. در حالتِ تعادل، مطلوبیت‌های نهایی/ حاشیه‌ای مصرف یا محصولاتِ حاشیه‌ایِ عوامل با قیمت‌های نسبی‌شان برابر هستند. فرآیندهای جایگزین‌سازی به سبب تغییر در قیمت‌های نسبی القا می‌شوند. تسویه در تمامی بازارها به سبب تعدیلِ قیمت‌های بازار حاصل می‌شود. در نظریه تعادلِ عمومی، تمرکز اصلی بر تخصیصِ اقتصاد خُردِ منابع کمیاب در بین مصارف جایگزین با رویکردِ به حداکثر رساندنِ رفاه اجتماعی است. عموماً چهار بازار متفاوت وجود دارد که از لحاظ نظری در آنها به دنبال تبیینِ وضعیتِ تعادلی‌شان هستیم: بازار کالا، بازار کار، بازار سرمایه و بازار پول. در بازار کار فرض بر آن است که منبع عرضه و تقاضا تحت تأثیرِ دستمزدهای واقعی است. سپس، اشتغال کامل زمانی حاصل می‌شود که دستمزد واقعی به گونه‌ای تعدیل شود که عرضه و تقاضا را متوازن سازد. بازار سرمایه تحت حاکمیتِ تصمیماتِ مرتبط با سرمایه‌گذاریِ بنگاه‌های تجاری و تصمیماتِ مرتبط با پس‌انداز از سوی خانوارها است. بازار سرمایه زمانی تسویه می‌شود که نرخ بهره –که بر تصمیماتِ سرمایه‌گذاری و پس‌اندازِ بنگاه‌های تجاری و خانوارها اثر می‌گذارد– به گونه‌ای تعدیل شود که بین عرضه (پس‌انداز) و تقاضا (سرمایه‌گذاری) توازن برقرار کند. در نهایت اینکه، تعادل در بازارِ پول نیز از طریق تعدیلِ نرخ بهره بازار، که بر تقاضای پول اثرگذار است و سطح خاصی از عرضه پول که غالباً به طور برون‌زا از سوی نهادهای پولی تعیین می‌گردد، حاصل می‌شود. پس تعادل عمومی را به این‌صورت تعریف می‌کنیم: زمانی‌که تمامی بازارها تسویه شوند. بدون مداخله دولت، می‌توان در صورتی به تعادل عمومی رسید که فرض کنیم فعالیتِ «دست‌های پنهانِ بازار» وجود دارد. برخلاف این حالت، در نظریه نوکینزی عقیده بر آن است که تعادل عمومی بازار همیشه قابل حصول نیست و علتِ آن «نامنعطف بودن» یا «چسبندگیِ»[1] دستمزدهای پولی (در جهت رو به پایین) در بازار کار است. همچنین این حالت باعث می‌شود دستمزدهای واقعیِ پولی نامنعطف شوند و به این ترتیب تقاضای کار نمی‌تواند همیشه خود را با سطحِ عرضه کار وفق دهد. بنابراین، بیکاری (عدم‌تعادل) ممکن است در بازار کار پدیدار شود. به منظور نمایش این عدم‌تعادل در مدلِ «تعادل عمومی»، یک متغیرِ کمکی/ متغیر مجازی را معرفی می‌کنیم که هر زمان شکافِ بی‌تعادلی بین عرضه و تقاضا به وجود بیاید، مقدار غیر صفر به خود می‌گیرد.

[1] stickiness

اکثر مدل‌های تعادلی بر مبنای نظریه نوکلاسیک هستند. با این حال در برخی موارد، مؤلفه‌های نظریه نوکینزی را می‌توان از طریق بهره‌گیری از متغیرهای کمکیِ مذکور واردِ مدل تعادل عمومی کرد. رابینسون (۲۰۰۶) به ترکیبی از نظریه‌های مورد استفاده در مدل‌های تعادل عمومیِ قابل‌محاسبه (CGE) تحت سه عنوان اشاره می‌کند: ۱. مکتبِ بنیادگرایی[1] ۲.مکتب بهایی[2] و ۳. مکتبِ وحدت‌گرا (جهانی/ عام)[3]. در مکتبِ بنیادگرایی، از نظریه اقتصادی نوکلاسیک مطلق یا والرسی پیروی می‌شود یعنی برای بازار کالا، کار و سرمایه تعادل فرض می‌شود. غالباً بازار پول در مدل والرسی مشخص نمی‌شود که صرفاً به جریان‌های فیزیکی و قیمت‌های نسبی مربوط می‌شود. به منظور تعیینِ تعادل بازار پول و سطح مطلقِ قیمت‌ها باید از مدل اقتصاد کلانِ مجزایی استفاده کرد. این مدل اقتصاد کلان، مشخص‌کننده متغیرهای بازار پول و رابطه آنها با دیگر متغیرهای اقتصاد کلان نظیر مصرف انباشتی، سرمایه‌گذاری، پس‌انداز، مخارج و مالیات‌های دولتی است. نحوه ربط دادنِ سطوح این متغیرهای اقتصاد کلان به سطوحِ متغیرهای اقتصاد خُرد که در مدل والرسی مشخص شده‌اند، مسئله است. در مکتب بنیادگرا به نظر نمی‌رسد که این مسئله حل شده باشد. در مکتب بهایی از طریقِ وارد کردنِ مستقیمِ مؤلفه‌های خاصِ مدل اقتصاد کلان کینزی (یا دیگر انواع) به مدلِ تعادل والرسی از این مسئله تا حدی اجتناب می‌شود. با این حال این اقدام از شفافیت یا خلوصِ مدل والرسی می‌کاهد. در نهایت اینکه، در مکتب عام/جهانی (وحدت‌گرا) که قاعده کلی این است «چیزهای مربوط به والراس را به والراس واگذار کن و چیزهای مربوط به کینز را به کینز واگذار کن» می‌توان مدل CGE (نوکلاسیک) را مجزا و متمایز از مدل مالیِ اقتصاد کلان کینزی (یا دیگر انواع) نگه داشت. بنابراین، اقدامی برای پیوندِ این دو مدل انجام می‌شود: مثلاً از طریق در نظر گرفتنِ برخی از متغیرها به صورت برون‌زا در یک مدل و درون‌زا در مدلی دیگر (برای مثال، به پاول، ۱۹۸۱؛ تایسون و رابینسون، ۱۹۸۳ مراجعه کنید). طبق گفته رابینسون، طی دهه گذشته اثرِ مکتبِ بنیادگرا کاهش یافته است در حالی که اثر مکاتبِ بهایی و وحدت‌گرا رشد داشته است.

غالباً مدل‌های تعادلِ عمومی استاتیک هستند یا صرفاً به طور بازگشتی دینامیک به حساب می‌آیند (نتایج استاتیکِ یک دوره واردِ پایگاه داده دوره زمانی بعد می‌شود در حالی که رفتارِ تصمیم‌گیرندگانِ منفرد «نزدیک‌بین»[4] باقی می‌ماند). مدل‌های تعادل عمومیِ کاملاً دینامیک یا بین زمانی صرفاً برای مدل‌های کوچکی با تعدادِ معدودی بخش، منطقه و یا دوره زمانی ساخته می‌شوند و علتِ آن، بارِ محاسباتیِ اضافی مربوط به

---

[1]Fundamentalist

[2]Bahá’i

[3]Ecumenical

[4]myopic

تصمیماتِ بین زمانی است. به طور معمول، در مدل‌های CGE فرض می‌شود که مصرف‌کننده (یا برنامه‌ریز اجتماعی) که عمر نامحدود دارد و تابع مطلوبیتِ بین زمانی (یا رفاه اجتماعی) را بهینه می‌کند دچارِ چند قید برای منابع شده است (مثلاً رشد جمعیت، تأمین انرژی) و تحت شرایطِ مطمئن، بازارهای رقابتی و بازده ثابت برای افزایش تولید قرار دارد (برای مثال مدل بهینه‌سازیِ افق نامتناهیِ رمزی[1]). این مدل، غالباً از تابع تولید انباشتی استفاده می‌کند که شامل چند ورودی نظیر کار، سرمایه و شاید ورودی منبعی طبیعی نظیر انرژی باشد. برخلاف این حالت، مدل‌های نسل‌های همپوشان (OLG)[2] وجود دارد که امکانِ بررسیِ مصرف‌کنندگانِ مختلفِ نسل‌های مختلف را که عمری متناهی دارند فراهم می‌سازد (برای مثال به این مقالات مراجعه کنید: استفان و همکارانش، ۱۹۹۷؛ هووارث، ۱۹۹۸؛ گرلاگ و ون‌در زوان،[3] ۲۰۰۱). نسل‌های مختلف در دوره‌های زمانیِ متفاوت قادرند با یکدیگر دادوستد کنند. غالباً نتایج مدل‌های OLG با نتایج مدل‌های رمزی یکسان نیست یعنی لزوماً نمی‌توان به اصل بهینگیِ پارتو در مدل OLG دست یافت (در مدل رمزی قابل حصول است).

۳ مدل‌های کاربردی

می‌توان مدل‌های کاربردی را براساسِ هدفِ ساخت‌شان دسته‌بندی کرد. برای مثال بین مدل‌های *پیش‌بینی* و *ارزیابی* (یا *شبیه‌سازی*) تمایزی وجود دارد. غالباً مدل‌های پیش‌بینی در مورد مطالعاتِ اقتصادسنجی ساخته می‌شوند که از داده‌های تاریخی استفاده می‌کنند و برای برون‌یابیِ روندهای تاریخی در آینده به کار می‌روند. از سویی دیگر، از مدل‌های شبیه‌سازی برای پاسخ به پرسش‌های «چه می‌شد اگر...» در سیاستِ مورد نظر استفاده می‌گردد. برای انجام این کار ابتدا با ارائه فرضیاتی معین درباره متغیرهای عمده اقتصادی نظیر رشد جمعیت، رشد منابع فیزیکی، کشش‌های جایگزین‌سازی و نرخِ پیشرفتِ فنی سناریوی مرجع یا سناریوی «متداول» را می‌سازیم. سپس سناریوی سیاست خاص را می‌سازیم که امکانِ تغییر به متغیرهای کلیدی اقتصاد را می‌دهد. سپس نتایج حاصل از سناریوهای مرجع و سیاستِ مورد نظر را مقایسه می‌کنیم که در مشخص کردنِ اثراتِ تغییر در متغیرهای کلیدی اقتصاد بسیار کمک‌کننده خواهد بود.

همچنین می‌توان مدل‌های کاربردی را طبق مقیاس جغرافیایی یا زمانیِ تحلیل، دسته‌بندی کرد. برای مثال مدل‌های جهانی مواردی‌اند که شامل اطلاعاتی در مورد بسیاری از مناطق یا کشورها هستند و از آنها برای تحلیل روابط اقتصادی یا تعاملاتِ بین آنها در سطح بسیار بالای انباشته استفاده می‌شود. مدل‌های منطقه‌ای

---

[1] Ramsey infinite-horizon optimisation model

[2] overlapping generation (OLG)models

[3] van der Zwaan–Gerlagh–Howarth

عمدتاً بر منطقه‌ای خاص نظیر اروپا یا آسیا متمرکز هستند در حالی که مدل‌های ملی به روابطِ اقتصادی در کشورهای خاص نگاه می‌کنند. بسیاری از مدل‌های کاربردی، تحلیل را بر یک یا فقط چند بخشِ اقتصاد متمرکز می‌کنند در حالی که دیگر موارد، بخش‌های بسیاری را پوشش می‌دهند. از مدل‌های تک‌بخشی (یا مدل‌هایی با چند بخشِ معدود) برای تحلیلِ مسائلِ اقتصاد کلان نظیر رشد بهینه یا استخراج منبع بهینه استفاده می‌شود در حالی که از مدل‌های چندبخشی برای تحلیلِ مسائل اقتصاد خُرد نظیر تغییر ساختاری یا اثراتِ توزیعیِ دادوستد و اصلاحاتِ مالیاتی استفاده می‌شود. غالباً در مقیاس زمانی، مدل اثراتِ اقلیمی جهانی افقِ بلندمدتی را پوشش می‌دهد (دست‌کم ۵۰ سال) اما دیگر مدل‌های تغییر ساختاری اقتصادی بازه‌های میان مدت نظیر ۵ تا ۱۰ سال را پوشش می‌دهند. مدل‌های پیش‌بینی یا اثراتِ کوتاه مدت نیز بازه‌های زمانی ۱ تا ۵ سال را پوشش می‌دهد.

در نهایت اینکه، مدل‌های کاربردی طبق سطحِ انباشت و رویکردهای نظریِ مورد استفاده دسته‌بندی می‌شوند. برای مثال در مدل‌های «بالا به پایین» به پیوندِ انرژی–اقتصاد–زیست‌محیطیِ انباشتی از منظرِ ملی، منطقه‌ای یا اقتصاد جهانی، در حالت کلی، نگاه می‌کنیم. برخلاف این حالت، در مدل‌های «پایین به بالا» از منظرِ بخشی خاص به قضیه نگاه می‌کنیم (مثلاً حمل و نقل یا تولید برق) و نسبت به مدل‌های بالا به پایین نیز جزئیاتِ بیشتری را در مورد فعالیت‌ها یا فناوری‌های گوناگونِ مورد استفاده در این بخش شاهد هستیم. غالباً مدل‌های پایین به بالا از تکنیک‌های ریاضیاتیِ برنامه‌نویسیِ خطی یا غیرخطی برای تحلیل استفاده می‌کنند، در حالی که غالباً در مدل‌های بالا به پایین از رویکردِ تابع تولید به شدت انباشتی بهره می‌برند. هر رویکرد یا روشِ تحلیل می‌تواند به نتایج متفاوتی منجر شود (هورکید و همکارانش، ۱۹۹۶). برای مثال در رابطه با مسئله بازده انرژی و جایگزین‌سازی تمایلِ مدل‌های بالا به پایین نسبت به مدل‌های پایین به بالا این است که نتایجی کمتر خوش‌بینانه تولید کنند. این حالت را می‌توان تا حدی براساس این حقیقت توضیح داد که مدل‌های بالا به پایین، غالباً در بردارنده بازخوردهای تعادل عمومی هستند (که بر به حساب آوردن هزینه‌های غیرمستقیم دلالت دارد) در حالی که مدل‌های پایین به بالا اینگونه نیستند (گروب و همکارانش، ۱۹۹۳). ذاتِ «تعادلِ جزئی» در مدل‌های پایین به بالا نیز تشکیل‌دهنده یکی از نقاط ضعفِ ذاتی‌اش است بنابراین، برای غلبه بر این معضل، غالباً مدل‌های پایین به بالا را با رویکردِ به اصطلاح «مرکب» به مدل‌های بالا به پایین پیوند می‌دهند. یکی از تکنیک‌ها برای پیوندِ این دو نوع مدل آن است که برخی از مدل‌ها را در یک مدل به صورت برون‌زا تعریف کنیم و در مدلِ دیگر به صورت درون‌زا در نظر بگیریم. انتقال اطلاعات از یک مدل به مدل دیگر را می‌توان یا به صورت ترتیبی و تکرارشونده انجام داد تا زمانی که چند معیارِ «همپوشانی» در هر دو مدل برقرار گردد (این حالت را پیوندِ «نرم» می‌نامند) یا اینکه به طور همزمان این کار را کرد– شاید با وارد کردنِ مدل پایین به بالا در مدل بالا به پایین (که به آن پیوند «سخت» می‌گویند) (برای مثال، به این مقاله مراجعه کنید: بوهرینگر و لوچل،

۲۰۰۶). رویکردِ پیوند سخت از این مزیت برخوردار است که ثبات رویه کامل را بین نتایج هر دو مدل تضمین می‌کند اما از نظر توسعه نظریه و نیز تکنیک‌های محاسباتی، دشواری بیشتری نیز دارد. به همین دلیل از این تکنیک غالباً استفاده نمی‌شود به ویژه وقتی که مدل‌ها بزرگ باشند. در عمل، مدل‌سازان به وجودِ مقداری «پیوند نرم» یا حتی استفاده از نتایج مدل (پایین به بالا) برای تولید اطلاعاتی که در ادامه از آنها برای برآورد پارامترهای کلیدی معین استفاده می‌شود (نظیر کشش جایگزین‌سازی) و بعداً در دیگر مدل‌ها (بالا به پایین) به کار می‌رود اکتفا می‌کنند.

بسته به نوعِ مدلِ تحت ساخت، داده‌های مورد استفاده نیز فرق می‌کنند. در اغلب موارد، مدل‌های پیش‌بینی از داده‌های سری‌های زمانی استفاده می‌کنند در حالی که مدل‌های مطالعات اثرات از داده‌های ورودی–خروجی با پارامترهای برآورد شده از داده‌های سری زمانی و یا سطح مقطعی بهره می‌گیرند (مثلاً کشش جایگزین‌سازی). قابلیت اطمینان و ثبات رویه داده‌ها، مسئله‌ای مهم برای مدل‌ها در مقیاس بزرگ است. برای مثال در مدل‌های اقتصاد جهانی نیازمند داده‌های کشورهای مختلف هستیم (ورودی–خروجی، داده‌های دادوستد) پس باید پایگاه‌های داده مختلف را در قالب یک مجموعه ثابت، هماهنگ و تلفیق کنیم (برای مثال به این مقاله مراجعه کنید: هرتل، ۱۹۹۹). به طور فزاینده‌ای، مدل‌سازیِ اقتصاد–انرژی–محیط زیست نیز نیازمندِ تفسیرِ اطلاعاتِ «جریان‌های فیزیکی» (نظیر مصرف انرژی و داده‌های گسیل در واحدهای فیزیکی) به موازاتِ داده‌های اقتصادی سنتی (جریان ارزش) است (مثلاً ورودی–خروجی یا داده‌های حساب ملی). تلفیق و هماهنگ‌سازیِ داده‌های فیزیکی (موارد متوازن‌شده) با داده‌های اقتصادی (ارزش متوازن‌شده) از لحاظ مفهومی و نیز تجربی نسبت به هماهنگ‌سازی و تلفیقِ پایگاه‌های داده مختلف از مناطق متفاوت، چالش دشوارتری است اما یک نوع داده اقتصادی یا فیزیکی است.

٤ نقش انرژی و محیط زیست در مدل‌های اقتصادی

رویکرد سنتیِ پیوند اقتصاد انرژی

اقتصاددانانِ برجسته مکتبِ نوکلاسیک، انرژی و محیط زیست را «ورودی» فعالیت‌های تولیدی یا مصرفی می‌دانند. انرژیِ ورودی، حاصل از منابع طبیعی (نظیر سوخت‌های فسیلی) است و محیط زیست نیز از این جهت «ورودی» به حساب می‌آید که قادر است به صورت «گودالی» برای ضایعاتِ فعالیتِ تولیدی عمل کند. عرضه محدود و ذاتِ تجدیدناپذیرِ برخی از منابع انرژی می‌تواند بر توانمندی اقتصاد برای حفظِ رشد در بلندمدت محدودیتی اعمال کند. همچنین محیط زیست طبیعی توانمندیِ محدودی برای جذب «ضایعات» از فعالیت‌های اقتصادی دارد بنابراین، این حالت می‌تواند به صورت قیدی بر رشد اقتصادیِ بلندمدت، پایدار عمل

کند. یکی از اهداف مدل‌سازی اقتصاد–انرژی–محیط زیست یافتنِ محدودیت‌های رشد اقتصادی (در صورت وجود) در بلندمدت است که از منابع محدودِ انرژی و زیست‌محیطی نشئت می‌گیرد.

تابع تولید انباشتی زیر را در نظر بگیرید که به طور معمول در مدل بالا به پایین نوکلاسیک استفاده می‌شود:

$$X = f(K, L, M, E, N); \qquad \textbf{۱۵,۱}$$

در اینجا X خروجی ناخالص، K سرمایه، L کار، M ورودی واسطه‌ای غیرانرژی (مواد)، E سوخت یا ورودی انرژی و N ورودی محیط زیست است. در اکثر موارد، E انباشتی از سوخت‌های غیرفسیلی و فسیلیِ گوناگون است. همچنین مدل مرسوم بالا به پایین می‌تواند بخش‌های زیادی داشته باشد و هر بخش نیز با تابع تولید از نوعی که در معادله ۱۵,۱ ارائه شده نمایش داده می‌شود. برای حفظ سادگیِ کار، در اینجا فرض ما این است که فقط یک بخش وجود دارد. از این‌رو، می‌توان X را خروجی ناخالص ملیِ اقتصاد در نظر گرفت. به منظور ساده‌سازیِ بیش از پیشِ تابع تولید (۱۵,۱) و متمرکز شدن بر مسائلِ اصلی، فرض می‌کنیم که بتوان ورودی‌های سرمایه، کار و مواد غیرانرژی را در قالب یک عامل انباشته به گونه‌ای ترکیب کرد که معادله ۱۵,۱ به شکل زیر ساده شود:

$$X = f(K, E, N; A), \qquad \textbf{۱۵,۲}$$

در اینجا، K ورودی ترکیبیِ سرمایه–کار–مواد و A پارامتر تغییر فناورانه است.

فرض کنید که از خروجی X برای مصرف و نیز سرمایه‌گذاری استفاده می‌شود. مصرف به رفاه منجر می‌شود در حالی که سرمایه‌گذاری برای افزودنِ سهمِ سرمایه انسانی K (سرمایه‌گذاری برای رشد) و یا القای تغییر فناورانه به کار می‌رود (تغییر در پارامتر A). برای حفظ سادگیِ کار، در اینجا فقط سرمایه‌گذاری برای رشد را در نظر می‌گیریم [۳] که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\dot{K}(t) = X(t) - C(t). \qquad \textbf{۱۵,۳}$$

در اینجا، C(t) مصرف و نقطه (.) روی متغیر نشان دهنده نرخ تغییر در گذر زمان است بنابراین، $\dot{K}(t) = dK/dt$. قید استخراج منابع طبق معادلات زیر تعریف می‌شود:

$$\dot{R}(t) = -E(t), R(0) = R_0;\ R(t) \geq 0, \qquad \textbf{۱۵,٤}$$

در اینجا، R سهم منبع انرژی است که غیر تجدیدپذیر و در زمانِ t=0 مقدار منبع ثابتِ R_0 را دارا است. نرخ استخراج منبع انرژی، که R(t)– است برحسب نرخ مصرف انرژی در فعالیت‌های تولید تعیین می‌شود که E(t) است.

در رویکردِ سنتیِ اقتصاد–انرژی (E^2)، متغیر محیط زیست N، آشکار یا متناظر در نظر گرفته نمی‌شود: فرض بر آن است که منبعی «آزاد» وجود داشته باشد یعنی یک مورد با هزینه صفر. از این‌رو، می‌توان از وجودِ آن در تابع تولید ۱۵,۲ چشم‌پوشی کرد. پس هدف اقتصاد بیشینه‌سازیِ تابع رفاهیِ بین زمانیِ زیر است:

$$W = \int_0^{\infty} \left[\frac{1}{1 - 1/\sigma} C(t)^{1 - 1/\sigma} \right] e^{-\rho t} dt, \qquad \textbf{۱۵,۵}$$

که با شرط‌های مربوط به تابع ۱۵,۲ و قیود توابع ۱۵,۳–۱۵,٤ مواجه است. پارامتر σ در معادله ۱۵,۵ به معنای کششِ بین زمانیِ جایگزین‌سازیِ مطلوبیت و ρ معادلِ نرخ تنزیل است. در این رویکرد استاندارد، تمرکزِ ما بر تقسیمِ خروجیِ X بین مصرف و فعالیت‌های سرمایه‌گذاری است تا رفاه، W، به حداکثر برسد. مسئله اصلی در اینجا نرخِ بهینه روند اتمام منبع (انرژی) است تا رشد اقتصادی و مصرف در بلندمدت حفظ شود. مشخص می‌شود که یکی از پارامترهای حیاتی که تعیین‌کننده پاسخِ پرسشِ مربوط به رشد پایدار برای اقتصاد است، بزرگتر یا مساویِ یک است. پس رشد اقتصادی و مصرف حتی در صورتی نیز قابل حصول است که منبع انرژی در حالتِ عرضه ثابت قرار داشته باشد. این حالت را می‌توان به صورت زیر توضیح داد: اگر بتوان سرمایه انسانی K را به جای استفاده از منبع طبیعی E قرار داد و این فرآیند قادر باشد بدون محدودیت و بدون بازده افولی ادامه یابد آنگاه تا زمانی‌که قسمتی از خروجی تولید فعلی کنار گذاشته شود تا سهم سرمایه K را بسازد، می‌توان از این حالت در آینده برای جایگزین‌سازیِ قسمتی از سهم منبع انرژی طبیعی استفاده کرد که اکنون رو به اتمام است. بنابراین، رشد و مصرف اقتصادی آینده را می‌توان در صورتی حفظ کرد که عرضه منبع انرژی محدود گردد. وقتی کشش جایگزین‌سازی کمتر از یک باشد، بدان معنا است که اُفت بازده در فرآیند جایگزین‌سازیِ سرمایه انسانی K برای منبع طبیعی E وجود دارد. در این حالت همچنان می‌توان به رشد پایدار اقتصاد دست یافت، البته اگر پیشرفت فناورانه‌ای برای جبرانِ اثرِ اُفت بازده صورت بگیرد. با این حال اگر کششِ جایگزین‌سازیِ K-E کمتر از یک باشد (افول بازده) و پیشرفت فناورانه برای جبران این اثر کافی نباشد، آنگاه رشد و مصرف بلندمدت اقتصادی به سبب منبعِ محدودِ E پایدار نخواهد بود.

برآورد تجربی از کشش جایگزین‌سازی K-E

شواهد تجربی در مورد مقدارِ کشش جایگزین‌سازی K-E تا حدی ترکیبی بوده است (برندت و وود، ۱۹۷۹؛ اپوستولاکیس، ۱۹۹۰). مقادیر برآورد شده این پارامتر نه تنها به سطحِ انباشت بلکه به نوعِ داده‌های مورد استفاده و مشخصاتِ تابع تولید تجربی وابسته است. اول آنکه در مورد مسئله انباشت، اکنون می‌دانیم که مقدارِ برآورد شده کششِ جایگزین‌سازیِ K-E می‌تواند به سطحِ انباشتِ مورد استفاده وابستگیِ شدیدی داشته باشد (برای مثال اینکه آیا ما از داده‌های بخشی یا داده‌های ملی استفاده کنیم). این قضیه به طور جزئی براساس این حقیقت توضیح داده می‌شود که ظرفیتِ جایگزین‌سازیِ انرژی در سطحِ اقتصاد ملی کمتر از سطح اقتصاد خُردِ خانوار یا بخش است. در سطح اقتصاد کلان غالباً طی برآورد ظرفیت برای صرفه‌جویی و جایگزین‌سازیِ انرژی «هزینه‌های غیرمستقیم» به حساب نمی‌آیند. برای مثال ممکن است عایق‌کاریِ خانه در سطح خانوار به طور مستقیم جایگزینِ سوختِ گرمایشی شود اما این اقدام در بردارنده مقداری هزینه غیرمستقیم (انرژی) است که به ساختِ خود مواد عایق مربوط می‌شود. هزینه‌های غیرمستقیم صرفاً در سطح اقتصاد ملی انباشته به حساب می‌آیند (استرا، ۱۹۹۷؛ استرن و کلیولند، ۲۰۰٤). علاوه بر این، اثراتِ بازخوردِ تعادل عمومی (که به آن اثراتِ برگشتی[1] می‌گویند) غالباً در سطح اقتصاد خُرد به حساب نمی‌آیند (برای مثال به این مقالات مراجعه کنید: آلن و همکارانش، ۲۰۰۷؛ سورل،[2] ۲۰۰۷). افرادی که در مصرف انرژی در یکی از فعالیت‌ها صرفه‌جویی کردند (عایق‌کاری خانه) ممکن است به سبب درآمد و اثراتِ جایگزین‌سازی، پس‌اندازِ خود را در فعالیت دیگری خرج کنند (مثلاً افزایش مسافرت). این اثرات را فقط در سطح اقتصاد ملی یا بخشیِ انباشتی در نظر می‌گیریم. در برخی موارد، ممکن است اثرات برگشتی، بزرگتر از صرفه‌جویی اولیه در مصرف انرژی باشد. این حالت را «پس‌زنی» می‌نامند که به جای کاهش مصرف انرژی منجر به افزایش خالص در مصرف کل انرژی می‌شود (خازوم،[3] ۱۹۸۰؛ بروکس، ۱۹۹۰؛ آلن و همکارانش، ۲۰۰۷). بنابراین، برای به حساب آوردنِ مسئله تغییرپذیریِ کششِ جایگزین‌سازیِ K-E با توجه به سطح انباشت، یکی از راه حل‌ها برآورد این پارامتر در سطح اقتصاد خُرد و سپس استفاده از این پارامترها در سطح اقتصاد خُرد در مدل تعادل عمومی چندبخشی است که می‌توان پیوندهای مهم بین‌بخشی را در آن به طور کافی به حساب آورد. این حالت در برآورد چنین کشش‌هایی در سطح به شدت تفکیک‌شده و مجزا ترجیح دارد و سپس می‌توان از آن در یک مدل به شدت انباشته یا برعکس استفاده کرد.

---

[1] rebound effects

[2] Sorrell

[3] Khazzoom

مسئله بعدی تغییرپذیریِ کششِ برآورشده تجربیِ K-E، در جایگزین‌سازی برحسب نوعِ داده‌های مورد استفاده است (سری‌های زمانی یا سطح مقطع/ مقطع عرضی). اصالتاً عقیده بر این بود که چنین مسئله‌ای نشان دهنده جایگزین بودنِ سرمایه و انرژی در بلندمدت است (داده‌های سطح مقطع) و در کوتاه‌مدت نیز مکمل یکدیگرند (داده‌های سری زمانی). با این حال، از نظر مقالات اخیر در مورد یکپارچه‌سازیِ مشترک، این تفسیر –که رگرسیونِ سری‌های زمانی در سطوح مختلف بازنمودی از نتایج کوتاه‌مدت است– امروزه دیگر معتبر نیست: بنابراین، بایستی روش برآورد تجربی را بازارزیابی کنیم و تفسیر پارامترهای برآورد شده باید بازسنجی شوند (استرن و کلیولند، ۲۰۰٤).

سومین مسئله به تغییرپذیریِ کشش برآورد شده تجربیِ جایگزینیِ K و E با شکل و مشخصاتِ تابع تولیدِ مورد استفاده ربط دارد (به ویژه این پرسش مطرح می‌شود که آیا مواد غیرانرژی در تابع تولید به صورت عاملی مجزا وارد شده‌اند یا خیر؛ به مقاله برندت و وود، ۱۹۷۹؛ فروندل و اشمیت، ۲۰۰۲ مراجعه کنید). از دیدگاهِ نظری و تجربی، به نظر می‌رسد که مواد غیرانرژی باید در تابع برآورد دخیل شوند چون ورودیِ مهمی در اکثر فعالیت‌های اقتصادی به حساب می‌آید و غالباً در اکثر مدل‌های کاربردیِ اقتصاد انرژی لحاظ می‌شود.

مسئله نهایی که حل آن از دیدگاه تجربی و نظری دشوار است این حقیقت است که امروزه به خوبی می‌دانیم چندین مفهومِ مختلف از «کشش جایگزین‌سازی» وجود دارد که می‌توان از آنها برای ارجاع به «سهولتِ جایگزین‌سازی» بین عامل انسانیِ تولید K و منبع طبیعی E استفاده کرد (برای مثال به این مقالات مراجعه کنید: بلکوربی و راسل، ۱۹۸۹؛ استرن، ۲۰۰٤). از لحاظ نظری، این مسئله فراتر از تعریفِ محض است و می‌تواند به مناظره‌ای بنیادی درباره نقشِ اصلیِ انرژی در فعالیت‌های اقتصادی منجر شود (به بحث درباره رویکردِ اکولوژیک در زیر مراجعه کنید). این موضوع از لحاظ تجربی بدان معنا است که کشش برآورد شده بایستی به روشنی تعریف و با دقت شناسایی شود. یکی از پژوهش‌های مفصل درباره این مسئله (استرن، ۲۰۰٤، صفحه ۲۹) به این جمع‌بندی رسیده بود که «سرمایه و انرژی، بهترین جایگزین‌های ضعیف هستند و امکان اینکه مکمل یکدیگر باشند وجود دارد». این عبارت دلالت بر این مطلب دارد که از نظرِ رویکردِ نوکلاسیک، رشد پایدار اقتصادی در بلندمدت برای اقتصاد که به انرژی به عنوان یکی از ورودی‌های مهم در فعالیت‌هایش وابسته است، در بهترین حالت قابل حصول است اما صرفاً با پیشرفت فناورانه قابل ملاحظه در زمینه بازده انرژی و جایگزین‌سازی انرژی.

افزودنِ یک قید به منبع زیست‌محیطی

برخلاف رویکرد پیوند اقتصاد انرژی سنتی، در جایی‌که نقش متغیر زیست‌محیطی N در فعالیت‌های اقتصادی آشکارا وارد حساب نمی‌شود، در رویکردهای اخیرِ اقتصاد–انرژی–محیط زیست (E^3)، اکنون نقش

این متغیر به طور آشکارا لحاظ می‌گردد و اهمیتی برابر با متغیر منبع انرژی E به آن داده می‌شود. این حقیقت که این منبع زیست‌محیطی نیز در عرضه ثابت قرار دارد به واسطه افزودنِ قیدی اضافی به فهرست قیدها مشخص می‌شود (که پیش‌تر طبق معادله ۱۵,٤ در نظر گرفته شده است):

$$N(t) = eE(t); \dot{S}(t) = N(t); S(T) \leq \overline{S}, \qquad \textbf{۱۵,٦}$$

در اینجا، e ضریب مصرف زیست‌محیطی یا آلودگی است (برای مثال ضریب گسیل GHG به ازای هر واحد انرژی مصرفی)، S سهم انباشت‌شده آلودگی از منبع زیست‌محیطی (هوای پاک) است که به طور کامل از آن استفاده شده است و $\overline{S}$ نوعی حد برای به اتمام رسیدنِ این منبع زیست‌محیطی در آینده t=T است به گونه‌ای که از بروز آسیبِ برگشت‌ناپذیر به محیط زیست جلوگیری شود. برای حفظ سادگی کار فرض بر آن است که متغیر محیط زیست (متغیر جریان N(t)) یا متغیر سهم S (t) مستقیماً واردِ تابع رفاه W نمی‌شود بلکه به صورت قیدی بر فعالیت‌های اقتصادی عمل می‌کند. این اقدام به ما اجازه می‌دهد تا از تأثیراتِ زیست‌محیطیِ مستقیم بر رفاه انسانی صرف نظر کنیم (برای مثال تأثیرات مستقیمِ آلودگی هوا یا تغییرات اقلیمی بر سلامت و توانمندی‌های انسانی) و فقط تأثیرات غیرمستقیم را در نظر بگیریم (مثلاً زیان در فعالیت‌های تولیدی نظیر آنچه به سبب رکود در رشد اقتصادی به وجود می‌آید یا افزایش هزینه‌های تولید ناشی از افزایشِ فعالیت‌های کاهنده آلودگی). استفاده از این رویکردِ ساده نیز بر این مطلب دلالت دارد که مسئله مورد نظر در اینجا یک تحلیلِ کاملِ سود–هزینه (BCA)[1] نیست[٤] بلکه صرفاً مطالعه‌ای از «مقرون‌به‌صرفه بودن» در روشِ حداقل هزینه‌ها برای دستیابی به هدف زیست‌محیطیِ خاص است (نظیر آنچه از طریق قید $S(T) \leq \overline{S}$ در معادله ۱۵,٦ مذکور نشان داده شد) [٥].

تغییر فناورانه درون‌زا یا القایی [٦]

تا اینجا، مسئله سرمایه‌گذاری صرفاً در رابطه با پرسشِ انباشتِ سرمایه در نظر گرفته می‌شد و این انباشت در بافتِ نوکلاسیکِ استفاده از سرمایه انسانی برای جانشینیِ سرمایه طبیعیِ رو به اتمام، نظیر سهمِ انرژی بررسی می‌شد. از آنجا که ممکن است در این فرآیند جایگزین‌سازی با افول بازده مواجه شویم احتمالاً رشد و مصرف بلندمدت اقتصادی پایدار نباشد مگر آنکه بهبود فناورانه کافی برای جبران این اثر وجود داشته باشد (به رویکردِ پیوند سنتی در بالا مراجعه کنید). برای القای بهبود فناورانه، قسمتی از مخارج سرمایه‌گذاری به تحقیق و توسعه (R&D) معطوف می‌شود تا به جای سهم سرمایه فیزیکی K، سهم دانش انسانی H افزایش یابد.

[1] benefit–cost analysis (BCA)

سپس می‌توان از سهم دانش انسانی برای بهبود فناوری تولید استفاده کرد (مثلاً در بهره‌وری) که با پارامتر A در معادله ۱۵,۲ نمایش داده شده است. برای حفظ سادگیِ توضیحات، ما «تغییر فناورانه» را به گونه‌ای توصیف کرده‌ایم که بتوان آن را در قالب تک پارامترِ A بیان کرد. در واقعیت شاید بیش از یک نوع تغییر فناورانه وجود داشته باشد برای مثال ممکن است تغییر فناورانه هیکس–خنثی[1] وجود داشته باشد که بر کاربرد تمامی ورودی‌ها بدون سوگیری اثر بگذارد. همچنین ممکن است تغییر فناورانه خاصِ انرژی (یا انرژی افزوده) وجود داشته باشد که فقط بر کاربرد E اثرگذار باشد (یا باعث بهبود آن شود)؛ و در نهایت ممکن است تغییر فناورانه خاصِ محیط زیست وجود داشته باشد که کاربردِ منبع محیط زیست N را بهبود دهد. می‌توان هر کدام از این مؤلفه‌های تغییر فناورانه را با نوع متفاوتی از سرمایه‌گذاری القا کرد و به این ترتیب بین انواع مختلف تغییرات فناورانه و مؤلفه‌های سرمایه‌گذاریِ مرتبط با این تغییرات تمایز قائل شد. ما از زیروندِ «i» استفاده می‌کنیم i={H, E, N} تا انواع تغییرات فناورانه (هیکس–خنثی، خاصِ انرژی و خاصِ محیط زیست) و نیز انواعِ سرمایه‌گذاری مرتبط با (یا القاکننده) این تغییرات فناورانه را نشان دهیم. اکنون می‌توان معادله ۱۵,۳ را به صورت زیر اصلاح کرد:

$$\dot{K}(t) = X(t) - C(t) - \sum_{i=\{H,E,N\}} I_i(t). \qquad \textbf{۱۵,۳}$$

پس، می‌توان معادلاتِ تغییر فناورانه القا شده را در حالت کلی به صورت زیر نوشت:

$$A_i(t) = f_i[I_i(t)] \;\; i = \{H, E, N\}, \qquad \textbf{۱۵,۷}$$

بدین‌صورت، تغییر فناورانه یا پارامتر «بهره‌وری» A_i تابعِ $f_i(.)$ از سطحِ سرمایه‌گذاری I_i است. برای مثال اگر فقط بهبود فناورانه انرژی افزوده (یا بازده انرژی) را در نظر بگیریم می‌توان فرض کرد که معادله تغییر فناورانه القایی به صورت زیر باشد:

$$A_E(t) = E(t)/X(t)$$
$$\dot{A}_E(t)/A_E(t) = \alpha[I_E(t)/E(t)]^{\gamma}. \qquad \textbf{۱۵,۸}$$

در اینجا پارامتر فناورانه A_E به معنای شدت انرژی تولید است. مشاهده می‌شود که نرخ تغییرِ این شدت که به صورت $\dot{A}_E(t)/A_E(t)$ است، به سطح سرمایه‌گذاریِ خاص انرژی I_E ربط دارد (نسبت به سطحِ مجموعه مصرف انرژی E). پارامترهای α و γ به گونه‌ای بهینه‌کاوی می‌شوند که تابع ۱۵,۸ بتواند با داده‌های تجربی برازندگی و تناسب داشته باشد.

[1] Hicks-neutral

نوع دیگری از تغییر فناورانه القایی را می‌توان به صورت «یادگیری از طریق انجام دادن» (یادگیری عملی) تشریح کرد (آرو،[1] ۱۹۶۲). میزانِ «انجام دادن» در اینجا، مثلاً با حجم تجمعیِ تولید اندازه‌گیری می‌شود و تغییر فناورانه برحسب کاهش در واحد هزینه $c(t)$ در زمان t نسبت به هزینه واحد اولیه $c(0)$ اندازه‌گیری می‌شود:

$$c(t)/c(0) = \left[\sum_{t=0}^{t} X(t)/X(0)\right]^{\beta}. \qquad \textbf{۱۵,۹}$$

پارامتر β نشان دهنده سرعت کاهش هزینه واحد است به طوری که «حجم» یادگیری از طریق افزایشِ حجم تجمعیِ تولید نشان داده می‌شود. به طور معمول ارزش β طبق مطالعات تجربی برآورد می‌شود و مشخص می‌گردد که ارزش 2^{β} در بازه ۰,۷۵–۰,۹۵ قرار دارد (همچنین به آن نسبتِ پیشرفت نیز می‌گویند چون نشان می‌دهد زمانی‌که حجمِ تولید تجمعی دوبرابر شود، چه میزان از هزینه واحد کاهش خواهد یافت). مقدارِ کمتر (کاهش سریع‌تر هزینه) به فناوری‌های نسبتاً نابالغ و مقدارِ بزرگتر به فناوری‌های بالغ‌تر مربوط می‌شود (به تحقیقِ گروه مشاوره بوستون،[2] ۱۹۶۸؛ ریورز و ژاکارد، ۲۰۰۶ مراجعه کنید).

همچنین می‌توان از دیگر رویکردهای پیچیده‌تر مخصوص تابع تغییر فناورانه القایی استفاده کرد. برای مثال سو وینگ (۲۰۰۶) و سو وینگ و پوپ (۲۰۰۶) از سرمایه‌گذاری I_E برای تجمیعِ سهمِ سرمایه انسانی H استفاده می‌کنند و سپس از خدماتِ H برای القای تغییر فناورانه از طریق فرآیند تولید بهره می‌برند که در این حالت می‌توان H را ورودی مانند سایر ورودی‌های اقتصادی در نظر گرفت. این بدان معنا است که می‌توان سرمایه انسانی (دانش) H را جایگزین دیگر ورودی‌های اقتصادی فیزیکی طبیعی کرد. این مطلب بر کاهشِ ورودی‌های فیزیکی به ازای واحدِ خروجی دلالت دارد (یعنی بهبود در بازده).

تحقیقی مختصر درباره مدل‌ها با استفاده از تغییر فناورانه القایی برای مطالعه سیاست‌های اقلیمی

تغییر فناورانه القایی یکی از عوامل مهم در مطالعاتی است که اثرات و مقرون‌به‌صرفه بودنِ سیاست‌های اقلیمی را بررسی می‌کنند. با توجه به اهمیت این موضوع، در این بخش، تحقیقی مختصر درباره بسیاری از مدل‌ها انجام خواهیم داد که در مطالعاتِ خود در مورد سیاست‌های اقلیمی از تغییرِ فناورانه القایی استفاده کرده‌اند. این تحقیق جامع و کامل نیست زیرا هدفِ ما صرفاً ترسیمِ نمایی کلی از انواع مدل‌های مورد استفاده و نتایج آنها است.

[1] Arrow

[2] Boston Consulting Group

کار را با مدل‌های اقتصادسنجی آغاز می‌کنیم. این موارد مدل‌هایی نظیر E3ME (لی و همکارانش، ۱۹۹۰) یا WARM (کارارو و گالئوتی، ۱۹۹۷) هستند که از رویکردهای ساده تغییر فناورانه القایی بهره می‌برند. در رویکردهای مدل‌سازی ارزیابی یکپارچه (IAM) نظیر ICAM3 (دولت‌آبادی، ۱۹۹۸) از رویکردهای پیچیده‌ترِ مدل‌سازیِ تغییرات فناورانه القایی استفاده می‌کنند. مدل‌های تعادل عمومی و اقتصاد کلان نظیر DICE (R&DICE, ENTICE) (نوردهاوس، ۱۹۹۹؛ پوپ، ۲۰۰٤) و WIAGEM (کمفرت، ۲۰۰۲، ۲۰۰۵) نیز شامل تغییر فناورانه القایی هستند که می‌توانند بر استفاده از انرژی کربنی اثر بگذارند. در نهایت مدل‌های سامانه انرژی نظیر نسخه‌های جدیدترِ POLES (کوواریتاکیس و همکارانش، ۲۰۰۰)، MARKAL (بارتو و کایپرئوس، ۲۰۰۰) و MESSAGE (گروبلر و مسنر، ۱۹۹۸) نیز در رویکردهای خود دارای تغییرات فناورانه القایی هستند و مثلاً MESSAGE نوعی از توابعِ «یادگیری از طریق انجام دادن» در چارچوب سامانه انرژی خود دارد.

در کل می‌توان گفت که مستثنا کردنِ تغییرِ فناورانه تعیین‌شده از طریق درون‌زا می‌تواند به نتایجی منجر شود که تمایل دارند هزینه‌های پیروی از سیاست‌های اقلیمی را بیش از حدِ واقع برآورد کنند (لوچل، ۲۰۰۲؛ سو وینگ و پوپ، ۲۰۰٦). از آنجا که نصبِ نوآوری‌های فناورانه غالباً بسیار هزینه‌بر است، مدل‌هایی که از توابعِ یادگیری از طریق انجام دادن برخوردارند می‌توانند نحوه اُفت هزینه‌های اولیه در گذر زمان را با افزایش تجربه مشخص کنند (دولت‌آبادی، ۱۹۹۸؛ آذر و دولت‌آبادی، ۱۹۹۹؛ گروبلر و همکارانش، ۱۹۹۹؛ گرلاق و ون‌در زوآن، ۲۰۰۱). اُفت هزینه‌ها به مرور زمان به ما کمک می‌کند تا نحوه اثرگذاریِ اقتصادیِ مثبتِ سیاست‌های اقلیمی را تبیین کنیم چون این سیاست‌ها به کاهش تدریجیِ هزینه‌های تبعیت از قوانین کمک شایانی می‌کنند.

یکی از جنبه‌های منفیِ تغییرِ فناورانه القایی، این حقیقت است که سرمایه‌گذاریِ افزایش‌یافته برای R&D با دیگر انواع سرمایه‌گذاری رقابت خواهد کرد و از این‌رو ممکن است به افزایشِ افراطیِ اثراتی منجر شود که کل هزینه وجوه سرمایه‌گذاری[1] را بالا ببرد همچنین می‌تواند به کاهش کل خروجی بینجامد (گولدر و اشنایدر، ۱۹۹۹). همچنین نوردهاوس (۲۰۰۲)، بونانو و همکارانش (۲۰۰۳) و پوپ (۲۰۰٤) دریافتند که گرچه تغییر فناورانه القایی می‌تواند به بهره معناداری در سطح رفاهی منجر شود اما اثراتِ اقلیمی‌اش در بلندمدت کوچک هستند.

رویکرد اکولوژیکیِ نقشِ انرژی در فعالیت‌های اقتصادی

[1] investment funds

می‌توان این فرضِ نوکلاسیک را که انرژی صرفاً «ورودیِ واسطه» در فعالیت‌های تولیدی است با این فرض عوض کرد که اقتصاددانانِ اکولوژیک یا فرگشتی[1][۸] که انرژی را عمدتاً ورودیِ «لازم» یا «ضروری» در فعالیت‌ها اقتصادی می‌دانند، سرمایه انسانی را به‌چالش می‌کشند. از این ورودیِ ضروری برای تولیدِ «کار» [۹] استفاده می‌شود که جزء جدایی‌ناپذیرِ بسیاری از فعالیتِ اقتصادی است. براساسِ این دیدگاه، انرژی بیش از آنکه جایگزین محسوب شود «مکملِ» سرمایه به حساب می‌آید (برای مثال به مقاله آیریس و آیریس، ۱۹۹۶؛ ون‌دن برگ، ۱۹۹۹ مراجعه کنید).

از یک جهت می‌توان گفت که این اختلاف در دیدگاه‌ها اقتصاددانانِ نوکلاسیک و فرگشتی برخاسته از اختلاف در سطحِ انباشتِ مورد استفاده در تحلیل‌های مربوطه‌شان است که به اختلاف مفاهیمِ «سرمایه» منجر شده است. از نظرِ اقتصاددانِ اکولوژیکی که از زاویه تفکیک‌شده یا پایین به بالا به فناوری‌های منفرد نگاه می‌کند، سرمایه (مثلاً ماشین‌آلات) و انرژی بیش از آنکه جایگزین یکدیگر باشند مکمل یکدیگرند. از سویی دیگر از نظر اقتصاددانِ نوکلاسیک که از زاویه بالا به پایین و در حالت کلی به مسئله اقتصاد نگاه می‌کند، سرمایه نشان دهنده تجمع/ انباشتِ تمامی فناوری‌ها است و از این‌رو، «جایگزین‌سازیِ» سرمایه به جای انرژی بر استفاده از سرمایه بیشتر برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی دلالت دارد (مثلاً کم مصرف‌تر و در نتیجه کم‌هزینه‌تر): بر این اساس، ون‌دن برگ (۱۹۹۹) و استرن و کلیولند (۲۰۰٤) بین جایگزینیِ مستقیم (یا تعویضِ) یک عامل با عامل دیگر –نظیر استفاده از سرمایه (ماشین‌آلات) به جای کار– و جایگزین‌سازی غیرمستقیم (یا صرفه‌جوییِ) یک عامل با مصرفِ عاملِ دیگر تمایز قائل می‌شوند که در مورد صرفه‌جویی در مصرف انرژی از طریق بهره‌گیری از ماشین‌آلاتِ کم مصرف‌تر به کار می‌رود. مولر (۲۰۰۰) نیز از فرآیند دوم با عنوانِ جایگزین‌سازیِ سرمایه باکیفیت‌تر برای انرژی یاد می‌کند. در اینجا، کیفیتِ سرمایه برحسب بازده انرژی تعریف می‌شود. مولر برای آنکه ویژگیِ ناهمگنِ سرمایه را در چارچوبِ سنتیِ نوکلاسیک وارد کند، پیشنهاد می‌کند که در ابتدا می‌توان «منحنیِ حفظ انرژی» (CSC)[2] را با استفاده از داده‌های مهندسی ساخت. این منحنی نشان می‌دهد که می‌توان با استفاده از سرمایه کم مصرف‌تر و پربازده‌تر (و در نتیجه گران‌تر) در مصرف مقادیر قابل توجهی از انرژی صرفه‌جویی کرد. شیب این منحنی رو به بالا است و می‌توان آن را از نظرِ رویکردِ تابعِ تولیدِ نوکلاسیکِ سنتی، به صورت معکوسِ منحنیِ تولید یکسانِ *جایگزین‌سازیِ سرمایه–انرژی* تفسیر کرد. سپس می‌توان از منحنیِ تولید یکسان[3] برای بهینه‌کاویِ کششِ جایگزین‌سازی بین سرمایه (کیفیت) و انرژی استفاده

---

[1] evolutionary

[2] 'Conservation supplycurve' (CSC)

[3] isoquant

کرد. به طور فرضی، این جایگزین‌سازی فقط در مورد سرمایه جدید به کار می‌رود که طی آن، تصمیم در مورد رابطه جایگزین (بده بستان) بین سرمایه باکیفیت‌تر و انرژی (صرفه‌جویی‌شده) صرفاً در زمانِ تصمیم‌گیری در مورد سرمایه‌گذاری قابل حصول است. پس از اتخاذ تصمیم، کیفیتِ سرمایه ثابت می‌ماند و در نتیجه، سرمایه (قبلی) و انرژی به جای آنکه جایگزین یکدیگر شوند مکمل همدیگر می‌شوند: بنابراین، این رویکردِ «بتونه–سفال» نیازمندِ روشِ سرمایه–تاریخ[1] است که حداقل دو نوع سرمایه را تعریف می‌کند: قدیمی و جدید. سرمایه قدیمی همان «بتونه» است و بازده انرژی آن تغییر نمی‌کند (از این‌رو مکمل انرژی محسوب می‌شود). از سویی دیگر سرمایه جدید «سفال» است که نمی‌توان در زمانِ سرمایه‌گذاری در مورد سطح دقیقِ بازده انرژیِ آن تصمیم‌گیری کرد زیرا این بازده بر مبنای رابطه جایگزین بین مخارج کیفیتِ سرمایه و هزینه مصرف انرژی (در آینده) است. این رابطه جایگزین، مبتنی بر قیمت‌های نسبیِ سرمایه و ورودی‌های انرژی (در آینده) است. در بسیاری از رویکردهای فناورمحور یا پایین به بالا، به طور معمول سهمِ سرمایه را ناهمگن در نظر می‌گیرند (برای مثال به این مقالات مراجعه کنید: ژاکارد و همکارانش، ۲۰۰۳؛ ژاکارد، ۲۰۰۵). با این حال شاید رویکردِ اکولوژیکی به مواردی بیش از تمایزِ ساده بین رویکردهای بالا به پایین، پایین به بالا و ویژگی‌های ناهمگنِ سرمایه توجه کند. در این دیدگاه، بین انرژی (در مقامِ ورودیِ واسطه –که از نقطه‌نظرِ نوکلاسیک در نظر گرفته می‌شود) و انرژی (در مقام ورودیِ اساسی –که از نقطه‌نظرِ اکولوژیک بررسی می‌شود) تمایز قائل می‌شوند. انرژی (ورودیِ واسطه) بدان معنا است که می‌توان آن را «در دوره تولیدِ مورد نظر به وجود آورد» و «طی تولید کاملاً مصرف کرد» در حالی که اگر انرژی جزء ورودی‌های اساسی باشد، باید در «آغازِ دوره مورد نظر» وجود داشته باشد و «طی تولید نیز به طور مستقیم مصرف نمی‌شود» (اما شاید فقط دچار اُفت کیفیت شود) (استرن و کلیولند، ۲۰۰٤، صفحه ۵). این حقیقت که انرژی در فرآیند تولید به اتمام نمی‌رسد با قانونِ اولِ ترمودینامیک که می‌گوید *انرژی (و ماده) از بین نمی‌روند* همخوانی دارد پس اُفت کیفیت انرژی را به قانون دوم ترمودینامیک ربط می‌دهند که می‌گوید *در سیستمی بسته (نظیر نظامِ اقتصادیِ انسانی) باید با تداومِ خروجِ کار از حجم توانایی انجامِ کار (طی فعالیت‌های اقتصادی) کاهش یابد نه افزایش* –که براساسِ اگزرژی[2][۱۰] یا کیفیتِ حجمِ انرژی محبوس‌شده در این سیستمِ اقتصادی اندازه‌گیری شود.

اگر ما فقط سیستم اقتصادیِ انسانی را به صورت سیستم بسته در نظر بگیریم آنگاه تأمینِ ورودی‌های اساسیِ انرژی به این سیستم باید از سهمِ منبعِ انرژیِ در دسترس نشئت بگیرد که در هر دوره به طور برون‌زا از سیستم اقتصادِ انسانی تعیین می‌شود (برای مثال براساسِ قیودِ ژئولوژیکی که نرخِ استخراجِ انرژی را ثابت نگه

[1]capital-vintage

[2]exergy

می‌دارد (برای نمونه به مقاله گیور[1] و همکارانش، ۱۹۸٦ مراجعه کنید). سپس رویکردِ اکولوژیکی فراتر از این می‌رود و پیشنهاد می‌دهد که انرژی تنها عاملِ اساسی است در حالی که ورودی‌های سرمایه و کار حقیقتاً جریان هستند نه سهم و می‌توان آنها را برحسب انرژی گنجانده شده یا مربوط به آنها اندازه‌گیری کرد و سپس باید کل ارزش‌افزوده را به صورت اجاره‌بهای متعلق به فقط این عامل اساسی (انرژی) در نظر گرفت (کوستانزا، ۱۹۸۰؛ هال و همکارانش، ۱۹۸٦؛ گیور و همکارانش، ۱۹۸٦؛ یا کافمن،[2] ۱۹۸۷). سپس مازاد انرژی یا اجاره‌بها در بین مالکانِ سوخت، کار، سرمایه و ملک توزیع می‌شود که توزیعِ واقعیِ آن به قدرتِ چانه‌زنیِ طبقات مختلف جامعه و تأمین‌کنندگانِ سوخت بستگی دارد (کافمن، ۱۹۸۷؛ استرن و کلیولند، ۲۰۰٤). استنباطِ حاصل از این «نظریه انرژیِ ارزش» در نسخه «بنیادگرای» اقتصاد اکولوژیکی آن است که اکنون، انرژی به صورت عاملی حیاتی مشاهده می‌شود که تعیین‌کننده رشدِ فعالیت‌های تولید در اقتصاد و هرگونه اقدام در جهت مجزا کردنِ انرژی از رشد اقتصادی است –همان‌طور که در رویکردِ نوکلاسیک از طریق مفاهیمی نظیر کششِ جایگزین‌سازی و «بهبود بازده انرژی خودمختار» (AEEI) بیان شده است (کاهش مصرف انرژی در هر واحد از فعالیت‌های اقتصادی از طریق پیشرفت فناورانه برون‌زا) و این‌طور فرض می‌شود که از لحاظ نظری بی پایه و اساس است.

۵ جمع‌بندی

در این فصل، تحقیقی مختصر و مروری کلی درباره انواع مدل‌های مورد استفاده در تحلیلِ پیوندهای انرژی–اقتصاد–محیط زیست انجام دادیم و پیش‌زمینه‌های نظری و نیز ساخت عملی مدل‌ها را بررسی کردیم. رویکردهای اصلیِ نوکلاسیک و اخیراً، اکولوژیکی در مورد طرزِ نگرشِ ما به انرژی و محیط زیست در مدل‌های اقتصادی را تشریح و مقایسه کردیم. گرچه با توجه به این مسئله که آیا می‌توان فعالیت‌های اقتصادی را از بهره‌برداریِ زیست‌محیطی و انرژی جدا کرد یا خیر شاید بتوان در حالت کلی گفت که گرایشِ رویکردهای نوکلاسیک خوش‌بینانه‌تر از رویکردهای اکولوژیکی است که البته این موضوع تا حدی به نحوه مشخصه‌یابی و مدل‌سازیِ انرژی در هر رویکرد وابسته است. برای مثال با توجه به امکانِ جایگزین‌سازیِ سرمایه انسانی با انرژی، مدل‌های نوکلاسیکِ انباشتیِ بالا به پایین نسبت به مدل‌های فناورمحورِ پایین به بالا بدبین‌تر هستند. از سوی دیگر، رویکردِ پایین به بالایی که انرژی را نوعی عامل «اساسی» در نظر بگیرد یا آن را ورودیِ «ضروری» در اکثر فعالیت‌های اقتصادی بداند امکانِ جایگزین‌سازیِ عامل انسانی را با ورودی انرژی تقریباً غیرممکن می‌داند (استفاده از رویکردِ اکولوژیکی که تمایل دارد انرژی را از منظرِ ترمودینامیکی ببیند نه از

[1]Gever

[2]Costanza–Hall – Kaufmann

دیدگاهِ اقتصادی). بنابراین، با توجه به نقشِ انرژی و محیط زیست در فعالیت‌های اقتصادی، رویکردهای نظری و ساختار مختلف مدل‌ها می‌تواند به نتایج بسیار متفاوتی منجر شود. هدفِ تحقیقِ مختصرِ این فصل ارائه توصیفی برای بسیاری از مؤلفه‌ها و مشخصه‌های رویکردهای مختلف بود به طوری که بتوان نتایج هر کدام را به روشنی درک کرد.

یادداشت‌ها

۱. برای مثال به منظور مرور این مدل‌ها به مقالات زیر مراجعه کنید: دولت‌آبادی و گرانگر (۱۹۹۳)، توث (۱۹۹۵) و دولت‌آبادی (۱۹۹۸) و ادموندز (۱۹۹۸).

۲. برای مطالعه خلاصه‌ای از برخی رویکردهای مدل‌سازی دسته‌بندیِ آنها به این مقالات مراجعه کنید: گروب و همکارانش (۱۹۹۳) و هورکید و همکارانش (۱۹۹٦). همچنین این مقالات را مرور کنید: وینانت و همکارانش(۱۹۹٦)، بوسلو و همکارانش (۱۹۹۸)، اسپرینگر (۲۰۰۳) و هورکید و گرسی (۲۰۰۱).

۳. مسئله سرمایه‌گذاری برای تغییر فناورانه القایی در بخش ٤ بحث خواهد شد.

۴. رویکرد BCA کامل باید به روشی برای رفع مسائل مختلف منجر شود: نظیر تعیین کمیتِ آسیب‌های فیزیکی ناشی از اثراتِ مستقیمِ زیست‌محیطی (برای مثال جان باختن افراد، ضرر و زیان به ملک به سبب تغییراتِ اقلیمی) همچنین ارزشیابی این تغییرات برحسب موارد اقتصادی (چه میزان ارزش باید برای جان انسان قائل شد).

۵. مثالی از این سقف مجاز زیست‌محیطی به محدودیت‌های سطحِ گسیل GHG برای تبعیت از توافق‌نامه‌های پروتکل کیوتو مربوط می‌شود.

۶. ما از اصطلاحاتِ تغییر فناورانه «درون‌زا» یا «القایی» به جای یکدیگر استفاده می‌کنیم. به این دلیل می‌گوییم درون‌زا که درونِ مدل تعیین می‌شود و به این دلیل می‌گوییم القایی که ناشی از نوعی اقدام نظیر R&D سرمایه‌گذاری یا یادگیری با انجام دادن است.

۷. برای مثال به مقاله ادن‌هوفر و همکارانش (۲۰۰٦) مراجعه کنید. برای مطالعه رویکردهای جامع‌تر به مقاله اسمودلر (۲۰۰۵) مراجعه کنید.

۸. می‌توان گفت که رویکردِ اکولوژیکی در اقتصادِ زیست‌محیطی با پرسشِ اساسیِ مربوط به توازنِ مواد و انرژی مواجه است (اصل بقای ماده و انرژی که در قوانین ترمودینامیک تعیین می‌شود). برخلافِ رویکردِ نوکلاسیک که مسئله اصلی «توازن ارزش» است (نظریه ارزش). شاید بتوان گفت که رویکردِ اکولوژیکی از مقاله جرجسکو-روژن[1] (۱۹۷۱) آغاز شد. برای مطالعه مواردِ مدرن‌تر به این مقالات مراجعه کنید: آیرس (۱۹۷۸)، کلیولند و روث (۱۹۹۷) و ون‌دن برگ (۱۹۹۹).

[1]Georgescu-Roegen

۹. ورودی در صورتی «لازم» است که بدونِ آن، خروجی نیز صفر شود. در صورتی «ضروری» است که پس از تمام شدنِ کاملِ این ورودی (منبع طبیعی) مصرف در بلندمدت صفر شود –همانند منابع تجدیدناپذیر، «کار» بر گونه باکیفیت‌تر انرژی دلالت دارد که در قالبِ حرکتِ مکانیکی نمود می‌یابد. به این ترتیب، مثلاً برق گونه باکیفیت‌ترِ انرژی است، زیرا می‌توان از آن برای راه‌اندازیِ موتور برق استفاده کرد. برخلاف این حالت، سوزاندنِ چوب گونه‌ای کم‌کیفیت‌تر از انرژی است، چون می‌توان از آن صرفاً برای تولید گرما استفاده کرد.

۱۰. برای مطالعه تعریف «اگزرژی» به این مقالات مراجعه کنید: وال (۱۹۷۷)، کلیولند و همکارانش (۱۹۸٤)، آیریس (۲۰۰۵)، اسکیوبا و وال (۲۰۰۷) و کلیولند و بودیکوآ (۲۰۰۷).

منابع:

Allan, G.J., M. Gilmartin, K.R. Turner, P.G. McGregor and J.K. Swales (2007), 'Technical Report 4: Computable general equilibrium modeling studies', UKERC Review of Evidence for the Rebound Effect, UK Energy Research Centre, London, October.

Apostolakis, B.E. (1990), 'Energy–capital substitutability/complementarily: the dichotomy', *Energy Economics*, 12, 48–58.

Arrow, K. (1962), 'The economic implications of learning by doing', *Review of Economic Studies*, 29, 155–73.

Ayres, R.U. (1978), *Resources, Environment and Economics: Applications of the Materials/Energy Balance Principle*, New York: Wiley-Interscience.

Ayres, R.U. (2005), *Mass, Exergy, Efficiency in the US Economy*, Interim Report IR-05-034, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.

Ayres, R.U. and L.W. Ayres (1996), *Industrial Ecology: Closing the Materials Cycle*, Cheltenham, UK, and Brookfield, VT, USA: Edward Elgar.

Azar, C. and H. Dowlatabadi (1999), 'A review of the treatment of technological change in energy economic models', *Annual Review of Energy and the Environment*, 24, 513–44.

Barreto, L. and S. Kypreos (2000), 'multi-regional technological learning: some experiences with the MARKEL model', Energy Modelling Group, Villigen, Switzerland.

Berndt, E.R. and D.O. Wood (1979), 'Engineering and econometric interpretations of energy capital complementarity', *American Economic Review*, 69, 342–54.

Blackorby, C. and R.R. Russell (1989), 'Will the real elasticity of substitution please stand up? (A comparison of the Allen/Uzawa and Morishima elasticities)', *American Economic Review*, 79(4), 882–8.

Bohringer, C. and A. Loschel (2006), 'Promoting renewable energy in Europe: a hybrid computable general equilibrium approach', *The Energy Journal*, Special Issue on Hybrid Modeling of Energy–Environment Policies: Reconciling Bottom-up and Top-down, 135–50.

Bosello, F., C. Carraro and C. Kemfert (1998), 'Advances of climate modelling for policy analysis', *Nota di Lavoro*, 82/98.

Boston Consulting Group (1968), *Perspectives on Experience*, Boston, MA: Boston Consulting Group, Inc.

Brookes, L. (1990), 'The greenhouse effect: the fallacies in the energy efficiency solution', *Energy Policy*, 18, 199–201.

Buonanno, P., C. Carraro and M. Galeotti (2003), 'Endogenous induced technical change and the costs of Kyoto', *Resource and Energy Economics*, 25, 11–34.

Carraro, C. and M. Galeotti (1997), 'Economic growth, international competitiveness and environmental protection, R&D and innovation strategies with the WARM model', *Energy Economics*, 19(1), 2–28.
Cleveland, C.J. (Lead Author) and D. Budikova (Topic Editor) (2007), 'Energy quality', in C.J. Cleveland (ed.), *Encyclopedia of Earth*, Cleveland, Washington, DC: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment. First published in *Encyclopedia of Earth* February 22, 2007; last revised February 23, 2007; available at: http://www.eoearth.org/article/Energy_quality (accessed April 29, 2008).
Cleveland, C.J., R. Costanza, C.A.S. Hall and R.K. Kaufmann (1984), 'Energy and the U.S. economy: a biophysical perspective', *Science*, 225, 890–97.
Cleveland, C.J. and M. Ruth (1997), 'When, where and by how much do biophysical limits constrain the economic process? A survey of Nicholas Georgescu-Roegen's contribution to ecological economics', *Ecological Economics*, 22(3), 203–24.
Costanza, R. (1980), 'Embodied energy and economic valuation', *Science*, 210, 1219–24.
Dowlatabadi, H. (1998), 'Sensitivity of climate change mitigation estimates to assumptions about technical change,' *Energy Economics*, 20 (5–6), 473–93.
Dowlatabadi, H. and M.M. Granger (1993), 'Integrated assessment of climate change', *Science*, 259 (26 March), 1813–932.
Edenhofer, O., K. Lessmann and N. Bauer (2006), 'Mitigation strategies and costs of climate protection: the effects of ETC in the hybrid model MIND', *The Energy Journal*, Special Issue on Endogenous Technological Change and the Economics of Atmospheric Stabilization, 206–22.
Edmonds, J. (1998), 'Climate change economic modelling: background analysis for the Kyoto Protocol', OECD Workshop, Paris.
Frondel, M. and C.M. Schmidt (2002), 'The capital–energy controversy: an artifact of cost shares?', *The Energy Journal*, 23(3), 53–79.
Georgescu-Roegen, N. (1971), *The Entropy Law and the Economic Process*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
Gerlagh, R. and B. van der Zwaan (2001), 'The effects of aging and an environmental trust fund in an overlapping generations model on carbon emission reductions', *Ecological Economics*, 36, 311–26.
Gever J., R.K. Kaufmann, D. Skole and C. Vorosmarty (1986), *Beyond Oil: The Threat to Food and Fuel in the Coming Decades*, Cambridge, MA: Ballinger.
Goulder, L. and S. Schneider (1999), 'Induced technological change and the attractiveness of CO2 abatement policies', *Resource and Energy Economics*, 21, 211–53.

Grubb, M., J. Edmonds, P. ten Brink and M. Morrison (1993), 'The costs of limiting fossil fuel CO2 emissions: a survey and analysis', *Annual Review of Energy and the Environment*, 18, 397–478.
Grubler, A. and S. Messner (1998), 'Technological change and the timing of mitigation measures', *Energy Economics*, 20, 495–512.
Grubler, A., N. Nakicenovic and D.G. Victor (1999), 'Modeling technological change: implications for global environment', *Annual Review of Energy and the Environment*, 24, 545–69.
Hall, C.A.S., C.J. Cleveland and R.K. Kaufmann (1986), *Energy and Resource Quality: The Ecology of the Economic Process*, New York: Wiley Interscience.
Hertel, T. (ed.) (1999), *Global Trade Analysis: Modelling and Applications*, Cambridge: Cambridge University Press.
Hourcade, J.-C. and F. Ghersi (2001), 'The economics of a lost deal', Discussion Paper 01-48, Resources for the Future, Washington, DC.
Hourcade, J.-C., R. Richels, J. Robinson and L. Schrattenholzer (1996), 'Estimating the costs of mitigating greenhouse gases', in J.P. Bruce, H. Lee and E. Haites (eds), *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change*, Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the IPCC, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 267–96.
Howarth, R.B. (1998), 'An overlapping generations model of climate–economy interactions', *Scandinavian Journal of Economics*, 100, 575–91.
Jaccard, M. (2005), 'Hybrid energy–economy models and endogenous technological change', Chapter 1 in R. Loulou, J.-P. Waaub and G. Zaccour (eds), *Energy and Environment*, New York: Springer.
Jaccard, M., J. Nyboer, C. Bataille and B. Sadownik (2003), 'Modeling the cost of climate policy: distinguishing between alternative cost definitions and long-run cost dynamics', *The Energy Journal*, 24(1), 49– 73.
Kaufmann, R.K. (1987), 'Biophysical and Marxist economics: learning from each other', *Ecological Modelling*, 38, 91–105.
Kemfert, C. (2002), 'An integrated assessment model of economy–energy–climate – the model WIAGEM', *Integrated Assessment*, 3(4), 281–99.
Kemfert, C. (2005), 'Induced technological change in a multi-regional, multi-sectoral trade model', Special Issue of *Ecological Economics*, 54, 293–305.
Khazzoom, D.J. (1980), 'Economic implications of mandated efficiency standards for household appliances', *The Energy Journal*, 1(4), 21–39.
Kouvaritakis, N., A. Soria, S. Isoard and C. Thonet (2000), 'Endogenous learning in world post-Kyoto scenarios: application of the POLES model under adaptive expectations', *International Journal of Global Energy Issues*, 14(1–4), 222–48.

Lee, K., M.H. Pesaran and R. Pierce (1990), 'Labour demand equations for the UK economy', in T. Barker and M.H Pesaran (eds), *Disaggregation in Econometric Modelling*, London and New York: Routledge, pp. 404–26.
Loschel, A. (2002), 'Technological change in economic models of environmental policy – a survey', *Ecological Economics*, 43(2–3), 105–26.
Muller, T. (2000), 'Integrating bottom-up and top-down models for energy policy analysis: a dynamic framework', Working paper 00.02, Centre universitaire d'etude des problemes de l'energie, Universite de Geneve.
Nordhaus, W. (1999), 'Modelling induced innovation in climate change policy', in A. Grubler, N. Nakićenović and W.D. Nordhaus, *Induced Innovation and Climate Change: Collected Essays*, Washington, DC: Resources for the Future Press, pp. 259–89.
Nordhaus, W. (2002), 'Modelling induced innovation in climate change policy', in A. Grubler, N. Nakicenovic and W. Nordhaus (eds), *Technological Change and the Environment*, Washington, DC: Resources for the Future, pp. 97–127.
Popp, D. (2004), 'ENTICE: endogenous technological change in the DICE model of global warming', *Journal of Environmental Economics and Management*, 48, 742–68.
Powell, A. (1981), 'The major stream of economy-wide modelling: is rapprochement possible?', in J. Kmenta and J. Ramsey (eds), *Large Scale Econometric Models: Theory and Practice*, Amsterdam: North-Holland, pp. 47–67.
Rivers, N. and M. Jaccard (2006), 'Choice of environmental policy in the presence of learning by doing', *Energy Economics*, 28, 223–42.
Robinson, S. (2006), 'Macro models and multipliers: Leontief, Stone, Keynes, and CGE models', in A. de Janvry and R. Kanbur (eds), *Poverty, Inequality and Development: Essays in Honor of Erik Thorbecke*, New York: Springer, pp. 205–32.
Rotmans, J. and H. Dowlatabadi (1998), 'Integrated assessment of climate change: evaluation of models and other methods', in S. Rayner and E. Malone (eds), *Human Choice and Climate Change: An International Social Science Assessment*, Columbus, OH: Battelle Press, pp. 85–102.
Sciubba, E. and G. Wall (2007), 'A brief history of exergy from the beginnings to 2004', *International Journal of Thermodynamics*, 10(1), 1–26.
Smulders, S. (2005), 'Endogenous technical change, natural resources and growth', Chapter 8 in R.D. Simpson, M.A. Toman and R.U. Ayres (eds), *Scarcity and Growth Revisited*, Washington, DC: Resources for the Future, pp. 46–69.
Sorrell, S. (2007), 'The rebound effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency', Report produced

by the Sussex Energy Group for the Technology and Policy Assessment function of the UK Energy Research Centre.
Springer, U. (2003), 'The market for GHG permits under the Kyoto Protocol: a survey of model studies', *Energy Economics*, 25(5), 527–51.
Stephan, G., G. Muller-Furstenberger and P. Previdoli (1997), 'Overlapping generations or infinitely-lived agents. Intergenerational altruism and the economics of global warming', *Environmental and Resource Economics*, 10, 27–40.
Stern, D.I. (1997), 'Limits to substitution and irreversibility in production and consumption: a neoclassical interpretation of ecological economics', *Ecological Economics*, 21, 197–215.
Stern, D.I. (2004), 'Elasticities of substitution and complementarity', Rensselaer Working Papers in Economics, No. 0403, Department of Economics, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY.
Stern, D.I. and C.J. Cleveland (2004), 'Energy and economic growth', Rensselaer Working Papers in Economics, No. 0410, Department of Economics, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY.
Sue Wing, I. (2006), 'Representing induced technological change in models for climate policy analysis', *Energy Economics*, 28(5–6), 539–62.
Sue Wing, I. and D.C. Popp (2006), 'Representing endogenous technological change in models for climate policy analysis: theoretical and empirical considerations', Chapter 7 in M. Hannemann and A. Farrell (eds), *Managing Greenhouse Gas Emissions in California*, Report by the California Climate Change Center at UC Berkeley.
Toth, F. (1995), 'Practice and progress in integrated assessment of climate change: a workshop overview', *Energy Policy*, 23(4/5), 253–68.
Tyson, L.D. and S. Robinson (1983), 'Modeling structural adjustment: micro and macro elements in a general equilibrium framework', in H. Scarf and J. Shoven (eds), *Applied General Equilibrium Analysis*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 127–42.
van den Bergh, J.C.J.M. (1999), 'Materials, capital, direct/indirect substitution, and materials balance production functions', *Land Economics*, 75(4), 547–61.
Wall, G. (1977), 'Exergy – a useful concept within resource accounting', report no. 77-42, Institute of Theoretical Physics, Goteborg.
Weyant, J.P., O. Davidson, H. Dowlatabadi, J.A. Edmonds, M. Grubb, E.A. Parson, R. Richels, J. Rotmans, P.R. Shukla, R.S.J. Tol, W.R. Cline and S. Fankhauser (1996), 'Integrated assessment of climate change: an overview and comparison of approaches and results', in J.P. Bruce, H. Lee and E.F. Haites (eds), *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions – Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 371–96.

۱۶ مسئله امنیت نفتی

هیلارد جی. هانتینگتون[1]*

۱ مقدمه

تجارت نفت پس از ملی شدنِ کانال سوئز در جولای ۱۹۵۶ و هجوم ناگهانیِ اسرائیل، فرانسه و بریتانیا به مصر، به طور ناگهانی دچار اُفت شدیدی شد. طی سه ماه اول ۱۹۵۷ قیمت نفت آمریکا به طور فصلی با نرخ ۷/۶٪ افزایش می‌یافت –بیش از ۳۰٪ در سال– در شرایطی که «کمیسیونِ تگزاس ریل‌رود»[2] قیمت نفت را به طور مؤثر ثابت نگه می‌داشت. در پی این قضایا، رکود اقتصادی به وجود آمد. از زمان آن رویدادها تاکنون، بیش از پنج دهه است که نفت خاورمیانه در استراتژی‌های نظامی، امور خارجی و اقتصادِ بسیاری از ملت‌های غربی نقشی حیاتی بازی کرده است. مسئله بنیادیِ اقتصادی این بوده است که چطور منافع عظیمِ حاصل از تجارت آزاد و باز را با سیاست‌های امنیتی نفت متوازن کنیم که ممکن است وابستگی به منابع انرژی خلیج فارس را محدود سازد.

در این فصل به چندین مبحثِ مهمِ اخیر در مقالاتِ امنیت انرژی اشاره می‌کنیم و نتایج آنها را ارزیابی می‌کنیم. گرچه این مطالعات بر مسئله امنیت نفتیِ آمریکا تأکید دارند، این روش‌شناختی‌ها و اصولِ مقدماتی در مورد بسیاری از کشورهای اروپایی و آسیایی قابل اعمال است. در این فصل مقالات را بررسی نمی‌کنیم چون بوهی و تومن[3] (۱۹۹۳، ۱۹۹۶) پیش‌تر مرورهای برجسته‌ای انجام داده‌اند و مطالب مهمی در این‌باره مطرح کردند که دولت‌ها چطور باید اصلِ امنیت را اجرا کنند. در این فصل بهبودِ امنیت نفتی به کاهشِ اتکای کشورها بر واردات نفت و منابعِ نامطمئنِ نفتِ خارجی اشاره دارد.

در بخش دو درباره زمان احتمالیِ شکست بازارها در رسیدن به بازده اقتصادی بحث می‌کنیم و برخی از سیاست‌های دولتی/ عمومی را بررسی خواهیم کرد. در بخش سه اقداماتِ اخیر در برآورد منافعِ حاصل از محدود کردنِ واردات نفت آمریکا را بر مبنای عوامل بیرونی بحث شده در بخش قبل مرور خواهیم کرد. در بخش چهار نتایج کلیدیِ حاصل از برآوردِ ریسک‌های تحولِ بعدیِ نفتی، طی ۱۰ سال آینده را ارائه کنیم. در این مطالعه از تکنیک‌های تحلیل ریسک برای استخراجِ احتمالاتی استفاده می‌کنیم که کارشناسانِ امنیتِ نفتی و ژئوپلیتیکی برجسته ارائه کرده‌اند. در نهایت در بخش پنج در این‌باره بحث می‌کنیم که چرا بعید است روندهای

[1] Hillard G. Huntington

[2] Texas Railroad Commission

[3] Bohi - Toman

اخیرِ قیمت نفت به بروز همان آشفتگی‌های اقتصادی منجر شود که اقتصاد کشورهای غرب در گذشته تجربه کرده بودند. در بخش شش و آخر، نکات جمع‌بندی را به طور خلاصه بیان می‌کنیم.

۲ امنیت نفتی به مثابه عاملی بیرونی

وقتی خریداران و فروشندگان درباره قیمت نفت در بازار خصوصی مذاکره می‌کنند نمی‌توانند تمامی هزینه‌های امنیت نفتی مرتبط با افزایش مصرف یا واردات نفت را در نظر بگیرند. مبلغِ اضافیِ وارداتِ نفت بایستی بازنمودی از اختلاف بین هزینه‌های اجتماعی و خصوصیِ خرید یک بشکه نفتِ وارداتی اضافی باشد. برخی از سیاستگذاران مبلغ اضافی[1] را «هزینه پنهان» در نظر می‌گیرند چون خریداران و فروشندگان مستقیماً آن را نمی‌بینند.

گرچه این مسئله در تحلیلِ امنیتِ انرژی از جمله موارد بنیادی است اما بازنمودی از تمامی مسائلی نیست که سیاستگذارانِ حوزه انرژی باید در نظر بگیرند. در زیر، به سه تصمیمِ بنیادی اشاره می‌کنیم:

۱. دولت چقدر باید برای کاهشِ هزینه‌های امنیتِ انرژی صرف کند؟
۲. آیا سیاستگذاران باید از سیاستِ خاصی برای تقلیلِ اثراتِ شوک‌های قیمتی استفاده کنند؟– نظیر تعرفه‌ها، استاندارد بازده سوخت، استاندارد سبدِ تجدیدپذیر، ذخایر انباشتیِ نفت، سیاست‌های پولی یا سیاست‌های مالی
۳. آیا مبلغ و هزینه اضافیِ امنیتِ نفت، جایگزینِ هزینه اضافیِ زیست‌محیطیِ نفت می‌شود یا آنکه این دو مبلغِ اضافی مکمل یکدیگرند؟

مبلغ اضافی به مسئله اول مربوط می‌شود. برآورد این مبلغ/ هزینه مهم است، چون ارزشِ کوچک یا ناموجود باعث می‌شود که دو پرسشِ دیگر قابل بحث شوند. با این حال برآوردِ مبلغِ اضافی (اولین پرسش) چیزی درباره پرسشِ دوم (رابطه جایگزینِ بین سیاست‌های انرژی، پولی یا مخارج نظامی برای کاهشِ ریسک نفتی) یا پرسشِ سوم آشکار نمی‌کند (نحوه ترکیبِ امنیتِ نفتی و مبالغ اضافیِ زیست‌محیطی).

شکست بازار

این بحث بر امنیت متمرکز است نه هزینه اضافیِ زیست‌محیطی. به طور بالقوه سه شکست مهم بازاری وجود دارد که ممکن است هزینه‌های پنهان امنیتی به وجود آورد.

اول اینکه، تولیدکنندگان نفت ممکن است قیمتی را مطالعه کنند که فراتر از هزینه‌های حاشیه‌شان باشد. دولت‌های مالکِ منابع نفت و خواهانِ حفظِ قدرت، غالباً از منابعِ خود آهسته‌تر از شرکت‌های خصوصی

[1] premium

بهره‌برداری می‌کنند. قیمت بالاتر نفت به این دولت‌ها اجازه می‌دهد تا خدمات عمومیِ گسترده‌ای به مردم ارائه کنند که باعث تقویتِ کنترلِ آنها بر فرآیند سیاسی کشورشان می‌شود. بدون رقابتِ کارآمد از جانبِ شرکت‌های خصوصی در توسعه این منابع، دولت‌ها در دور ماندن از استراتژی‌های قیمت‌گذاری که به بازده اقتصادی می‌رسد آزادی عمل خواهند داشت. علاوه بر این، مشارکتِ آشکار یا غیررسمی بین کشورهای تولیدکننده نفت باعث ارتقای فرصت‌هایی برای افزایش اضافیِ قیمتِ منابع نفت نسبت به وضعیت‌های رقابتی می‌شود. گرچه ممکن است وضعیت‌های انحصارگرایی به مرور زمان با تغییرِ وضعیتِ بازار دچار انبساط یا انقباض شود اما بسیاری از کارشناسان، اپک –سازمانِ کشورهای صادرکننده نفت: OPEC–[1] را اتحادیه‌ای دست و پا چلفتی می‌دانند که همچنان قصد دارد قیمت نفت را به سمت بالا هدایت کند (آدلمن،[2] ۱۹۸۰). برآوردهای تجربیِ هزینه اضافیِ واردات نفت –Premium– در شکست این بازار دخیل است چون تا حدی نادقیق است و مؤلفه قدرتِ بازار (یا تک خریداری/ انحصار خرید) که به صورت توانایی جامعه صادرکنندگان نفت برآورد می‌شود (که به صورت یک واحد خریدار سازمان‌دهی شده‌اند نه مصرف‌کنندگان منفرد) و هدفِ نهایی کاهش قیمتِ انحصاری است که از طرف اپک تحمیل می‌شود [۱].

دوم اینکه، ممکن است تأمین‌کنندگان و مصرف‌کنندگان نفت ریسک واقعیِ تحولِ بعدیِ نفتیِ ناشی از ناآرامی‌های سیاسی در نواحی برون‌مرزی را درک نکنند. به طور معمول دولت‌های سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD)[3] منابع فراوانی برای توسعه اطلاعاتی درباره روندهای سیاسیِ برون‌مرزی صرف می‌کنند و آموخته‌های خود را با بخش خصوصی در میان نمی‌گذارند. گرچه ممکن است دولت ریسک تحولات نفتی را در برخی موارد بیش از حدِ واقعی برآورد کند اما به نظر می‌رسد که بخش خصوصی نیز ممکن است این ریسک‌ها را کمتر از حد واقعی برآورد کند. برای مثال بهترین تحلیل از ذخایر نفتِ خصوصی در کشورهای OECD بر این مطلب دلالت دارد که برای افزایش یک بشکه از ذخایر نفت خامِ خصوصی، به کاهشِ هشت یا نُه بشکه از ذخایر نفت دولتی نیاز است (آلدی، ۲۰۰۷). این نسبتِ ۱ به ۸ نشان دهنده وجودِ نیروی «مجاب‌کننده» بسیار پایین بین ذخایر خصوصی و دولتی است که نسبت به بسیاری دیگر از مخارج دولتی کمتر است.

برآوردهای تجربی درباره هزینه اضافیِ واردات نفت، شکستِ بازار را به صورت مؤلفه تحول هزینه واردات در نظر می‌گیرد. این هزینه برابر است با درآمد واقعیِ از دست رفته طی تحولِ ناشی از وارداتِ نفتِ گران‌تر.

---

[1] Organization for Petroleum Exporting Countries (OPEC)

[2] Adelman

[3] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)

این مؤلفه به فرضیاتی در این‌باره وابسته خواهد بود که تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگانِ نفت تا چه میزان ریسکِ تحولِ بعدی را به درستی پیش‌بینی می‌کنند. بهاگواتی و اسرینیواسین[1] (۱۹۷٦) و می‌یر (۱۹۷۷) اینگونه استدلال می‌کنند که وقتی تحولی غیرمنتظره رخ می‌دهد، تعدیل هزینه‌ها مانع آن می‌شود که بنگاه‌های تولیدکننده دچار زیان شوند، البته به استثنای وضعیتی که قیمت‌ها بسیار بالا باشد. یکی از سیاست‌های مناسب این خواهد بود که کمک هزینه/ یارانه پرداخت شود تا تولید داخلی پیش از وقوعِ تحول، ترویج یابد چون تولیدکنندگان طی شرایطِ عادی به ارزشِ کالاها توجه چندانی نمی‌کنند. تالی و ویل‌من[2] (۱۹۷۷) این مفهوم را بسط و تعمیم می‌دهند تا مصرف‌کنندگانِ انرژی با سهم سرمایه مشخص و عاداتِ ماندگار نیز در نظر گرفته شوند. از آنجا که مصرف‌کننده و تولیدکننده به ارزشِ واقعیِ کالایی که دچار محدودیت‌های بازرگانی شده است توجه نمی‌کنند، تعرفه نفتی به جای کمک هزینه تولید ترجیح خواهد داشت. با این حال اگر بنگاه‌های تجاری و مصرف‌کنندگان به درستی اثراتِ تحولاتِ آتی را درک کنند بحث‌های خصوصیِ فعلیِ آنها به ارزش‌گذاریِ مناسبِ کالاهایی که دچار محدودیت‌های بازرگانی شده‌اند منجر خواهد شد (اسرینیواسان، ۱۹۸۷).

سوم اینکه، بنگاه‌های تجاری و کارگران می‌توانند تصمیماتی درباره قیمت‌گذاری و خروجی‌ها اتخاذ کنند که به بخش‌های دیگر اقتصاد به شکل افزایش بیکاری و ظرفیتِ بلااستفاده آسیب وارد کند. این اثرات را می‌توان «عوامل بیرونیِ اقتصاد کلان» در نظر گرفت. برخلافِ هزینه‌های امنیتی که در نکته دوم اشاره کردیم و گفتیم تصمیم‌گیرنده‌ای که فاقد اطلاعات لازم باشد متحمل آنها می‌شود، این هزینه‌ها برای کسانی که تصمیم‌گیرنده‌اند «بیرونی» به حساب می‌آید. چون این وابستگی‌های بینابینی از طریق نظام بازار کار می‌کنند، بایستی عوامل بیرونیِ اقتصاد کلان از این نوع را در دسته «عواملِ بیرونیِ پولی» در نظر گرفت نه فنی. اگر اقتصادِ مصرف‌کننده نفت در بردارنده بخش‌های رقابتیِ بسیاری باشد، می‌توان از عوامل بیرونیِ پولی صرف نظر کرد چون بر رفاه اثر نمی‌گذارند (فولکرتس–لاندائو، ۱۹۸٤). با این حال بسیاری از اقتصاددان‌های سازمان‌های صنعتی و اقتصاد کلان تصور می‌کنند که در اقتصادهای مدرن، رقابتِ انحصارگرایی می‌تواند نسبت به رقابتِ کامل بهتر باشد (برسناهان، ۱۹۸۹). تحت محیطِ چنین بازاری نمی‌توان از عوامل بیرونیِ پولی چشم‌پوشی کرد چون بر رفاه اثر نمی‌گذارند (رومر، ۱۹۹٦، صفحه ۱۱٤). هانتینگتون (۲۰۰۳) با استفاده از چنین چارچوبی نشان می‌دهد که عوامل بیرونیِ اقتصاد کلان با ریسکِ تعدیل شده ممکن است به زیان‌های رفاهی منجر شوند که با بازار یا مؤلفه قدرتِ انحصارطلبانه قابل مقایسه هستند.

مالیات‌های OPEC و مسئله تروریسم

---

[1]Bhagwati – Srinivasin

[2]Willman - Tolley

دیگر مؤلفه‌های پیشنهادی در مورد هزینه اضافیِ وارداتِ نفت یا جزء زیرمجموعه‌های شکست‌های مذکور در بازار هستند یا به فرآیند برآورد تعلق ندارند: برای مثال امروزه برخی از صاحبنظرانِ دولتی علتِ قیمت بالای نفت را ناشی از مالیاتِ نفت می‌دانند که دولت‌های مالکِ منابع نفتی اعمال می‌کنند. گرچه مالیات نفتی صرفاً بر یک کالا از لحاظ اقتصادی نامؤثر است، مؤلفه قدرتِ تک‌خریداری/ انحصارِ خرید مدت‌ها است در بروز این اثر سهیم است.

به طور جایگزین، درآمدِ کشورهای صادرکننده نفت می‌تواند منابع مالیِ تروریسم را تأمین کند، دیکتاتورهای در حال جنگی که ذخایر نفتی و فعالیت‌هایی را کنترل می‌کنند که به طور خاص بابِ طبعِ کشورهای OECD نیست [۲]. ضرورتاً این مسئله بدان معنا است که دادنِ یک دلار به کشورِ تولیدکننده نفت بازنمودی از هزینه‌ای است که از ارزشِ آن دلار تجاوز می‌کند. تحلیلِ سود–زیان می‌تواند ارزش‌های متفاوتی برای مؤلفه قدرت بازار ارائه کند تا بی‌میلی ما را به درآمدهای جمع‌آوری شده از سوی دولت‌ها و بازگردشِ آنها به گروه‌های زیان‌آور را نشان دهد اما این رویکرد بیش از آنکه مؤلفه‌ای تازه باشد، تعدیلی برای مؤلفه قدرت بازار خواهد بود. به طور کل، در برآورد هزینه اضافیِ واردات نفت به این مسئله توجهی نمی‌شود چون تعیینِ ارزش پولی بسیار دشوار است.

مخارج نظامی

در برآوردِ تجربیِ هزینه‌های اضافی، به درستی به مخارج نظامی توجهی نمی‌شود تا در کشورهای تولیدکننده نفت، صلح و حقوق مالکیت حفظ شود. مبلغ/ هزینه اضافی مشخص می‌کند که دولت‌ها بایستی چه میزان برای کاهشِ آسیب‌ها صرف کنند. مخارجِ واقعیِ نظامی نشان می‌دهد که دولت چه چیزی را صرف می‌کند. آنچه دولت صرف می‌کند ممکن است هیچ ارتباطی با آسیب‌هایی نداشته باشد که کشورهای بسیار وابسته به واردات نفت متحمل می‌شوند (بوهی و تومن، ۱۹۹۳). این مخارج، توصیف‌کننده هزینه‌های انتخابِ سیاستی خاص است نه آسیب‌های اجتماعیِ ناشی از سطح واردات نفت. قبلاً در فهرست شکست‌های بازار به مورد دوم اشاره کردیم. اگر هزینه‌های نظامی را نیز به هزینه‌های اضافی بیفزایید ضرورتاً آسیب‌ها یا هزینه‌ها را مضاعف کرده‌اید.

به منظور بیان جزئیاتِ بیشتر، فرض کنید که می‌دانید هزینه گسیل گازهای گلخانه‌ای برای جامعه ۲۵ دلار به ازای هر تنِ از «کربنِ معادل» است که برحسب آسیب‌های وارده بر سلامت افراد، حفظ سواحل دریا و دیگر اثراتِ اجتماعی–اقتصادی برآورد شده است. دولت نیز با اعمالِ جریمه ۲۵ دلار به ازای هر تن از کربنِ معادل، به این سیاست پاسخ می‌دهد. افزودنِ هزینه این برنامه (جریمه رهاسازی گازهای گلخانه‌ای) به آسیب‌هایی که قصد جلوگیری از آنها را دارید شبیه ترکیبِ مخارجِ نظامی با هزینه‌های اضافی است. این رویه باعث تورمِ

برآوردِ هزینه اضافی تا نقطه‌ای می‌شود که اکنون دیگر به معنای بهینه‌کاویِ سیاست نیست. به طور خلاصه، هزینه‌های اضافی باید به آسیب‌های ناشی از تغییرات اقلیمی یا ناامنیِ نفتی ربط داده شود نه به هزینه اجرای سیاست‌ها در پاسخ به آن آسیب‌ها.

در حالت کلی ممکن است دولت بیش از حد برای حفاظت نظامی یا بسیار کم برای کاهش گسیل آلاینده‌ها خرج کند تا شاخصه‌های خوبی از هزینه‌های حقیقی برای جامعه بسازد.

از سوی دیگر ممکن است هزینه اضافی که پیش‌تر محاسبه شد برای قضاوت درباره مخارج واقعیِ نظامی مفید باشد و می‌تواند با منافع نفتیِ آمریکا به روشنی همراستا گردد. طبق اظهارِ رئیس دفتر بودجه مجلس آمریکا مخارج سالانه نظامی آمریکا در عراق حدود ۱۱۳ میلیارد دلار است (۲۰۰۷). اگر هزینه‌ها بین ۵ میلیارد بشکه وارداتیِ آمریکا توزیع شود، این هزینه به طور تقریبی بالغ بر ۲۳ دلار به ازای هر بشکه خواهد بود. این محاسبه ساده نشان می‌دهد که اگر تعهدِ نظامیِ آمریکا صرفاً کسبِ منافعِ اجتماعیِ نفت بود (برآوردها به رقمِ ۱ دلار به ازای هر بشکه اشاره می‌کند، همان طور که در جدول ۱۶,۱ زیر مشاهده می‌کنید)، بیش از حد برای این بخش خرج می‌کند. این محاسبه ساده علاوه بر مستثنی کردنِ دیگر دلایل برای تعهدِ نظامیِ آمریکا در عراق، هزینه‌های گسترده‌تر اجتماعی مرتبط با افزودنِ تلفات و جراحات و آسیب‌های دائمی را نیز در نظر نمی‌گیرد.

مخارج ذخایر استراتژیک نفت

به همان علتی که مخارج نظامی باید از مجموعه کنار گذاشته شود، هزینه حفظِ ذخایر استراتژیک نفت (SPR)[1] نیز نباید در برآورد هزینه اضافی لحاظ شود. آسیب‌ها ناشی از وابستگیِ شدید به وارداتِ نفت نیستند بلکه در عوض، انتخابِ سیاست‌ها برای کاهشِ آن آسیب‌ها است که عامل اصلی به حساب می‌آید. از سوی دیگر، سیاستگذاران باید از هزینه اضافیِ نفت برای تصمیم‌گیری در این‌باره استفاده کنند که آیا به ساختِ مخازن اضافی نگه‌داری نفت دولتی نیاز هست یا خیر.

۳ برآورد اخیر از هزینه اضافی واردات نفت

یکی از پرارجاع‌ترین مقالات در زمینه برآورد تجربیِ هزینه اضافی واردات نفت به تحقیق لایبی[2] و همکارانش (۱۹۹۷) مربوط می‌شود که اخیراً به روزرسانیِ آن منتشر شده است (لایبی، ۲۰۰۷). این اقداماتِ پرمشقت عمدتاً برای شفاف‌سازیِ برآورد هزینه اضافیِ وارداتِ نفت و ارائه معیارهایی مفید به سیاستگذاران برای ارزشیابی سیاست‌ها انجام شده است. آنها از چارچوبِ شبیه‌سازیِ احتمال‌گرا برای برآورد هزینه اضافی در

[1] strategic petroleum reserve (SPR)

[2] Leiby

آمریکا استفاده می‌کنند که در بردارنده دیدگاه‌های متفاوت بسیاری درباره رفتار بازار است که از جمله می‌توان به این فرض اشاره کرد که اقدامات آمریکا ممکن است در برخی شرایط اثرِ بسیار کمی بر قیمت نفت داشته باشد. با توجه به پراکندگیِ عقاید بین افرادی که به شکست‌های بازار امنیتِ انرژی اعتقاد دارند و کسانی که چنین باوری ندارند، این رویکردِ گزینشی، هدفی بسیار مؤثر و مفید را دنبال می‌کند.

وضعیت بازار نفت و برآورد هزینه اضافی

برآوردهای جدیدتر لایبی نشان می‌دهد که هزینه اضافی واردات نفت زمانی افزایش می‌یابد که خط مبنای قیمت نفت بیش از میزانِ ۱۰ سال پیشِ خود باشد. فرض اساسی این است که کشش قیمت نفت برای تقاضا در داخل و خارج آمریکا و عرضه در داخل و خارجِ کشورهای صادرکننده نفت، بین این دو دوره زمانی بدون تغییر مانده است. این فرض از آن جهت موجه به نظر می‌رسد که برآوردهای تجربی برای تقاضای نفت انجام شده است؛ برای مثال به این مقالات مراجعه کنید: گودوین و همکارانش (۲۰۰٤)، گراهام و گلیستر (۲۰۰٤) و دارگای و همکارانش (۲۰۰۷). در ترکیب با این فرض که سهمِ واردات آمریکا در کل بازار بین این دو دوره زمانی اختلاف چندانی ندارد، شرایط مذکور دلالت بر این مطلب دارد که تغییر درصدی در هزینه اضافی باید به طور تقریبی یکسان باشد اما اگر سطوح قیمت خط مبنای نفت بالاتر باشد، سطح هزینه اضافی نیز به همان نسبت افزایش می‌یابد (لایبی رابطه ریاضیِ مفیدی درباره این نکته ارائه می‌کند).

این برآوردها از مبالغ اضافی بر مبنای برآورد تک بازارِ نفت طبق مرجع اداره اطلاعات انرژی آمریکا است. این رویه با نحوه انجام مطالعاتِ مربوط به احتمال بروز تحولات همراستا است که در بخش ٤ در این‌باره بحث خواهیم کرد. با این حال باید به این نکته اشاره کنیم که این تک برآورد در مورد شرایط بازار نفت جهانی ممکن است نتایج را دچار سوگیری کند و به سمت مبالغ و هزینه‌های اضافی‌ترِ نفت سوق دهد. گاتلی (۲۰۰۷) از این برآوردهای EIA (اداره اطلاعات انرژی آمریکا) انتقاد می‌کند و معتقد است که موارد فوق در مورد اشتیاقِ اوپک برای تأمین نفت در بازارهای آینده بیش از اندازه خوش‌بینانه است. تحولات در هر منطقه‌ای که سهم بزرگتری از کل بازار را تأمین کند، تأثیری بزرگتر بر قیمت جهانی نفت خواهد داشت.

برآوردها

برآوردهای جدید و قبلی در جدول ١٦,١ مقایسه می‌شوند. میانه مبلغِ اضافه/ هزینه اضافیِ قدرتِ انحصارِ خرید از ۲,۵۷ دلار به ازای هر بشکه در پژوهشِ ۱۹۹۷ تا ۸,۹ دلار به ازای هر بشکه در مطالعه ۲۰۰٦ افزایش می‌یابد (تمامی قیمت‌ها برحسب دلار آمریکا در ۲۰۰٤ است). وقتی هزینه اضافیِ اقتصاد کلان به اولین جزء اضافه شود، میانه کاملِ هزینه اضافی از ۳,۵۹ دلار به ازای هر بشکه تا ۱۳,۵۸ دلار به ازای هر بشکه افزایش می‌یابد (در بازه زمانیِ برآوردهای سال ۱۹۹۷ و ۲۰۰٦).

انباشت دو جزء مذکور دلالت بر این مطلب دارد که وقتی تحولی به وجود می‌آید، کل هزینه اضافیِ واردات باید در بردارنده مؤلفه قدرت بازار باشد. با این حال هزینه اضافیِ قدرت بازار معمولاً در مورد شرایطِ پایدار بازار به کار می‌رود تا در مورد تحولات [۳]. اگر کشورهای واردکننده طی تحولات به منافع قدرتِ بازار دست نیابند، این برآوردها فقط گزافه‌گویی است.

جدول ۱۶,۱ برآورد متوسط هزینه اضافیِ واردات نفت

اثر / مطالعه	مطالعه ۱۹۹۷ (BBL/$۲۰۰٤)	مطالعه ۲۰۰٦ (BBL/$۲۰۰٤)
مولفه انحصار خرید	**$۲/۵۷**	**$۸/۹۰**
	($۱/۵٤–۳/۵۹$)	**($۲/۹۱–۱۸/٤۰$)**
تحول اقتصاد کلان/ تعدیل هزینه‌ها	**$۱/۰۳**	**$٤/٦۷**
	($۱/۰۳–۲/۰۵$)	**($۲/۱۸–۷/۸۱$)**
نقطهٔ میانیِ کل	**$۳/۵۹**	**$۱۳/۵۸**
	($۲/۵۷–۵/٦٤$)	**($٦/۷۱–۲۳/۲۵$)**

یادداشت: بازه‌ها در پرانتز و زیرِ برآورد متوسط گزارش شده‌اند.
منابع: لایبی و همکارانش (۱۹۹۷) و لایبی (۲۰۰۷)

لایبی متوجه شد که عوامل بیرونیِ اقتصاد کلان ممکن است از مصرفِ کل یکی از منابع انرژیِ ناپایدار بیش از وارداتِ مطلق نفت استخراج داشته باشند اما وی همچنین استدلال می‌کند که واردات نفت باعث افزایش احتمالِ بروز تحولات در خاورمیانه می‌شود و قیمت‌های تحول‌یافته را به مقادیر بالاتر هدایت می‌کند. از این‌رو، توجیهِ وی برای دخیل نمودنِ مؤلفه اقتصاد کلان در مورد واردات نفت آمریکا است. از سوی دیگر اگر معتقد باشیم که بین واردات نفت و عوامل بیرونیِ اقتصاد کلانِ ناشی از شوک‌های قیمتیِ نفت پیوندِ مستقیمِ کوچکی وجود داشته باشد، شاید بخواهیم انحصاراً بر مؤلفه قدرتِ بازارِ هزینه اضافی نمایش داده شده در جدول ۱٦,۱ متمرکز شویم. گرچه منابع عظیمِ اتانولِ داخلی یا تولیداتِ ANWR (پناهگاه ملی حیات‌وحش شمالگان)[1] ممکن است باعث کاهش واردات شود اما این نوع توسعه، از اقتصاد در برابر شوک‌های قیمتیِ نفت در آینده

[1] rctic NationalWildlife Refuge (ANWR)

محافظت نمی‌کند. در شرایطی که منابع بازار جهانی نفت ناپایدار باشد شاید اثراتِ GDP همچنان در مورد مصرف نفت آمریکا قابل اعمال باشد اما این نتیجه نشان می‌دهد که ممکن است به جای مؤلفه هزینه اضافیِ واردات نفت در عوامل بیرونیِ اقتصاد کلان با مؤلفه مصرفِ نفت مواجه باشیم.

در این برآوردِ هزینه اضافی، آسیب‌های مرتبط با عوامل بیرونیِ اقتصاد کلان را برحسب خروجیِ واقعیِ کاهش‌یافته محاسبه می‌کنیم که برحسب GDP اندازه‌گیری شده‌اند و متغیرِ فعالیتِ اصلی را نیز اقتصاددانانِ کلان تحلیل کرده‌اند. برای تحلیل سود–زیان، GDP معیارِ ترجیحی نیست چون تغییرات خروجی لزوماً بازتابی از فرصت‌ها یا رفاهِ از دست رفته نیست. مشخص نیست که آیا استفاده از GDP واقعی باعث گزافه‌گویی یا کم‌گویی درباره رفاهِ ناشی از رکود اقتصادی می‌شود یا خیر. کسانی که استدلال می‌کنند GDP باعث افزایش یا کاهش بیکاری می‌شود در مورد از دست رفتنِ رفاه گزافه‌گویی می‌کنند و معمولاً استدلال‌شان این است که کارگران و بنگاه‌های تجاری بسیاری از اصطکاک‌های بازار را به شیوه‌ای مؤثر پیش‌بینی می‌کنند و در مقابل آن دوام می‌آورند (بوهی و تومن، ۱۹۹۶). کسانی که استدلال می‌کنند زیانِ رفاهیِ ناشی از رکود غالباً از اُفتِ GDP نیز فراتر می‌رود معمولاً بر زیان مثلثیِ وزن خالصِ حاصل از تولید کمتر از خروجیِ بهینه متمرکز هستند (گرتلر و همکارانش، ۲۰۰۷). با دور شدنِ خروجی از سطحِ اشتغالِ کامل، رفاه بیش از تناسبِ موجود در این بین دچار اُفت می‌شود.

٤ ریسک تحولاتِ نفتی

احتمالِ اندازه و طول مدتِ تحولِ بعدیِ نفتی در برآورد هزینه اضافیِ واردات نفت حیاتی است. لایبی و بومن (۲۰۰۳) نشان می‌دهند که انواع برآوردهای ریسک از تحولاتِ قابل مقایسه طی دهه ۹۰ میلادی با ضریبِ پنج با یکدیگر فرق دارند که البته به رویکرد و فرضیات نیز بستگی دارد. در پاسخ به نیازِ انجامِ برآوردهای معتبر درباره احتمالاتِ این تحولات، در ۲۰۰٦ انجمنِ مدل‌سازیِ انرژی در دانشگاه استنفورد کارگروهی متشکل از متخصصانِ بازار نفت و ژئوپلیتیکی تشکیل داد. این گروه چارچوب ارزیابی ریسکی را توسعه داد و احتمالِ حداقل یک تحول نفتیِ خارجی را طی ۱۰ سال بعد ارزیابی کرد (بیکیو و هانتینگتون، ۲۰۰۵). این پژوهش سه هدف را دنبال می‌کرد:

- توسعه چارچوب ارزیابی ریسک و استفاده از قضاوتِ کارشناسان به منظور محاسبه احتمال کلیِ تحول نفتیِ عظیم
- مشخصه‌یابیِ احتمال، بزرگیِ تأثیر و طول مدت وقفه بالقوه در تأمین منابع
- مستندسازیِ روشنِ منطق و فرضیاتِ پیشبرنده تحلیلِ ریسک

از ارزیابیِ رسمیِ احتمال‌گرای ریسک، به طور گسترده برای تحلیلِ طیف وسیعی از مباحث استفاده شده است:

- عدم قطعیت عامل اصلی است.
- بسیاری از عواملِ مرتبط به هم باعث بروز پیچیدگی‌های معنادار می‌شوند.
- اطلاعات از بسیاری منابع قابل دسترسی است.
- سیاستگذاران خواهان تحلیل کمّی، منطقی و قابل دفاع در مورد ریسک‌های مربوطه هستند.

مفصل‌ترین، جامع‌ترین و ساختارمندترین رویکرد در ارزیابی این ریسک‌ها به استنباطِ دیدگاه‌های کارشناسان ربط دارد و مانند همان رویه‌ای است که پیش‌تر انجمن مدل‌سازی انرژی استنفورد (EMF) در ۱۹۹۶ انجام داد (هانتینگتون و همکارانش، ۱۹۹۷). این رویکرد با توجه به ابزارها و اصولِ تحلیل تصمیم (کلمن، ۱۹۹۶)، بر مبنای مدل‌سازیِ ساختارمند استوار است که رویدادهای خاص در آن شناسایی می‌شوند و احتمالاتشان ارزیابی می‌شود. به طور بحرانی، این رویکرد اجازه می‌دهد تا وابستگی‌های بینابینی در رویدادها وجود داشته باشد و به موجب آن، ارزشیابی غنی‌تری از ریسک‌های بنیادیِ تحولات انجام خواهد شد. در این ارزیابی، از قضاوتِ کارشناسان برای تعیینِ آشکارِ کمیتِ «بزرگی»، «طول مدت» و «احتمال» رویدادهای مرتبط با تأمین/ عرضه نفت استفاده می‌شود که ممکن است موجبِ بروز انحرافاتِ رو به بالای معناداری در قیمت جهانی نفت شوند.

انجمن مدل‌سازی انرژی (EMF) مجموعه‌ای از سه کارگاه را بین دسامبر ۲۰۰٤ و جولای ۲۰۰۵ برگزار کرد. این جلسات بر استفاده از قضاوت کارشناسان در تعیینِ آشکارِ کمیتِ بزرگی و احتمالِ تحولاتِ نفت متمرکز بودند. اعضای گروه، کارشناسانِ پیشرو در حوزه ژئوپلیتیک، نظامی و بازار نفت بودند که درباره احتمالِ رویدادهای مختلفِ در حال وقوع و ارتباط‌شان با تحولاتِ عمده در مناطقِ کلیدیِ نفت دیدگاه‌های خود را ارائه می‌کردند. توجه خاصی به متمایز ساختنِ تحولات برحسب بزرگی، طول مدت و احتمالِ وقوع‌شان معطوف شد. اعضای این گروه سوابق سازمانی و نهادی بسیار گسترده‌ای داشتند و از آنها خواسته شده بود تا قضاوت منحصر به خودشان را ارائه کنند و از بیانِ جایگاه سیاسی و فنیِ سازمان‌شان خودداری کنند. اظهارات این شرکت‌کنندگان در گزارش اخیر منتشر شده است (بیکیو و هانتینگتون، ۲۰۰۵).

کمبودها و مناطق تأمین/ عرضه

در مورد ارزیابی ریسک نفتی، تحول یا کمبود به صورت زیر تعریف می‌شود:

کمبود در تولید نفت از سوی یکی از عرضه‌کنندگان جهانی که موجب شود حداقل ۲ *MMBD* طی ۱ ماه از آغاز تحول در دسترس نباشد. پس از این دوره، تولید جهانی به سطح سابقِ پیش از کمبود باز می‌گردد. تحول حداقل در یکی از بازه‌های زمانیِ ۱۰ساله ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ رخ می‌دهد (بیکیو و هانتینگتون، ۲۰۰۵، صفحه ٦).

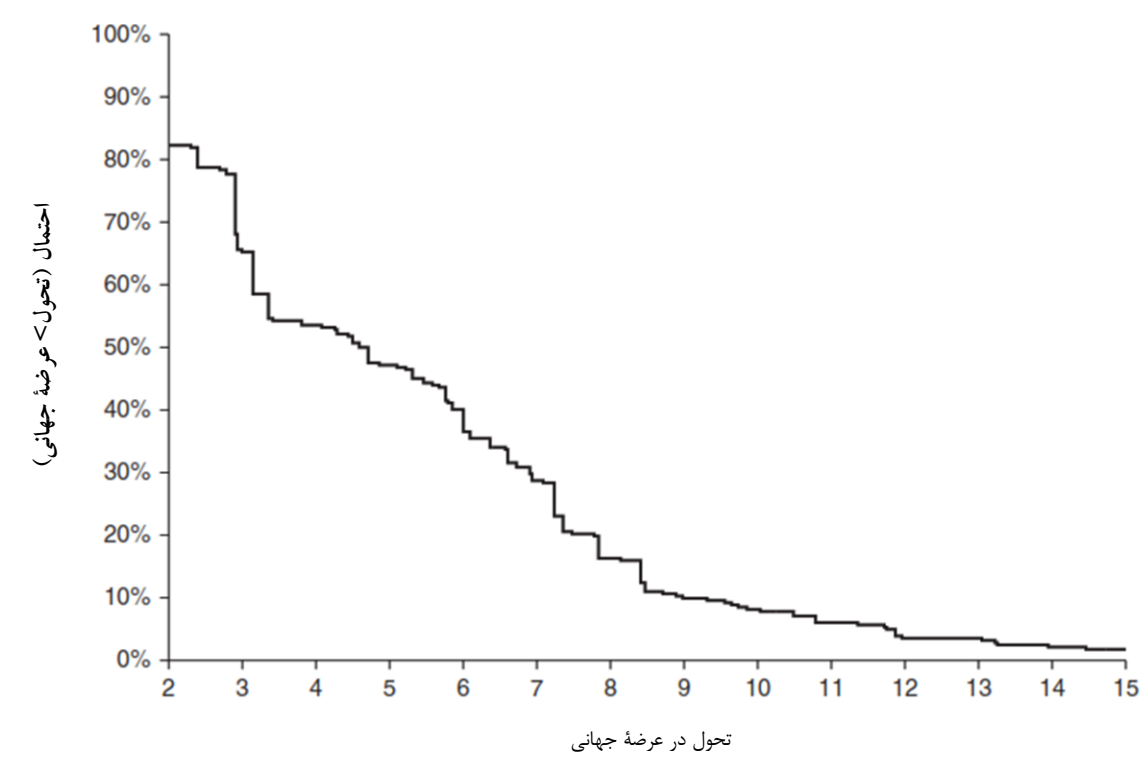
این تعریف، رویدادی آشکار را برای کارشناسان ارائه می‌کند تا احتمالِ وقوع تحول نفتی را ارزیابی کنند. ممکن است بیش از یک تحول طی بازه زمانیِ ۱۰ساله ۲۰۰۵-۲۰۱٤ رخ دهد. در این ارزیابی‌ها، کمبود برحسب حرکتی خاص در قیمت تعریف نمی‌شود.

این ارزیابی‌ها بر تحولاتِ ممکن در چهار منطقه عمده تولید نفت متمرکز شده بودند: ۱.عربستان سعودی، ۲.دیگر کشورهای خلیج فارس، ۳.غرب کانال سوئز و ٤.روسیه و کشورهای دریای خزر. گروه دوم شامل ایران، عراق، کویت، قطر، امارات و عمان می‌شد. کشورهای غرب کانال سوئز شامل الجزایر، آنگولا، لیبی، مکزیک، نیجریه و ونزوئلا بود. در این تحلیل، هر مجموعه از کشورهای یک منطقه به صورت «گروهی واحد» در نظر گرفته می‌شدند. ظرفیت تولید طبق پژوهش مرجع سازمان بین‌المللی چشم‌انداز انرژی (IEO)[1] برای ۲۰۱۰، تقریباً در تمامی مناطق یکسان بود و در بازه ۱۳,۲ میلیون بشکه در روز (MMBD) برای عربستان سعودی و روسیه و کشورهای حاشیه دریای خزر تا ۱۵,۷ MMBD برای گروه ناهمگنِ کشورهای غرب کانال سوئز قرار می‌گیرد.

این گروه، تحولات خالص را پس از عبور بحران از مناطق تحول‌نیافته برآورد کرد. تأثیراتِ عمده در مورد تحولاتِ ناخالص شامل ظرفیتِ اضافی می‌شود که اساساً در عربستان واقع است و تا حد کمی نیز در منابعِ سایر کشورهای حاشیه خلیج فارس مستقر شده است. در اینجا US SPR را به صورت اُفست در نظر نگرفتیم چون این تحلیل تحولاتِ خالصِ ناشی از فقدان مداخله سیاسی توسط دولت آمریکا را برآورد می‌کند.

این اطلاعات وارد نرم‌افزار DPL شد که بسته نرم‌افزاری تحلیل ریسک و تصمیمِ پیشرفته است (Syncopation Software، ۲۰۰۳). به منظور دستیابی به خلاصه اطلاعات، این مدل اندازه تحول را برای تمامی ترکیباتِ رویدادها محاسبه می‌کند (بیش از ۲۰ میلیون سناریو) و برحسب احتمالِ وقوع، به هر کدام از سناریوها وزن می‌دهد.

[1] International Energy Outlook (IEO)

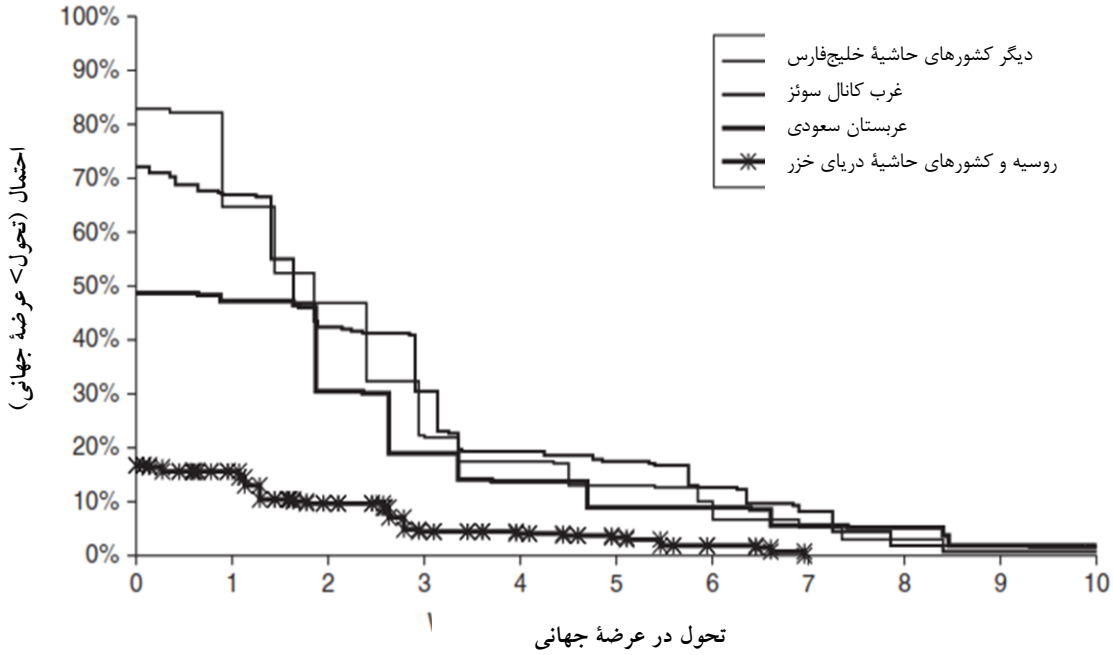


شکل ۱٦,۱ احتمال وقوع تحول نفتی با طول مدت ۱ تا ٦ ماه

منبع: **Beccue and Huntington (2005)**

جفت سناریو–احتمال‌ها به طور مختصر در شکل ۱٦,۱ برای تمامی تحولات نمایش داده شده‌اند. این منحنی در امتداد محور عمودی، احتمالِ وقوعِ تحول را طی ۱۰ سال از x نشان می‌دهد که به ازای هر مقدار از x –برحسب MMBD، خالصِ اُفست‌ها– بر محور افقی است. این نمودار بر بزرگیِ ۲ MMBD و بزرگتر متمرکز است چون بعید است که تحولاتِ کوچکتر اثراتِ قیمتیِ معناداری داشته باشند. شناساییِ این تحولاتِ کوچکتر نیز دشوار است و به رویدادهای خاصی نسبت داده می‌شود. این شکل نشان می‌دهد که نقطه داده‌ها در ۵ MMBD و ٤٥ درصد را می‌توان به صورت احتمالِ ٤٥ درصدی توصیف کرد و تحولِ ۵ MMBD یا بزرگتر نیز حداقل یک‌بار در بازه ۱۰ساله (۲۰۰۵–۲۰۱٤) رخ خواهد داد.

تحول خالص (اُفست‌ها) ۲ MMBD یا بیشتر و با ماندگاریِ حداقل ۱ ماه بسیار محتمل است (بیش از ٪۸۰) [٤]. احتمال تحول خالص ۳ MMBD یا بیشتر با ماندگاری حداقل ۱ ماه حدود ٦۵٪ است؛ احتمال ۵ MMBD یا بیشتر ۵۰٪ است. با این حال بعید است که تحولاتِ بزرگتر از ۱۵ MMBD رخ دهد (کمتر از ۱٪).



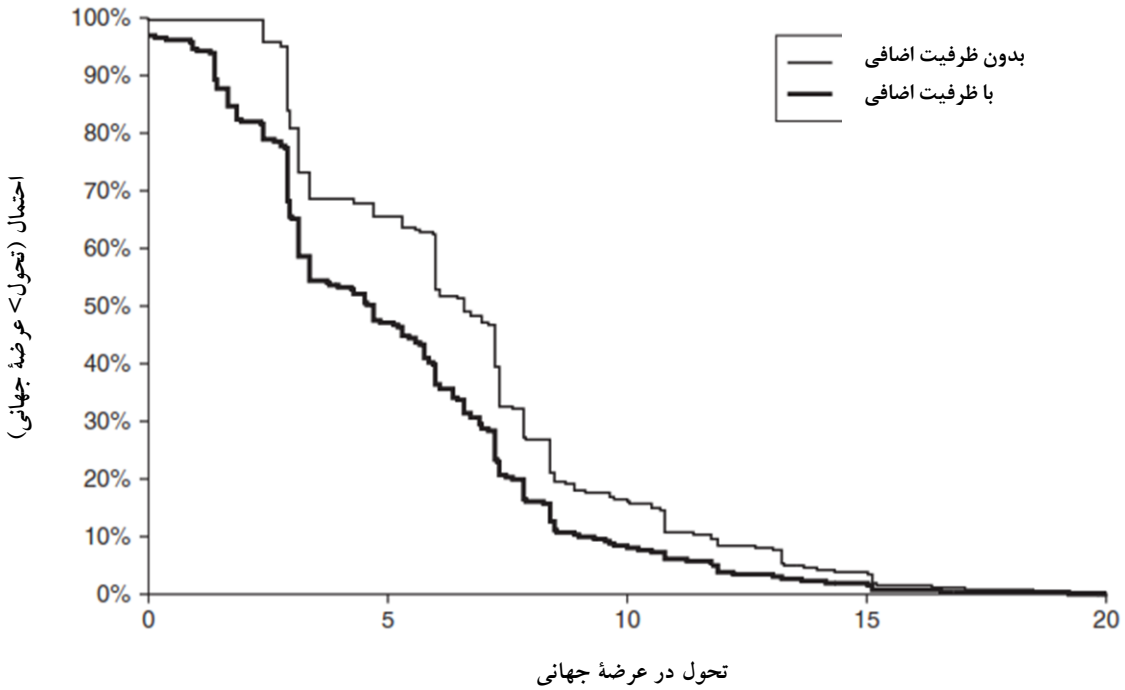
شکل ۱۶,۲ مقایسه تحولات کوتاه‌مدت برحسب منطقه

منبع: **Beccue and Huntington (2005)**

این منحنی به ما اجازه می‌دهد تا احتمال اندازه تحول را در بازه‌ای معین شناسایی کنیم. برای مثال احتمالِ تحول بین ۵ و ۱۰ MMBD حدود ۳۷٪ است (احتمالِ بیشتر از ۵ حدود ٤٥٪، احتمالِ بیشتر از ۱۰ معادل ۸٪، اختلاف به صورت ٤٥٪ – ۸٪ = ۳۷٪). شکل ۱٦,۱ وزن‌دهیِ بزرگتر برای ۳ MMBD و ۸ MMBD را برحسب اُفت شیب در منحنیِ این مناطق نشان می‌دهد. خواننده بایستی به شدت در نتیجه‌گیری برای این مقادیرِ خاص محتاط باشد چون این ارقام نشان دهنده برآورد بنیادیِ روش ارزیابی هستند.

توزیع در شکل ۱٦,۱ ترکیبی از رویدادها در هر چهار منطقه است. این رویکرد از طریقِ حذفِ تحولات در دیگر مناطق، سهمِ هر منطقه را در خلاصه توزیع نشان می‌دهد (با فرض عدم رخدادِ تحول) و نتایج هر منطقه را به طور مستقل نمایش می‌دهد. شکل ۱٦,۲ هر منطقه را به طور مستقل روی نمودار احتمال یکسان نشان می‌دهد. احتمالِ تحول دیگر مناطق خلیج فارس و غرب کانال سوئز –با فرض اندازه تحولات معین– بیش از کشورهای حاشیه دریای خزر و روسیه و عربستان است [۵]. احتمالِ ماندگاریِ هر گونه تحول بیش از یک ماه، در سایر کشورهای حاشیه خلیج فارس (۸۳٪) یا در منطقه کانال سوئز (۷۲٪)، بالاتر عربستان است (٤۹٪). احتمال قابل مقایسه برای روسیه و کشورهای حاشیه دریای خزر (۱۷٪) نسبت به عربستان سعودی کمتر است.

اُفست استفاده از ظرفیتِ اضافی در خارج از منطقه تحول‌یافته، باعث کاهش اندازه تحول می‌شود. بدون دسترسی به این ظرفیت اضافی، ناحیه مسطح در شکل ۱۶,۳ بین ۰ و ۳ MMBD نمایان می‌شود که نشان دهنده شبه‌قطعیت است که تحول این بزرگی طی ۱۰ سال آینده رخ می‌دهد.



شکل ۱۶,۳ حساسیت به حذف ظرفیت اضافی

منبع: **Beccue and Huntington (2005)**

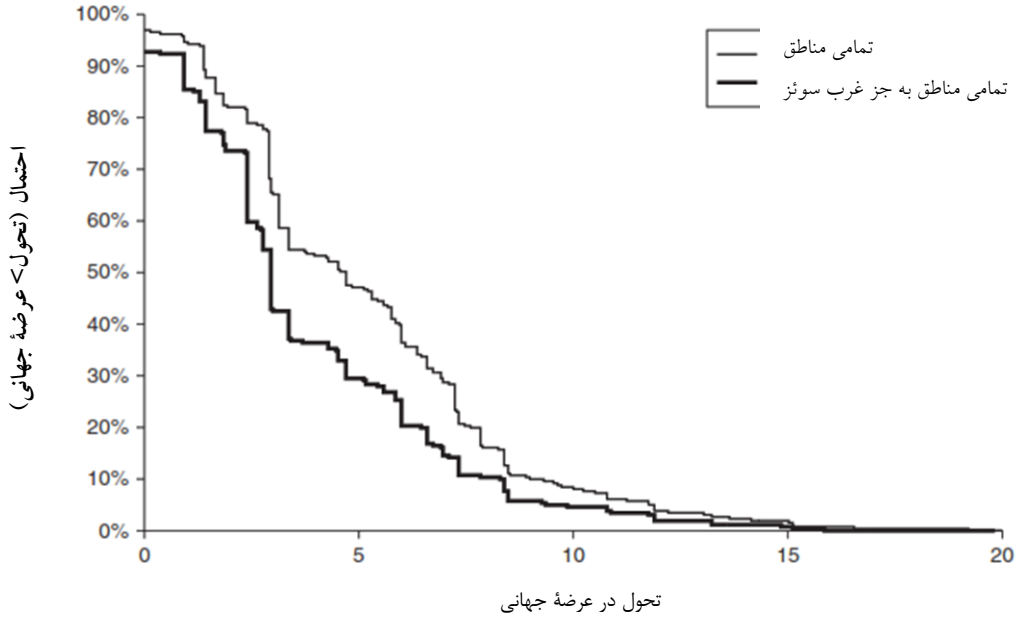
اثرِ حذفِ هرگونه ظرفیت اضافی باعث می‌شود که تحول به سمت راست و به اندازه ۱ MMBD انتقال یابد که نشان می‌دهد تحولاتِ خالص، بدون این ظرفیتِ اضافی بزرگتر هستند. این شکل نشان می‌دهد که اُفست‌ها از این احتمال می‌کاهند که تحولِ خالص به هر اندازه معینی و با تقریبِ ۵ الی ۱۵ درصد می‌رسد.

رویدادهای احتمالی یکی از اثراتِ کلیدی بر این ریسک‌های تحول در منطقه غرب کانال سوئز است که از تحلیل انجام شده در حدود ۱۰ سال قبل کنار گذاشته شده بود. اگر فرض کنیم که این منطقه در بیشترِ تحلیل‌های اخیر پایدار بوده است احتمال تحول برای اندازه‌های کمتر از ۳ MMBD ۵٪ کمتر است و در بازه ۳ الی ۷ MMBD نیز ۱۵٪ است (در شکل ۱۶,٤ مشاهده می‌کنید).

نزاع در خاورمیانه یکی از رویدادهای اساسی و مهم بود که به طور مشترک بر ریسک تحولات در چندین منطقه اثر می‌گذاشت. شکل ۱۶,۵ فرضیاتِ حالتِ پایه را با دو وضعیتِ بحرانی در خاورمیانه مقایسه می‌کند:

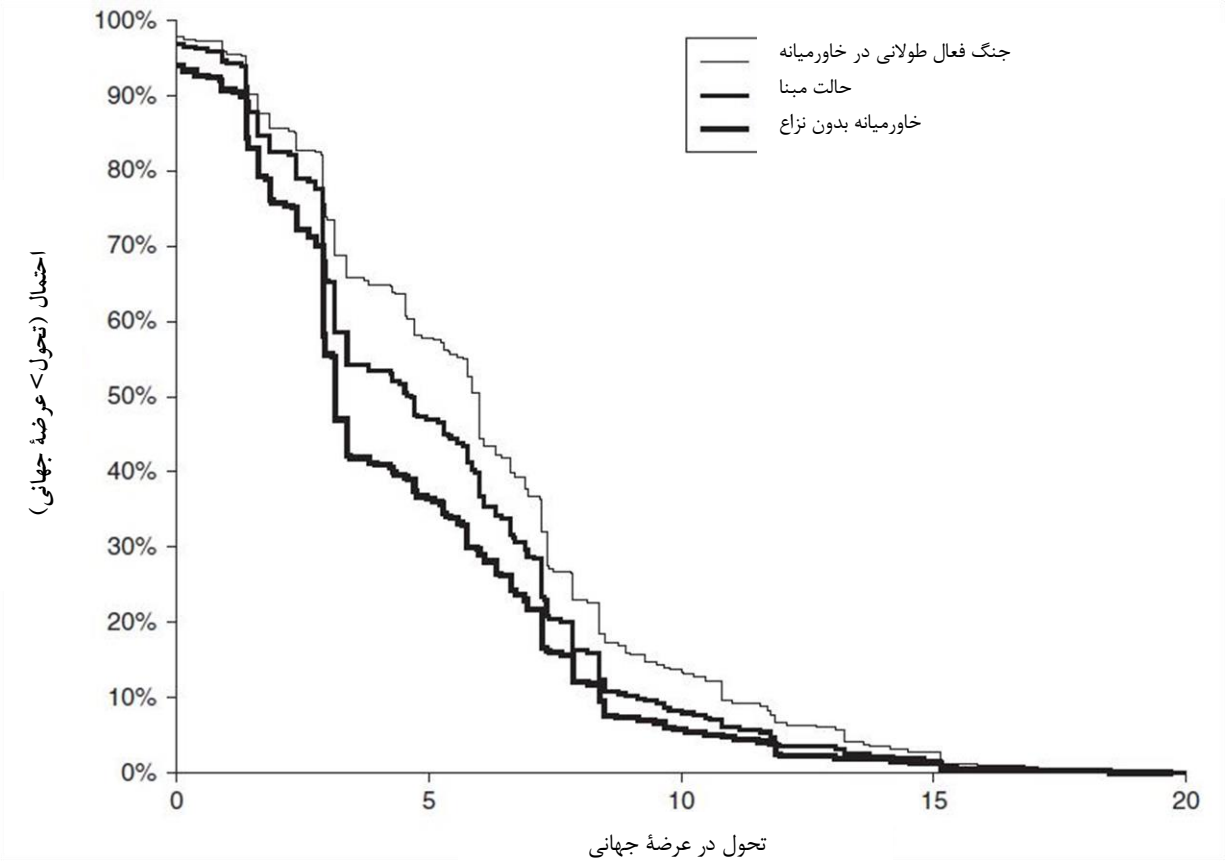
شرایط پایدار بدون نزاع و جنگ فعال یا طولانی در منطقه. در حالت MMBD ۵ یا بیشتر، احتمال از ۳٤٪ تا ٦۰٪ متغیر است که نشان می‌دهد رویدادهای خاورمیانه و پیوندشان با ریسکِ کمبودِ منطقه‌ای از جمله عوامل مهمِ ارزیابی ریسک نفتی‌اند.

این برآوردهای به روزشده، نسبت به نتایج ارزیابی EMF مشابه در ۱۹۹٦، نشان از افزایش احتمالِ تحولات در مقادیر کمتر مساویِ MMBD ۱۰ دارند اما حاکی از احتمالِ مشابه بروز تحولات در مقادیر بیش از MMBD ۱۰ هستند (۷–۸ درصد یا کمتر). ارزیابیِ فعلی، چهار منطقه جهان را به جای دو منطقه پوشش می‌دهد و احتمالات را به روزرسانی کرده است تا شرایط فعلی جهان را نمایان سازد و ظرفیت اضافی و پیش‌بینیِ عرضه نفت را اصلاح کرده است.



شکل ۱٦,٤ حساسیت به حذف منطقه غرب کانال سوئز

منبع: **Beccue and Huntington (2005)**



شکل ۱۶,۵ حساسیت به جنگ در خاورمیانه

منبع: **Beccue and Huntington (2005)**

۵ اثرات تحولات نفت

طی سال‌های اخیر قیمت بالای جهانی نفت ثروت هنگفتی را از کشورهای واردکننده نفت به کشورهای صادرکننده نفت انتقال داده است اما رشد اقتصاد جهانی را از مسیر اصلی‌اش خارج نکرده‌اند. چون بیشترِ کشورها فعالیت‌های اقتصادیِ خود را برحسب GDP گزارش می‌کنند (شاخصه‌ای از خروجیِ واقعی) غالباً این زیان در درآمد واقعی پشتِ آمارِ رسمی پنهان نگه داشته می‌شود (هانتینگتون، ۲۰۰۷). با این حال عدمِ اُفتِ خروجیِ واقعی در مواقعی که قیمتِ نفت بالاست به معمایی برای بسیاری از ناظران مبدل شده است. روندِ حرکتِ قیمت نفت طی چند سال اخیر توجه بسیاری از اقتصاددانانِ کلان را به خود جلب کرده است (برای مثال به این مقالات مراجعه کنید: بلانچارد و گالی، ۲۰۰۷؛ و نورهاووس، ۲۰۰۷).

دو مورد از تبیین‌ها در این زمینه بر افولِ اثرگذاریِ نفت در اقتصاد و منشأ تقاضامحورِ افزایش اخیر قیمت نفت تأکید دارد. افولِ اثرگذاریِ نفت در اقتصاد باعث کاهش اثراتِ مستقیم می‌شود اما حرکت به سمت

فعالیت‌های حوزه حمل و نقل برای نفتِ خام که نسبتاً به قیمت حساس هستند، ممکن است این اثر را خنثی کند. ممکن است افزایش قیمتِ نفتِ تقاضامحور نسبت به شوک‌های قیمتیِ نفت، ناشی از تحولاتِ عرضه، تدریجی‌تر باشد. همچنین آنها نسبت به تحولاتِ عرضه، اثراتِ مختلفی بر تجارت بین‌الملل دارند، چون تمامی اقتصادها در حال رشد هستند نه درجا زدن.

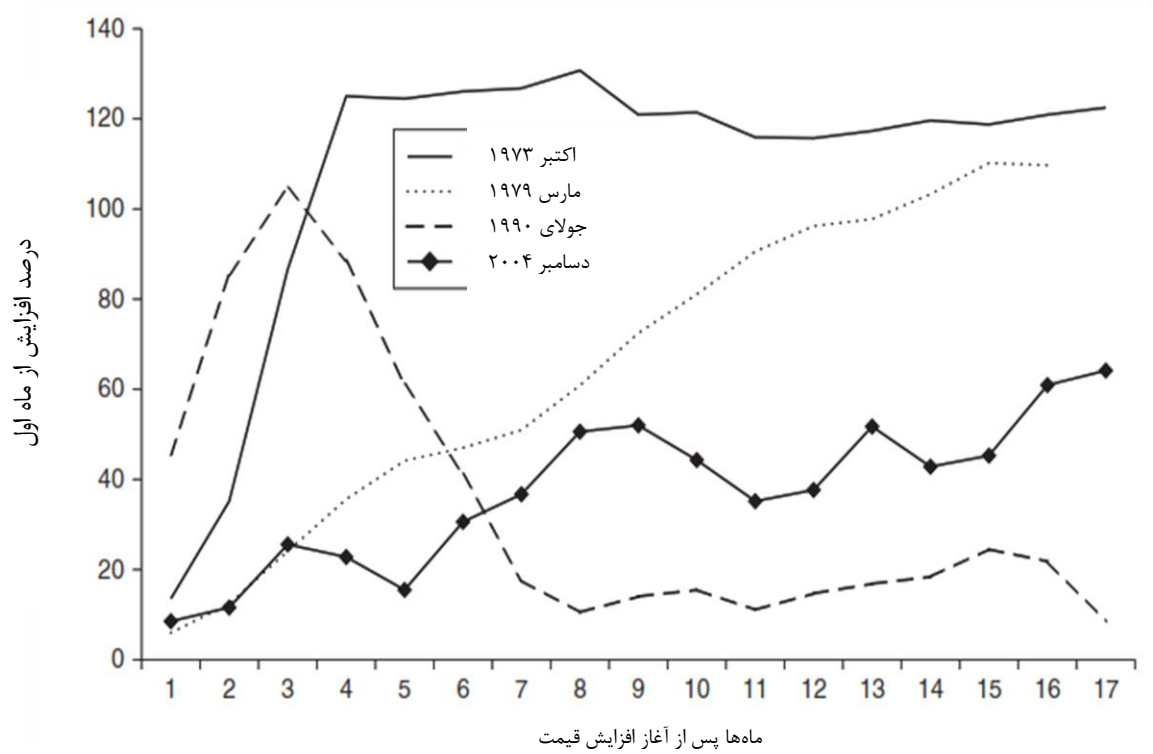
قیمت نفت و وضعیت‌های اقتصادیِ پیشین

هانتینگتون (۲۰۰۵) بر دو اختلاف مهم بین افزایش اخیر قیمت نفت و تجربیاتِ دهه ۷۰ میلادی تأکید می‌کند. علاوه بر این، افزایش قیمت در اقتصادهایی رخ داده است که نسبتاً عاری از فشارهای تورمی بوده‌اند. هر دو توسعه باعث شده است که اقتصاد به قیمت‌های نفت نسبتاً مصون شود.

شکل ١٦,٦ روند قیمت نفت را طی دوره‌های بحرانی در سه دهه گذشته نشان می‌دهد. در هر مورد، این خط، قیمت نفت را نسبت به سطحِ آن در آغاز دوره برای کل ۱۷ ماه بعد نشان می‌دهد. بنابراین، شوک قیمتیِ نفت در اکتبر ۱۹۷۳، پس از یک ماه ۱۵٪ بالاتر بود اما پس از ماه سوم از ۱۲۰٪ بیشتر بود. همچنین خط ۱۹۹۰ یک شوک را نشان می‌دهد، در حالی که روندِ ۱۹۷۹ به سرعت در حال بالا رفتن است اما نسبت به شوک‌های ۱۹۷۳ و ۱۹۹۱ تمایل به افزایش تدریجی دارد. برخلاف این حالت، تجربه‌ای که در پایان ۲۰۰٤ آغاز شد بازنمودی از افزایشِ تدریجی قیمت بود. البته افزایش به اندازه‌ای بود که رانندگان را در پمپ‌بنزین‌ها خشمگین کرد اما با شوک‌های قیمتیِ ۱۹۷۳ و ۱۹۹۰ تفاوت بسیاری داشت.

جدول ١٦,٢ به چهار سناریو اشاره می‌کند که اثراتِ مختلفِ منتسب به نوعِ افزایش قیمت نفت و شرایطِ بنیادیِ اقتصاد کلان را پیش از تغییر قیمت نفت نشان می‌دهد. وضعیت‌های «قیمت بالاترِ نفت» در ردیف بالا سمت چپ نشان دهنده وضعیتی است که امروزه شاهد آن هستیم یعنی وقتی وضعیتِ بازار در حال سوق دادنِ قیمت‌ها به سمت حالتی پایدار و رو به بالا یا روندِ افزایشی است تا عدم توازنِ عرضه و تقاضا را بازیابی کند. چون قیمت نفت ذاتاً ناپایدار است، مسیرِ افزایش‌یافته هموار نخواهد بود بلکه از هرگونه رویدادِ غافلگیرکننده پرهیز می‌کند. از لحاظ بنیادی، این وضعیت‌ها متفاوت از مواردی هستند که در ردیف دوم برای وضعیت‌های «شوک قیمت نفت» ارائه شدند که در آنجا تغییراتِ ناگهانی در عرضه و تقاضا باعث القای افزایش سریع قیمت می‌شود و هراس و نگرانیِ مردم و بنگاه‌های تجاری را در پی دارد و عدم قطعیت گسترده‌ای ایجاد می‌کند که بنگاه‌های تجاری و خانوارها انجامِ سرمایه‌گذاری‌های اصلی خود را به تأخیر می‌اندازند. این نوع رویدادهای قیمتی بیش از ناپایداری‌های اخیرِ قیمتی، بازنمودی از وضعیتِ دهه ۷۰ میلادی به حساب می‌آید. گرچه بسیاری از اقتصاددانانِ انرژی این دو وضعیت را یکسان در نظر می‌گیرند، اما بایستی آنها را رویدادهایی متمایز دانست.این دو رویدادِ قیمتی می‌توانند در زمانی رخ دهند که وضعیتِ اقتصادی مانعِ اعمال یا موافقِ اعمالِ

سیاستِ پولیِ کارآمدی به صورت عاملِ خنثی‌سازِ تحول باشد. طی دهه ۷۰ میلادی، سیاستگذاران با نرخ بهره و پیش‌بینیِ تورمی بالا مواجه بودند. بسیاری از اقتصاددانانِ حرفه‌ایِ آن زمان به توانایی بانک مرکزی در مداخله موفق و خنثی‌سازیِ کاهشِ خروجی، بدون شتاب‌بخشی به تورم، نگاه بدبینانه‌ای داشتند. از آن زمان تاکنون نرخ تورم خنثی شده است و نرخ بهره نسبتاً پایین بوده است. بسیاری از اقتصاددانان با توجه به قاعده سیاسی که سیاستِ پولی را متناسب با رشدِ خروجی و نرخ تورمِ مورد انتظار تنظیم می‌کند –قانون تیلور– درباره آنچه می‌توانند به دست آورند مطمئن‌تر هستند.



شکل ۱۶,۶ روند قیمت نفت در چهار افزایش متفاوت قیمت

جدول ۱۶,۲ شرایط اقتصادی پیشینی و قیمت نفت

		پیش‌بینیِ تورمی و نرخ بهره پایین پیش از تغییر قیمت نفت	پیش‌بینیِ تورمی و نرخ بهره بالا پیش از تغییر قیمت نفت
		می‌توان از سیاست‌های پولی استفاده کرد	نمی‌توان از سیاست‌های پولی استفاده کرد
قیمت بالاتر نفت	حرکت قیمت نفت ثبات بیشتری رو به بالا دارد، اما طی ماه‌های بعدی سریع نیست.	اصلاح سیاست	؟
شوک قیمتی نفت	حرکتِ رو به بالای قیمت نفت طی ماه‌های آتی سریع‌تر است.	؟	رکود احتمالی

منبع: هانتینگتون (۲۰۰۵).

این اعتماد به نفس ممکن است به چندین دلیل گمراه کننده باشد. اول اینکه نهادهای پولی در سراسر دنیا در مورد کنترلِ نرخ تورم و پیش‌بینی‌ها/ انتظارات بسیار نگران هستند. اشتباهی کوچک در مدیریتِ منابع پولیِ یک ملت می‌تواند باعث بدتر شدنِ سریعِ وضعیت شود. دوم اینکه دنیا درباره مسئله تروریسم، دیکتاتورهای در حال جنگ و جنگ در مناطقِ اصلیِ تولیدکننده نفت، بسیار محتاط رفتار می‌کند. تلاطم‌های کوچک در بازارِ بسیار جمع‌وجورِ نفت می‌تواند عاملی برای تسریعِ شوک‌های قیمتیِ نفت شود. اگر انتظاراتِ تورمی دقیقاً پیش از شوک قیمت نفتی بدتر می‌شد دنیا با مجموعه مشکلاتِ بسیار متفاوتی مواجه بود.

کادر واقع در گوشه پایین سمت راستِ این جدول خلاصه‌ای از وضعیت‌های «طوفانِ کامل»[1] را نشان می‌دهد که در آن نقاط، شوک قیمتی برای بنگاه‌های تجاریِ اقتصاد سریع، غیرمنتظره و بسیار هراس‌انگیز است و وضعیتِ اقتصاد کلان مانع آن می‌شود که بانکِ مرکزی، اقدامی متقابل برای خنثی‌سازیِ آن انجام دهد. همانند شکست مفتضحانه پروژه بازسازیِ برق کالیفرنیا که طوفانِ کاملِ دیگری به حساب می‌آید، اقتصاددانان می‌دانستند که کالیفرنیا مدیریت ضعیفی در پروژه بازسازیِ شبکه‌های برق‌رسانی دارد اما نمی‌توانستند سیاستگذاران را قانع کنند که پیش از وقوعِ فاجعه، تغییرات لازم را اعمال نمایند.

وضعیت‌های کاملاً متضاد با این موارد را در کادر چپ بالا مشاهده می‌کنید که برچسبِ «اصلاح سیاست» روی آن دیده می‌شود. در پایان سال ۲۰۰۷، قیمت نفت با سرعتِ یکنواختی بالاتر می‌رود اما بنگاه‌های تجاری و خانوارها متوجه این روند هستند. آنها می‌دانند که خرید مقدار کمی سرمایه ثابت به منظور حفاظت از خودشان در برابر قیمت‌های بالاتر، در آینده می‌تواند در سازگاری با وضعیت‌های جدید به آنها کمک کند. در

[1] perfect storm

نتیجه بانک مرکزی نیازی به انجامِ تعدیلاتِ عمده در سیاست‌های پولیِ خود ندارد تا مسیرِ اقتصاد را از بیراهه رفتن حفظ کند. همچنین وقتی قواعدشان را با شرایطِ موجود وفق دهند، اوضاع اقتصادی برای موفقیت آنها مهیا است.

مشخصه‌یابیِ دو کادر دیگر کمی دشوارتر است. اقتصادی که انتظاراتِ تورمیِ پایینی دارد می‌تواند از شوک‌های غیرمنتظره نجات یابد و اقتصادی که انتظاراتِ تورمیِ بالایی دارد نیز می‌تواند قیمت‌های نفتی را که به تدریج بالاتر می‌روند جذب کند. بدون وجودِ تجربیاتِ بیشتر، امکانِ بسط و تعمیم این گزینه‌های جایگزین وجود ندارد.

افزایش ناگهانی و تدریجی قیمت

افزایش ناگهانیِ قیمت باعث وحشت مردم می‌شود و عدم قطعیت گسترده‌ای در رابطه با تصمیم‌گیری در مورد تکنیک‌های مناسبِ تولید، خرید تجهیزات جدید یا کالاهای بادوامِ مصرفی نظیر خودرو و همچنین چانه‌زنی درباره قیمت‌ها و دستمزدها به وجود می‌آورد. در حالی که بنگاه‌های تجاری و خانوارها خود را با شرایط جدید وفق می‌دهند برخی از کارخانجات و تجهیزات بیکار می‌مانند و برخی از کارگران به طور موقت بیکار می‌شوند. برخلاف افزایش تدریجیِ قیمت نفت، ممکن است اقتصاد دیگر نتواند همراستا با جبهه بلندمدتِ تولید و امکاناتِ خود حرکت کند.

یکی از ویژگی‌های مهم شوک قیمتی این است که تغییر قیمت بایستی نسبت به تغییرات اخیر قیمت، بزرگ باشد. شوک قیمتی طی بحرانِ کانال سوئز و دهه ۷۰ میلادی بلافاصله با قیمت‌های بسیار پایدارِ نفتی همراه شد که بین ماه‌های مختلف نه افزایش و نه کاهش می‌یافت. پس از سقوط قیمت نفت در ۱۹۸٦، ناپایداریِ قیمت نفت نمایان‌تر شد. با افزایش ناپایداریِ قیمت، بازاریان انتظارِ نوسان قیمت‌ها را خواهند داشت و به تدریج از طریق بازارهای آتیِ نفت، به ریسکِ قیمتیِ خود تنوع می‌دهند. به رغم آنکه اقتصاد تحت تأثیرِ فشارهای مستمرِ ناشی از افزایش قیمت نفت طی سال‌های اخیر بوده است طی دو دهه گذشته تقریباً هیچ شوک قیمتیِ غافلگیرکننده‌ای را شاهد نبود البته به استثنای رویدادهایی که به اولین جنگ خلیج فارس در ۱۹۹۰ منجر شد.

برآورد اثرات اقتصادی

اقتصاددانانِ کلان برآورد کرده‌اند که ۱۰٪ افزایش در قیمت نفت خام باعث می‌شود که پس از ٦ سه‌ماهه، سطح GDP از ۰,۲٪ تا ۰,۵٪ کمتر شود [٦]. با این حال، این بازه نشان دهنده استفاده از دو روشِ بسیار متفاوت است. در انتهای پایین، برآوردهایی را می‌بینیم که از مدل‌های اقتصاد کلان حاصل شده‌اند و بین قیمت‌های بالای کنونی نفت و رویدادهایی طی آن که عرضه نفت به طور آشکارا دچار وقفه و تحول می‌شود

تمایز قائل نمی‌شوند. در انتهای بالا، برآوردهای حاصل از مطالعاتِ اقتصادسنجیِ پژوهشیِ کوچکتر را می‌بینیم که علناً بر شوک‌های نفتی متمرکز هستند.

مزیتِ مدلِ بزرگ اقتصاد کلان این است که نسبت به مطالعاتِ پژوهشیِ کوچکتر، در اینجا می‌توان وضعیت‌ها و سیاست‌های جدید را به طور جامع‌تری نمایش داد. با این حال، دانستنِ جزئیاتِ بیشتر نیازمندِ چندین فرضیه مهم برای کنترل این عوامل است که احتمالاً اختلاف نظراتِ اساسی در این بین وجود داشته باشد. علاوه بر این، برآورد اثرات پایین‌ترِ اقتصادیِ آنها می‌تواند نشان دهنده این فرض باشد که واکنشِ اقتصادی به شوک‌های قیمتی نفت با واکنش به افزایشِ تدریجیِ قیمت نفت و نیز کاهشِ تدریجیِ آن هیچ تفاوتی ندارد.

در چندین مطالعه تجربی از تحلیل‌های سری زمانیِ تقلیل‌یافته استفاده کرده‌اند که رشد اقتصادی و تغییر در قیمت نفت را به یکدیگر پیوند می‌دهند، گرچه گاهی اوقات این مطالعات شامل چندین متغیر دیگر نیز بودند. این مطالعات تجربی نشان می‌دهد که شوک قیمت نفت باید به طور مجزا از دیگر تغییرات قیمت نفت در نظر گرفته شود. شتاب تدریجیِ افزایش قیمت نفت بیشتر می‌شود و اُفت قیمت نیز با شکست مواجه می‌شود تا شاهد تغییر در خروجیِ انباشته واقعی -GDP- باشیم. نگرانی اصلی درباره این مطالعاتِ آماری این است که احتمالاً در کنترلِ متغیرهای کلیدیِ اقتصاد کلان و روابطی که بر نحوه واکنش اقتصاد به تغییرات قیمت نفت اثر می‌گذارد شکست بخورند.

پس از مرور چندین برآوردِ متفاوت از اثراتِ اقتصادی، هانتینگتون (۲۰۰۵) به این نتیجه رسید که برآوردهای اخیر از مدل‌های بزرگ اقتصاد کلان، زمانی مناسب هستند که ترس از تورم در سطح پایینی قرار داشته باشد و نهادهای پولی و مالی اطمینانِ بیشتری به این موضوع داشته باشند که قادرند در مقابل شوک‌های قیمتیِ نفت دوام بیاورند. معمولاً این چارچوب‌ها شرایطی شبیه به روندهای اقتصادیِ امروزی را شبیه‌سازی می‌کنند و غالباً فرض بر آن است که نهادهای پولی بخش عمده‌ای از زیانِ خروجیِ ناشی از تحولات را خنثی خواهند ساخت. پس از ٦ سه‌ماهه، در شرایطِ دو برابر شدنِ سریعِ قیمت نفت خام، سطح GDP واقعی تقریباً ۲٪ کمتر خواهد بود.

استنباط هانتینگتون (۲۰۰۵) درباره شرایطی که قرار است انتظاراتِ تورمی در آینده بیش از اندازه بالاتر برود این است که برآوردهای حاصل از رویکردِ آماری با فرم تقلیل‌یافته/ تعدیل شده ممکن است کاربردپذیرتر باشد چون این برآوردها در بردارنده واکنش‌ها طی دوره‌ای با انتظاراتِ تورمیِ بالاتر هستند. در این شرایط و با دو برابر شدنِ قیمت نفت خام، سطح GDP واقعی تقریباً ۵٪ کمتر خواهد بود. اگر ٤۰٪ احتمال وجود داشته باشد که اقتصاد بتواند به شرایطی با انتظاراتِ تورمی بالا برگردد، زیان GDP مورد انتظار پس از ٦ سه‌ماهه، در بین

هر دو وضعیتِ با انتظاراتِ تورمی بالا و پایین، ۳٫۲٪ خواهد بود (= ۰٫٤*۵ درصد + ۰٫٦*۲ درصد) که ناشی از تحولِ مضاعف‌کننده قیمت نفت خام است.

٦ خلاصه

طی چند دهه آینده بسیاری از کشورها با چالشِ دوسویه انرژی مواجه‌اند. اگر اتکای کشورها به زغال‌سنگ و دیگر سوخت‌های فسیلی برای رفع نیازهای انرژی و اقتصادی در آینده همچنان ادامه یابد مسئله «زغال‌سنگ» به تهدیدِ دریافتی ناشی از تغییرات اقلیمی جهانی مربوط خواهد بود. مسئله «نفت» ناشی از اتکای ما بر منابع نفتِ خام به عنوان منبع اصلیِ سوخت خودروها و وسایل نقلیه است. این وابستگی در دورانی مشاهده می‌شود که احتمالاً ذخایر نفتی بیش از گذشته آسیب‌پذیر شده‌اند. اگر قرار است راهبردهای منسجمی طراحی شود، سیاستِ مورد نظر باید بین هر دو نگرانی تعادل برقرار کند.

پس از شناساییِ عوامل بیرونیِ ممکن، در این فصل به طور گزینشی سه مسئله اقتصادی را بررسی کردیم که در مرکزِ بحثِ مربوط به مسئله امنیتِ نفتی قرار می‌گیرند. هزینه اضافیِ وارداتِ نفت ارزشِ مداخله در بازار نفت را با این هدف اندازه‌گیری می‌کند که از آسیب‌پذیری اقتصاد در مقابل کشورهای صادرکننده نفت و تحولاتِ ناگهانی قیمت نفت کاسته شود. دانستنِ هزینه اضافی، هیچ چیزی درباره سیاستِ مناسبِ کاهشِ وابستگی به نفت به ما نمی‌گوید. برآوردهای اخیر در آمریکا حاکی از آن است که هزینه اضافیِ انحصارِ خرید – که رایج‌ترین معیارِ مورد استفاده است– در بازه‌ای بین ۳ دلار تا ۱۸ دلار به ازای هر بشکه قرار می‌گیرد و برآوردِ میانه نیز تقریباً ۹ دلار به ازای هر بشکه است. اگر قرار است قیمت نفت همچنان طی پنج سال آینده افزایش یابد، این برآوردها بایستی کم و بیش با همان تناسب، افزایش یابد.

دومین مسئله در این فصل به ریسکِ تحولاتِ بعدی در عرضه نفت مربوط می‌شد. یکی از اختلافاتِ اصلی طی ۱۰ سال گذشته، گسترشِ ریسکِ به فراتر از منطقه خلیج فارس بوده است. یکی از مطالعات EMF درباره تحولات نفتیِ صورت گرفته در ۱۹۹٦ بر دولت‌های عربستان و همسایگانِ خلیج فارس متمرکز بود اما گستره پوششِ برآوردهای اخیر به روسیه و دولت‌های همسایه دریای خزر و نیز مجموعه‌ای از کشورهای واقع در بالا و پایینِ مرز اقیانوس اطلس نیز رسیده است (عمدتا نیجریه، آنگولا، ونزوئلا و مکزیک). هر کدام از این کشورها به طور بالقوه در معرضِ معضلاتِ سیاسی قرار دارند که ممکن است به آسیب‌پذیر شدنِ عرضه نفتی‌شان منجر شود. نتایج یکی از ارزشیابی‌های صورت گرفته توسط کارشناسانِ خاورمیانه و ژئوپلیتیک در ۲۰۰٦ این بود که ۸۰٪ احتمال دارد تحولاتِ نفتیِ قابل توجهی طی ۱۰ سال آینده رخ دهد.

سومین و آخرین مسئله به آسیب‌پذیریِ اقتصاد در مواجهه با تحول نفتی مربوط می‌شد. اگر می‌توانستیم اقتصادِ عاری از تورم امروز را به آینده منتقل کنیم، برای حل و فصل معضلِ خاورمیانه یا تبعیت از رهبرانِ

کشورهای نفت‌خیز چندان عجله نداشتیم، گرچه تحول نفتی می‌تواند همچنان زیان‌بار باشد. اگر کشورها به دنبال مقابله با اثراتِ تحولاتِ آینده باشند باید سیاست‌های انرژی‌شان بیشتر بر کاهش مصرف نفت متمرکز باشد تا اعمال محدودیت علیه واردات نفتی.

یادداشت‌ها:

* نگارنده از همکاریِ فیلیپ بیکیو در انجام تحلیل ریسک و پاول لایبی برای ارائه نظراتی جامع در مورد مطالعاتِ انجمن مدل‌سازیِ انرژی (EMF) کمال تشکر را دارد. علاوه بر این از جانبِ اعضای کارگاه EMF، درباره تحلیل تحولات ریسک نفتی و اثر اقتصاد کلانِ شوک قیمت انرژی و نیز از جانبِ سمینارهای مدیریت اطلاعات انرژی آمریکا، دانشگاه استنفورد و دانشگاه کالیفرنیای جنوبی نظرات مفید فراوانی به دست ما رسید. دیدگاه‌های بیان شده متعلق به نگارنده است.

۱. واردکننده بزرگ نفت می‌تواند قیمتِ تعیین‌شده از سوی صادرکننده نفت را کاهش دهد که پیوسته به دنبال به حداکثر رساندنِ سود خالص است. معامله به مثل با صادرکننده نفت نیازمند آن است که کارتلِ نفتی از جایگاهِ بیشینه‌سازِ ثروتِ خود دوری جوید.

۲. ممکن است این فعالیت‌ها باعث کاهش یا پرهزینه‌تر شدنِ دیگر کالاهای عمومی شود که کشورهای واردکننده نفت تأمین می‌کنند برای مثال فعالیت‌هایی نظیر مذاکراتِ بین‌المللی در مناطق حساسِ سیاسی که تولید نفت افسارِ اقتصادشان را در دست گرفته است. در این وضعیت‌ها، ممکن است از سلاح نفت برای خنثی کردن اقداماتِ بیگانه کشورهای واردکننده نفت استفاده شود. در هیچ‌کدام از برآوردهای هزینه‌های اضافی به چنین هزینه‌ای توجه نمی‌شود.

۳. برای مثال به برآورد هزینه اضافی مراجعه کنید که انجمن مدل‌سازی انرژی (۱۹۸۲) انجام داده است.

٤. تحت فرضیاتِ اصولی، این احتمالِ ۱۰ساله -۸۰٪- به احتمالِ سالانه تقریبیِ ۱۵٪ تبدیل می‌شود. احتمالِ دوم برابر با رابطه رو به رو است: $(۰/۸۰ -۱)^{(۱/۱۰)}-۱$.

۵. استثنائاتِ کم در MMBD۸.

منابع

Adelman, M.A. (1980), 'The clumsy cartel', *The Energy Journal*, 1 (1), 43–53.

Aldy, Joseph E. (2007), 'The economic impacts of publicly-held emergency oil stocks', presentation at the International Energy Workshop, Stanford University, Stanford, CA, June 25.

Beccue, Phillip and Hillard G. Huntington (2005), *Oil Disruption Risk Assessment*, Energy Modeling Forum Special Report 8, Stanford University, Stanford, CA, August.

Bhagwati, Jagdish N. and T.N. Srinivasan (1976), 'Optimal trade policy and compensation under endogenous uncertainty: the phenomenon of market disruption', *Journal of International Economics*, 6, 317–36.

Blanchard, Olivier J. and Jordi Gali (2007), 'The macroeconomic effects of oil shocks: why are the 2000s so different from the 1970s?', NBER Working Paper No. 13368, National Bureau of Economic Research, September.

Bohi, Douglas R. and Michael A. Toman (1993), 'Energy security: externalities and policies', *Energy Policy*, 21 (11), 1093–109.

Bohi, Douglas R. and Michael A. Toman (1996), *The Economics of Energy Security*, Norwell, MA: Kluwer Academic.

Bresnahan, Timothy (1989), 'Empirical methods for industries with market power', in Richard Schmalensee and Robert Willig (eds), *Handbook of Industrial Organization*, Vol. II, Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., ch. 17.

Brown, Stephen P.A. and Mine K. Yucel (2002), 'Energy prices and aggregate economic activity: an interpretative survey', *Quarterly Review of Economics and Finance*, 42, 193–208.

Brown, Stephen P.A., Mine K. Yucel and John Thompson (2004), 'Business cycles: the role of energy prices', in Cutler J. Cleveland (ed.), *Encyclopedia of Energy*, Amsterdam: Academic Press, Elsevier.

Clemen, R.T. (1996), *Making Hard Decisions: An Introduction to Decision Analysis*, 2nd edn, Belmont, CA: Duxbury Press.

Dargay, Joyce M., Dermot Gately and Hillard Huntington (2007), 'Price and income responsiveness of world oil demand, by product', Energy Modeling Forum Occasional Paper EMF OP 61, Stanford University, Stanford, CA, August.

Energy Modeling Forum (1982), *World Oil*, EMF Report 6, Stanford University, Stanford, CA.

Folkerts-Landau, Elena (1984), 'The social cost of imported oil', *The Energy Journal*, 5 (3), 41–58.

Gately, Dermot (2007), 'What oil export levels should we expect from OPEC?', *The Energy Journal*, 28 (2), 151–73.

Gertler, Mark, Jordi Gali and David Lopes-Salido (2007), 'Markups, gaps and the welfare costs of business cycles', *Review of Economics and Statistics*, 89 (1), February, 44–59.
Goodwin, P., J. Dargay and M. Hanly (2004), 'Elasticities of road traffic and fuel consumption with respect to price and income: a review', *Transport Reviews*, 24 (3), 275–92.
Graham, D. and S. Glaister (2004), 'Road traffic demand elasticity estimates: a review', *Transport Reviews*, 24 (3), 261–74.
Huntington, Hillard (2003), 'Energy disruptions, interfirm price effects and the aggregate economy', *Energy Economics*, 25 (2), 119–36.
Huntington, Hillard G. (2005), 'Macroeconomic Consequences of Higher Oil Prices', Energy Modeling Forum Special Report 9, Stanford University, Stanford, CA, August.
Huntington, Hillard G. (2007), 'Oil shocks and real U.S. income', *The Energy Journal*, 28 (4), 31–46.
Huntington, H., J. Weyant, A. Kann and P. Beccue (1997), 'Quantifying Oil Disruption Risks Through Expert Judgment', Energy Modeling Forum Special Report 7, Stanford University, Stanford, CA, April.
Jimenez-Rodriguez, Rebecca and Marcelo Sanchez (2005), 'Oil price shocks and real GDP growth: empirical evidence for some OECD countries', *Applied Economics*, 37 (2), 201–28.
Jones, Donald W., Paul N. Leiby and Inja K. Paik (2004), 'Oil price shocks and the macroeconomy: what has been learned since 1996', *The Energy Journal*, 25 (2), 1–32.
Leiby, Paul N. (2007), *Estimating the Energy Security Benefits of Reduced U.S. Oil Imports*, Oak Ridge National Laboratory ORNL/TM-2007/028, Oak Ridge, TN, Revised July.
Leiby, P. and D. Bowman (2003), 'Oil Market Disruption Risk Assessment: Alternatives and Suggested Approach', Oak Ridge National Laboratory internal report, Oak Ridge, TN.
Leiby, Paul N., Donald W. Jones, T. Randall Curlee and Russell Lee (1997), *Oil Imports: An Assessment of Benefits and Costs*, ORNL-6851, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, November.
Mayer, Wolfgang (1977), 'The National Defense Tariff argument reconsidered', *Journal of International Economics*, 7, 363–77.
Nordhaus, William (2007), 'Who's afraid of a big bad oil shock?', Prepared for the Brookings Panel on Economic Activity, Washington, DC, Fall 2007.
Romer, David (1996), *Advanced Macroeconomics*, New York: McGraw-Hill.

Srinivasan, T.N. (1987), 'The National Defense argument for government intervention in foreign trade', in Robert M. Stern (ed.), *U.S. Trade Policies in a Changing World Economy*, Cambridge, MA: MIT Press, pp. 337–63.
Syncopation Software (2003), *DPL 6.0 Professional Getting Started Guide*, Syncopation Software, Inc,. Concord, MA.
Tolley, George S. and John D. Willman (1977), 'The foreign dependence question', *Journal of Political Economy*, 85, 323–47.
Toman, Michael A. (1993), 'The economics of energy security: theory, evidence, policy', in A.V. Kneese and J.L. Sweeney (eds), *Handbook of Natural Resource and Energy Economics*, vol. III, ch. 25, New York: Elsevier Science Publishers B.V.

۱۷ مالیات بر نفت خام

کارول ناکلی[1]

هنر وضع مالیات خیلی شبیه پَر کندن از غاز است تا با دیدنِ کمترین پرخاش به بیشترین میزانِ پَر برسیم.
(ژان-باپتیست کولبرت،[2] وزیر امور مالیاتی فرانسه در دوران لوئی چهاردهم، کراسون، ۲۰۰٤، صفحه ۱۲)

۱ پیش‌زمینه: پر کندن از صنعت نفت

وضع مالیات بر نفت خام از جمله ابزارهای اشتراک‌گذاری ثروتِ هیدروکربن‌ها بین دولت‌های میزبان و شرکت‌های بین‌المللی نفت است. مفهوم اخذ مالیات از شرکت‌های نفتی ساده است اما جزئیاتِ آن پیچیده است و هنر به حساب می‌آید چون نیازمندِ قضاوت درست است.

در مقایسه با وضع مالیات بر دیگر بخش‌ها و صنایع، وضع مالیات بر نفت خام ویژگی‌های خاصی دارد که برخاسته از خصیصه‌های ویژه صنعت نفت، سهمِ اصلیِ صنعت نفت و گاز در تمامی اقتصادهای پیشرفته، ناپایداریِ قیمت نفت، هزینه‌های کاری و توسعه‌ای هنگفت، عدم قطعیت بالای مرتبط با زمین‌شناسی و اکتشاف نفت خام، خصوصیاتِ خاصِ بسترهای نفتیِ منفرد و امکانِ بازسرمایه‌گذاری است. هزینه پروژه‌های نفتِ خام با گذشت زمان افزایش می‌یابد و تأخیر زمانی بین اکتشاف ذخایر نفت یا گاز تا زمان اولین تولید می‌تواند قابل ملاحظه باشد. این کار موجب افزایش چالشِ طراحی و پیاده‌سازیِ نظامِ مالیات بر نفت متناسب با شرایط با هدف دستیابی به توازن بین منافع دولت و صنعت می‌شود.

وضع مالیات بر نفت خام دو هدف بنیادی دارد؛ تضمینِ وجودِ سهمی منصفانه از ثروتِ حاصل از استخراج منابع نفتی و در عین حال تأمین طرح‌های تشویقیِ کافی برای ترویجِ سرمایه‌گذاری و بازیافتِ اقتصادیِ بهینهِ منابع هیدروکربنی. این دو هدف با یکدیگر در رقابت‌اند. این موارد مکمل یکدیگر نیستند. همچنین دشواریِ دیگری به سبب نوعِ تعریفِ «سهم منصفانه» به وجود می‌آید؛ ممکن است سهمِ منصفانه در قیمتِ ۳۰ دلار به ازای هر بشکه نسبت به ٦۰ دلار به ازای هر بشکه غیرمنصفانه به نظر برسد. چون هیچ معیار و ملاکی برای اشتراک‌گذاریِ ثروتِ اقتصادی بین گروه‌های مختلفِ دخیل در فعالیت‌های نفتی وجود ندارد پس همواره بین سرمایه‌گذار و دولتِ میزبان بحث و جدل خواهیم داشت. در عین حال باید رابطه‌ای جایگزین (بده‌بستان) پیدا

[1]Carole Nakhle

[2]Jean-Baptiste Colbert

کنیم چون در پایان، دولت و شرکت‌های نفتی به دنبال به حداکثر رساندنِ سود خود هستند. در صورتی که نرخ مالیاتی بیش از حد پایین وضع شود ممکن است سهم کوچک یا غیرمنصفانه‌ای برای دولت یا ملت یا مالک منابع را در پی داشته باشد. بعید است که چنین وضعیتی تحت فشارهای سیاسی دوام بیاورد اما اگر نرخ مالیات بیش از حد بالا باشد ممکن است سرمایه‌گذاری در پروژه‌های جدید و همچنین برای حفظ سرمایه‌گذاری ثابتِ لازم برای به حداکثر رساندنِ ارزش‌افزوده عملیات‌های کنونی، در آینده به شدت کاهش یابد.

افرادی که سرمایه‌گذاری را در نظر می‌گیرند به رقابتِ «حوضه‌ای» توجه دارند که برمبنای حاصل‌خیز بودنِ حوضه اکتشافیِ مورد نظر و احتمالِ یافتنِ نفت یا گاز، ظرفیتِ حجمی و بزرگیِ اکتشافات، ساختار هزینه حوضه (کاوش کلی، هزینه‌های توسعه و کاری به ازای هر میلیارد نفتِ معادل)، دسترسی به زیرساخت‌ها و فرصت‌ها و رژیم/ طرح مالی است –تکامل، پیچیدگی و پایداریِ آن. برای مثال غالباً افزایش در قیمت نفت خام به صورت افزایش در سود شرکت‌های نفتی در نظر گرفته می‌شود اما قیمت نفتیِ بالاتر می‌تواند فعالیتِ بیشتر را ترویج کند و چون دکل‌های حفاری محدودی در سطح جهان وجود دارد وقتی تقاضا برای دکل حفاری افزایش یابد، هزینه به کارگیریِ آنها نیز افزایش خواهد داشت. قیمت سر به فلک کشیده نفت نیز همیشه مانند رگه ثروت نیست که سیاستگذارانِ مالیاتی تصور می‌کنند. با آنکه سایر عوامل خارج از کنترل دولت است، وضع مالیات به راحتی در اختیار دولت است (ناکلی، ۲۰۰۷).

طراحی دوره‌های مالی مختلف و نحوه مقایسه آنها می‌تواند عاملی اساسی در شکل‌دهی به ادراک سیاستگذاران در مورد رقابت‌پذیریِ «حوضه اکتشافیِ» مورد نظر باشد. در سراسر جهان، اهداف تولیدیِ بسیاری از کشورهای دنیا دچار تزلزل شده است و در برخی موارد اُفت داشته است چون طراحیِ قواعدِ مالی‌شان با ویژگی و خصوصیتِ منطقه مورد بحث متناسب نبوده است. انتخابِ درستِ رژیم مالی/ طرح مالی می‌تواند رابطه جایگزینِ بین منافع دولت و شرکت‌های نفتی را بهبود دهد. همچنین سیاستگذاران باید بدانند که کارها و امور مختلف در هر کشوری لزوماً کارساز و مثبت نخواهد بود. طرح مالیِ نفت خام تحت شرایط خاصی اعمال می‌شود و هیچ طرح مالیِ ایدئالی متناسب با تمامی پروژه‌های نفتی در همه کشورها وجود ندارد. به سبب تفاوت‌های معنادار در چشم‌انداز ژئوپلیتیک و محیط اقتصادی بین کشورهای مختلف، بسته مالی که برای یک کشور مناسب است احتمالاً برای کشورِ دیگر نامناسب باشد. در بخش دو این فصل، خصیصه‌های ویژه صنعتِ نفت را بررسی می‌کنیم. در بخش سه، پیش‌زمینه نظری درباره وضع مالیات بر نفت خام را مطالعه خواهیم کرد. در بخش چهار بسته‌های مالی اصلی را تحلیل می‌کنیم که در سراسر دنیا به کار رفته‌اند. در بخش پنج به نکات جمع‌بندی می‌رسیم.

۲ نفت: صنعتی پیچیده

عمر چاه نفت شش مرحله دارد؛ اکتسابِ مجوز، اکتشاف، ارزیابی، توسعه، تولید و رهاسازی.

۱. اکتساب مجوز یا حصول امتیاز انحصاری: جستجو برای نفت زمانی آغاز می‌شود که دولتِ به شرکت‌های نفتی اجازه دهد در بخشی از مناطقِ کشور اکتشاف کنند.

۲. اکتشاف: در این مرحله، تحقیقاتِ زمین‌شناسی انجام می‌شود تا بازده استخراج و حفاری مشخص شود. اگر وضعیت برای تداوم پروژه مطلوب باشد، حفاری چاه صورت می‌گیرد. اگر چاه خشک باشد، هزینه‌های اکتشافِ چاهِ خشک کسر می‌شود، اما اگر نفت پیدا شود، شرکت به مرحله سنجش وارد می‌شود. مرحله اکتشاف ممکن است ده‌ها یا صدها میلیون دلار هزینه در پی داشته باشد. همچنین ریسک بالایی به دنبال دارد. تا قبل از آنکه چاهی حفر شود، وجودِ نفت یا گاز در حدِ تئوری است؛ چاه‌های خشک حتی در مناطقی که مدت‌هاست مشغول تولید هستند و حتی با وجود فناوری‌های نوین امری رایج است. برای آنکه چاه از لحاظ تجاری قابل اطمینان باشد، بایستی آنقدر نفت و گاز تولید کند تا هزینه‌های حفاری و تولید را توجیه نماید.

مراحل ارزیابی، توسعه و تولید پس از اکتشافِ موفق، دنبال خواهند شد.

۳. ارزیابی: اگر مشخص شود که چاه‌های اکتشافی دارای مقادیر کافی از نفت یا گاز باشند، چاه‌های گسترشی[1] حفاری خواهند شد تا اندازه و مقدارِ حوضه نفت‌خیز یا گازخیز مشخص شود. در حفاریِ گسترشی، احتمالِ موفقیت بالاست: شاید شش یا هفت چاهِ موفق به ازای هر ۱۰ چاه حفرشده اما ریسک همچنان وجود دارد: شاید از لحاظِ جذابیتِ تجاری، نفت یا گاز کافی وجود نداشته باشد یا فناوری مورد نیاز برای تولید نفت یا گاز ممکن است بیش از حد گران باشد. پس از گردآوری و تفسیر داده‌ها، درباره توسعه اکتشاف تصمیم‌گیری می‌شود. این تصمیم به عوامل مختلفی بستگی که دار که از جمله می‌توان به برآورد از قیمت آتی نفت در زمانی اشاره کرد که انتظار می‌رود پروژه به جریان بیفتد.

۴. توسعه: اگر حوضه مورد نظر از لحاظ تجاری قابل بهره‌برداری باشد، مرحله بعد توسعه خواهد بود. با توجه به فناوریِ توسعه‌ای که باید به‌مقرون‌ترین شکلِ ممکن در اکتشافِ ذخایرِ حوزه به کار برود، تصمیماتی اتخاذ می‌شود. در بسیاری از کشورها، برنامه توسعه مفصلی باید به دولت ارائه گردد تا پیش از شروعِ ساخت‌وساز و حفاری، تأییدیه‌های لازم دریافت گردد.

۵. تولید: پس از آنکه اولین چاه تولید نفت حفر شد، مرحله تولید شروع می‌شود و پروژه به جریان می‌افتد. فشار طبیعیِ موجود در مخازن نفت را به سمت بالا و دهانه چاه هدایت می‌کند و اجازه

---

[1] development wells

می‌دهد تا نفت به سمت تأسیساتِ تولیدِ واقع در خشکی یا سطح دریا یا ساحلی حرکت کند. فقط زمانی تولید آغاز می‌شود که درآمدهای عملیاتی و هزینه‌های عملیاتی به وجود آید. عموماً هزینه‌هایی را که پیش از مرحله تولید به وجود می‌آیند «هزینه سرمایه‌ای[1]» می‌نامند.

۶. رهایش: آخرین مرحله در چرخه مذکور است که حوضه نفتی دیگر سودآور نیست و باید از مدار خارج شود. انقطاع زمانیِ اقتصادی نقطه‌ای است که در آن سطح تولید به حدی می‌رسید که دیگر توانایی پوشش هزینه‌های عملیاتی را ندارد. هزینه‌های رهاسازی یا از رده خارج کردن همان هزینه‌های مرتبط با رها کردن چاه یا تأسیسات تولید است. ممکن است تا ده‌ها میلیارد دلار نیز برسد. شاید به جرات بتوان گفت که از رده خارج کردن تأسیساتِ تولید نفت و گاز در پایان عمرِ تولیدی‌شان، به ویژه در خشکی، پس از نصب و سرپا کردنِ خودِ تأسیسات، دومین رویدادِ مالیِ مهم در چرخه اکتشاف و تولید است.

تصمیمات در صنعت نفت خام یکی از عوامل اساسیِ بروز عدم قطعیت به حساب می‌آید که در هر مرحله از چرخه عمر پروژه، افق‌های زمانیِ بلندمدت، موارد جایگزینِ متنوع و مسائل ارزشیِ پیچیده طی تصمیم‌گیری رخ می‌دهد. ریسک می‌تواند سیاسی، اکتشافی (احتمال شکست)، فنی (ذخایر و برآورد هزینه)، اقتصادی (قیمت نفت و گاز) یا تجاری باشد (ریسک مالی). پروژه‌های نفت و گاز ذاتاً بلندمدت هستند و بخش عمده‌ای از سرمایه‌گذاری و هزینه‌ها جلوتر انجام می‌شوند. به ویژه، مراحل اکتشاف و ارزیابی ممکن است چندین سال طول بکشند. همچنین تأخیر زمانیِ قابل ملاحظه‌ای در این پروژه‌ها وجود دارد که غالباً چندین سال خواهد بود —از اکتشاف اولیه ذخایر نفت یا گاز تا زمان اولین تولید. همچنین صنعت نفت سرمایه‌محور است. باید سالانه سرمایه‌های هنگفتی صرف اکتشافِ منابع جدید نفتی شود تا جایگزینِ منابع مصرفیِ فعلی گردد اما برخلاف دیگر کسب‌وکارها، پروژه‌های نفتی عمری محدود دارند چون ذخایرشان تمام‌شدنی است. این بدان معناست که شرکت فقط چند سال وقت دارد تا بتواند نرخِ رقابتیِ بازده سرمایه گذاری را محقق کند.

بنابراین، دولت‌ها مجبورند طی تعیینِ ساختارِ رژیمِ مالی/ طرح مالی، پیچیدگیِ ویژه فعالیت‌های نفت و گاز و هزینه‌ها و ریسک‌های مرتبط با این صنعت را به طور کامل به حساب بیاورند. طرح رقابتیِ مالیات بر نفت در سطح بین‌المللی آن است که طبق خصیصه‌های ویژه صنعت نفت ساخته و پرداخته شود.

۳ وظایف اصلی در وضع مالیات بر نفت

[1] capital expenditures

مالیات منبعِ اصلیِ درآمد است که دولت از آنها برای تأمین مالی مخارج عمومی استفاده می‌کند. به ویژه، وضع مالیات بر نفت به طور سنتی برای دولت‌ها درآمدزایی فراوانی به دنبال داشته است. در بریتانیا بیش از ۲۱۵ میلیارد پوند که تقریباً معادل ٤۳۰ میلیارد دلار است –برحسب ارزش پولی ۲۰۰۵– بین سال‌های ۱۹٦۸ و ۲۰۰٦ وارد خزانه ملی شده است و در بخش تأمین مالی بهداشت و درمان، آموزش و دیگر انواع خدمات صرف شدند (نفت و گاز بریتانیا، ۲۰۰۷). مبالغ بسیار بیشتری نیز وارد خزانه اکثر دولت‌های تولیدکننده نفت در خاورمیانه و دیگر کشورهای عمده تولیدکننده نفت نظیر روسیه شده است.

چون منابع طبیعی گه‌گاه از طرف دولت‌ها کنترل و مدیریت می‌شوند، می‌توان وضع مالیات بر نفت را جزء ادعاهای مالک بر ارزشِ خالصِ منبع در نظر گرفت و آن را ارزشِ خالصِ درآمدهای حاصل از فروشِ محصولاتِ بازیابی‌شده در نظر گرفت که کمتر از تمامی هزینه‌های تولید مطرح شده است. حداقل از لحاظ نظری، این مطلب بدان معناست که سود بین سرمایه‌گذار و دولت تقسیم می‌شود.

با تغییر نرخ مالیات، دولت می‌تواند فعالیت‌های اقتصادی را ترویج یا سرکوب کند. می‌توان از وضع مالیات برای تقلیلِ مشکلات خاص اقتصادی نظیر به اصطلاح «بیماری هلندی»[1] استفاده کرد که طی آن، ممکن است صنعتِ نفت خام بر رقابت‌پذیریِ بین‌المللیِ بخشِ غیرنفتی اثر معکوس بگذارد [۱]. می‌توان از وضع مالیات برای تعدیل سرعت اکتشاف و بهره‌برداری از نفت خام و در عین حال، کاهش سرعتِ استخراج منابع استفاده کرد. در دیگر موارد که برای مثال توازن مزمنی از مشکلِ پرداخت‌ها وجود دارد، دولت می‌تواند با استفاده از مالیات به توسعه منابعِ طبیعیِ صادرات‌محور –نظیر آنچه در اواخر دهه ۷۰ در بریتانیا رخ داد– استفاده کند.

همچنین از ابزارهای مالیاتی برای حل و فصل مسائل زیست‌محیطیِ انرژی‌محور استفاده می‌شود. مالیات بر آلودگی یا مالیات «سبز» نظیر مواردی که بر رهاسازی آلاینده‌های CO_2 وضع می‌شود به منظور کاهش آلودگی و دیگر اثراتِ منفی بر محیط زیست طراحی می‌گردند.

اصول وضع مالیات

در نظریه وضع مالیات، به اصول مالیاتی ایدئال اشاره می‌شود. این اصول تشکیل‌دهنده معیارهای اساسی هستند که طبق آنها می‌توان هر مالیاتی را در آغاز ارزیابی کرد. در زیر به مهم‌ترینِ این خصوصیات اشاره می‌کنیم:

۱. *بازده:* اصل بازده به اثرِ مالیات بر تخصیص منابع در اقتصاد اشاره دارد که بر مبنای سلیقه و ترجیح افراد تعیین می‌شود. غالباً، به آن «جایگاه بهینه اجتماعی» نیز می‌گویند. مفهومِ بازده تخصیصی همان

[1] Dutch disease

نکته اصلیِ نظریه اقتصادیِ مالیاتِ بهینه بوده است [۲]. بازده کاهش‌یافته بر خروجی کاهش‌یافته و استاندارد پایین‌ترِ زندگی اشاره دارد که در نتیجه مالیاتِ وضع‌شده، سرمایه‌گذاری‌ها در جایی که بهره‌وری سرمایه، بالاترین میزانِ خود را دارد وارد نمی‌شوند. مالیاتِ کارآمد نه از ظرفیتِ تولیدیِ اقتصاد می‌کاهد نه به واسطه ترجیح دادنِ یک صنعت یا سرمایه‌گذاری بر دیگری، انحرافی در تخصیص منابع در پی خواهد داشت. غالباً، مفهوم بازده با اصل خنثی بودن ترکیب می‌شود (به مورد زیر مراجعه کنید).

۲. *خنثی بودن:* اصل خنثی بودن به این مطلب اشاره دارد که آیا نظامِ مالیاتی در سرمایه‌گذاری و تصمیماتِ عملیاتی به گونه‌ای مداخله می‌کند که باعث می‌شود آنها از حالتِ بهینه اجتماعی منحرف شوند. مالیاتِ غیرخنثی و انحرافی بر فرآیند تصمیم‌گیری اثر می‌گذارد به طوری که افراد نسبت به زمانی که مالیات وجود نداشت، انتخاب‌های سطح پایین‌تری انجام می‌دهند. بدین‌گونه، منابع به طور مؤثر تخصیص نمی‌یابد. در بخش نفت خام، مالیاتِ خنثی باعث توقف بهره‌برداری از حوضه‌های مختلف نمی‌شود یا آنکه رتبه‌بندیِ پروژه‌ها را تغییر نمی‌دهد یا در تصمیم‌گیری‌های مربوط به تولید مداخله نمی‌کند.

۳. *ارزش ویژه*[1]*:* مفهومِ ارزش ویژه افقی[2] بر این مطلب دلالت دارد که مالیات‌دهندگانی که توانایی برابر در پرداخت دارند باید مالیاتی یکسان بپردازند. همچنین اگر قرار است ارزش ویژه افقیِ معینی حاصل شود، بنگاه‌های تجاری که در شرایط اقتصادی یا میادین نفتی با خصوصیات یکسان قرار دارند –از جمله ساختارهای هزینه‌ای مشابه– باید به طور یکسان مالیات بدهند. برخلاف این حالت، ارزش ویژه «عمودی[3]» مستلزم آن است که مالیات‌دهندگانی که توانایی بیشتری در پرداخت دارند بایستی مالیاتِ بیشتری بدهند. همچنین، این مفهوم به رفتار هم‌ارزِ شرکت‌ها یا منابع با خصوصیاتِ متفاوت اشاره دارد. مالیاتِ تصاعدی (افزایشی) بیشتر احتمال دارد که این اصل را برآورده سازد. بنگاه‌های تجاری که از منابع آسیب‌پذیرِ بیشتری بهره‌برداری می‌کنند توانایی بیشتری در پرداخت دارند و بنابراین، بدهی مالیاتی‌شان نیز بزرگتر خواهد بود. به طور مشابه می‌توان بر میادین نفتی با سوددهیِ بالا نسبت به میادینی با سوددهی کمتر مالیات سنگین‌تری وضع کرد. اندازه میدان نفتی لزوماً نشانگرِ سوددهی آن نیست. برخی از میادین بزرگ اگر ساختار هزینه سطح بالاتری داشته باشند ممکن است نسبت به

---

[1] equity

[2] horizontal

[3] vertical

میادین کوچکتر سودآوری کمتری نیز داشته باشند. ارزش ویژه بین نسلی مستلزمِ مالیاتِ منصفانه‌ای است که تضمین کند نسل‌های آینده نیز سهم عادلانه‌ای از منابع خواهند داشت یا آنکه منابع پایان‌یافته برایشان جبران می‌شود. خلقِ صندوق نفت با هدفِ تحققِ ارزش ویژه بین نسلی صورت گرفت، با این حال تعریف «منصفانه» با پیش‌بینی درباره وضعیتِ آینده دشوار است.

۴. *اشتراک‌گذاریِ ریسک:* نگرش سرمایه‌گذار نه تنها به سطح مالیات بلکه به میزان اشتراک‌گذاریِ ریسکِ پروژه از سوی دولت نیز بستگی دارد. شرکت‌ها به ابزارهایی دسترسی دارند که قادرند سطوح خاصی از ریسک را مثلاً، بین سبدی از پروژه‌های جهانی تقسیم کنند اما همچنین در تلاش‌اند تا در جایی که ریسکِ دریافتی بیش از سودِ بالقوه است، مانع بروز این وضعیت‌ها شوند. همچنین موضوعِ ریسک مالی نیز وجود دارد (به مورد زیر مراجعه کنید).

۵. *پایداری:* پایداری یکی از رژیم‌های مالی است که اثرِ مستقیمی بر اعتمادِ سرمایه‌گذاران به سیاست‌های دولت دارد به ویژه در مورد فعالیتِ استخراج نفت که طی آن پروژه‌های بلندمدت عُرف این صنعت به حساب می‌آیند. اگر نظام مالیاتی گه‌گاه به طور غیر قابل پیش‌بینی تغییر کند می‌تواند بر پروژه‌های توسعه‌ای آینده اثری جدی بگذارد. نظامِ مالیاتی که پیوسته در معرض اصلاحاتِ نامناسب قرار دارد می‌تواند ریسک بالقوه را افزایش دهد و از ارزشی که سرمایه‌گذاران برای جریان‌های درآمدی آینده قائل می‌شوند بکاهد. بر همین اساس نظام مالیاتی بایستی نوعی پیش‌بینی‌پذیری داشته باشد تا بتواند دولت را آگاه کند که چه مقدار درآمد کسب خواهد شد و چه زمان این اتفاق می‌افتد. بدین‌گونه، درآمدهای مالیاتی نباید تنها بر عوامل برون‌زا ناپایدار نظیر تغییراتِ کوتاه‌مدت در قیمت نفت خام متکی باشد در غیر این صورت چنین وضعیتی می‌تواند ساختار بودجه را بر هم زند و در نتیجه، اگر مشخص شود که پیش‌بینی‌ها در مورد درآمدزایی بیش از اندازه خوش‌بینانه بوده است، نیاز به افزایش مالیات در جای دیگر در اقتصاد به وجود می‌آید.

۶. *شفافیت و سادگی:* این اصول به مدیریت و رصد نظام مالیاتی مربوط می‌شوند که به آنها «بازده مدیریتی» نیز گفته می‌شود. درک مالیاتِ ایدئال آسان است و مدیریتِ آن هزینه‌بر نیست. بر مأخذ و مبنای مالیاتیِ خوش‌تعریفی وضع شده است که جمع‌آوریِ آن ساده و آسان است. هرچقدر مأخذ و مبنای مالیاتی ساده‌تر باشد، هزینه‌های مدیریتی برای سازمان‌ها و کسب‌وکارهای مالیات‌دهنده کمتر خواهد بود. نظام مالیاتی ساده باعث می‌شود که قضاوت برای مالیات‌دهندگان درباره پیامدهای مالیاتیِ اقدامات‌شان آسان‌تر شود. شفافیت نیز به همان اندازه مهم است. این کار به مالیات‌دهندگان اجازه می‌دهد تا هزینه واقعیِ مراودات را بدانند.

برآورده کردنِ معیارها

همانند اکثر حیطه‌های وضع مالیات، اصلاحاتِ گریزناپذیری وجود دارد تا تمامی اصولِ پایه برای مالیاتی ایدئال برآورده شود.

خنثی بودن و سادگی

چندین مطالعه [۳] مناسب بودنِ خنثی بودن/ بی‌طرفی را در مقام یکی از خصیصه‌های عمده نظام‌های مالیاتی زیر سؤال بردند. یکی از معایب اصلیِ مالیات‌های خنثی/ بی‌طرف مدیریتِ پیچیده‌شان است به ویژه در مورد استخراج نفت خام که شناسایی خصوصیاتِ منفردِ میادین نفتی دشوار است (از جمله اندازه، مکان و کیفیت). به منظور حفظ خنثی بودن، دولت ملزم است تا سطوح مختلف اجاره‌بها و بازده‌های مورد انتظار را ارزیابی کند (به بخش زیر مراجعه کنید) تا ارزش هر میدان را به طور مجزا و مناسب ارزشیابی نماید سپس از مالیاتِ متناسب با هر وضعیت[1] استفاده کند. چنین اقدامی غیرعملی است چون مدیریتِ آن به شدت پیچیده خواهد بود.

خنثی بودن و درآمدزایی

نظام مالیاتیِ خنثی به شرکت‌ها مشوق‌هایی ارائه می‌کند تا از میادینِ حاشیه‌ای -کم سود- بهره‌برداری کنند. با این حال چون میادینِ کم سود اجاره‌بهای منبع را هم تولید نمی‌کنند، برای دولت نیز درآمدزایی ندارند. استدلالِ پژوهشگرانی نظیر مومر (mommer، ۱۹۹۹) این است که تحت طرح مالیاتیِ خنثی، شرکت قادر است از منابع بدون پرداخت هرگونه مالیاتی بهره‌برداری کند.

ارزش ویژه، سادگی و بازده

در اغلب موارد، دولت‌ها تلاش دارند تا از بخشودگی‌ها و معافیت‌های مالیاتی برای کاهش بار مالیاتی بر میادینِ کم سود استفاده کنند و آن را از جمله ابزارهای حفظ ارزش ویژه می‌دانند. با این حال اینگونه بخشودگی‌ها می‌تواند هزینه‌های مدیریتی اضافه در پی داشته باشد، از این‌رو نظامِ مالیاتی پیچیده می‌شود. همچنین این بخشودگی‌ها ممکن است باعث تخصیصِ نامناسب منابع شود، از این‌رو ناکارآمدی به وجود می‌آورد. علاوه بر این، مفهومِ انصاف در واقع غیرعینی است. برخی افراد مالیات بر درآمد را در صورتی منصفانه می‌دانند که بازنمودی از درصد بالاترِ درآمدِ مالیات‌دهنده‌ای با درآمد بالا نسبت به مالیات‌دهنده‌ای با درآمد پایین باشد (یعنی نظامِ تصاعدی). دیگران مالیات بر درآمد را در صورتی منصفانه می‌دانند که همه افراد نرخی یکسان پرداخت کنند.

پایداری و ریسک مالی

---

[1] differentiated tax

پایداریِ رژیم‌ها و طرح‌های مالیاتی مطلوب است اما در واقعیت نمی‌توان به طور کامل به چنین حالتی دست یافت. اگر قرار است به وضعیت‌های متفاوت واکنش نشان دهیم و در نتیجه تغییرات عمده ساختاری در محیطِ برون سازمانی تکامل پیدا کنیم –مثل تکامل تولید، قیمت نفت و گاز، ساختار هزینه، رقابت‌پذیریِ حوضه و میدانِ نفت و گاز– بایستی میزان خاصی از انعطاف‌پذیری را مجاز بدانیم اما تمامی این موارد می‌توانند حس ریسکِ مرتبط با هر نوع پروژه یا سرمایه‌گذاری خاص را افزایش دهد. ممکن است طرحی که در ابتدا گزینه مناسب و سودده سرمایه‌گذاری با نرخ جذابِ بازده به نظر می‌رسد، به سبب تغییراتِ غیرمنتظره در نوع مالیات که از نگاه دولت کاملاً منطقی جلوه می‌کند به گزینه‌ای زننده و نامطلوب تبدیل شود.

اشتراک‌گذاری ریسک

اشتراک‌گذاری ریسک بین دولت و سرمایه‌گذار ممکن است در صورتی‌که شرکت‌ها سبدی از فعالیت‌ها دارند و قادرند به انواع خاصی از ریسک تنوع ببخشند، چندان ضروری به نظر نرسد.

اهداف و منافعِ رقابتِ دولت و سرمایه‌گذارِ خصوصی بر این مطلب دلالت دارد که طی طراحی و پیاده‌سازیِ نظام مالیاتیِ عملی، مصالحه و انعطاف لازم است. در کل، مالیات بر مبنای اجاره‌بهای اقتصادی می‌تواند نوعی از مالیاتِ ایدئال باشد [٤]. با این حال مصالحه بدان معناست که ابزارهای مالیاتیِ اصلیِ پیشنهاد شده در مقالات قادر نیستند تمامی معیارهای وضعِ مالیاتِ بهینه را برآورده کنند.

اجاره اقتصادی

اجاره‌بهای اقتصادی بازنمودی از «مازادِ ارزش سرمایه، کار و دیگر عواملِ تولید است که در بهره‌برداری از منبع به کار می‌روند. همان مازاد درآمد منبع پس از کسر هزینه‌های تمامی ورودی‌های سرمایه و کار است» (بانفی و همکارانش، ۲۰۰۳، صفحه ۲).

سه نوع اجاره اقتصادی وجود دارد:

۱. *اجاره کمیابی*[1]: اجاره کمیابی حاصلِ کمیابیِ ذاتیِ منبع است که خروجیِ در دسترس را محدود می‌سازد. این نوع اجاره بازنمودی از سود صرف نظرشده آینده در نتیجه استخراج در امروز است. هاتلینگ (۱۹۳۱) به این نتیجه رسید که رفتارِ بنگاه‌های معدن‌کاوی با سهمِ معینی از ذخایر با رفتارِ سایر بنگاه‌های تجاری فرق دارد. بنگاه‌های تجاریِ رقابتی به افزایش خروجیِ خود ادامه می‌دهند تا هزینه تولیدِ واحدِ بعدی –هزینه نهایی/ حاشیه‌ای– با قیمتِ بازاری که دریافت می‌کند برابر شود اما عملیاتِ معدن‌کاوی، علاوه بر هزینه‌های تولیدش باید هزینه فرصتِ مرتبط با تولید یک واحد بیشتر خروجی را

[1] Scarcity

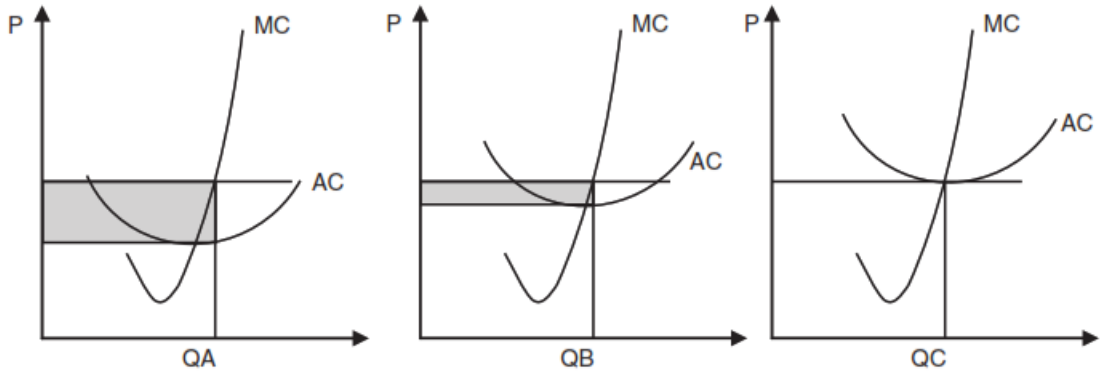
طی دوره جاری در نظر بگیرد چون ذخایری که امروز از آنها بهره‌برداری شود دیگر در آینده در دسترس نیستند. این هزینه که به آن «اجاره کمیابی» یا «هزینه کاربری» می‌گویند با ارزش خالص فعلیِ کاهش در سودِ آینده تولیدِ یک واحد بیشتر خروجی در امروز برابر است. همچنین می‌توان آن را اختلاف بین درآمد نهایی و هزینه تولید نهایی در نظر گرفت که فقط در نتیجه کمیابیِ ذاتی یا کمیابی القایی ناشی از سیاست مربوط به منبع به وجود آمده است (کوتن و بولتی، ۲۰۰۱، صفحه ٦٥). اگر قیمت بازار آنقدر بالا نباشد که هزینه تولید و کاربری را پوشش دهد همان بهتر که بنگاه تجاری ذخایر را در دل زمین نگه دارد تا در آینده آنها را استخراج کند.

۲. *اجاره تفاضلی یا کاردی*[1]: استدلال ریکاردو (۱۹۵۰) این است که زمین‌های زراعی را می‌توان طبق میزانِ حاصلخیزی‌شان به دسته‌های مختلف تقسیم کرد. اجاره‌های بیشتر نصیب زمین‌هایی می‌شود که بهره‌وری بیشتری دارند و زمین‌هایی که کم سود یا در حاشیه به سر می‌برند هیچ اجاره‌ای دریافت نمی‌کنند. این مطلب به ترتیب در شکل ۱۷,۱ با عنوان AC و MC نشان داده شده است که به هزینه میانگین و هزینه نهایی تولید غذا مربوط می‌شود. زمینِ A بیشترین اجاره را دارد چون می‌تواند با کمترین هزینه غذا تولید کند. در جایگاه بعدی زمین B قرار می‌گیرد که هزینه بیشتری دارد اما همچنان اجاره دریافت می‌کند چون هزینه تولید واحدش کمتر از قیمت بازار است. زمین کم سود C اجاره‌ای دریافت نمی‌کند چون AC در آن بیش از حد بزرگ است و برابر با قیمت واحد است. اجاره زمین A و B در مقایسه با C تعیین می‌شود زیرا آنها بهره‌وری بیشتر یا خاک باکیفیت‌تری در مقایسه با C دارند. به همین دلیل است که این اجاره را «تفاضلی» یا اجاره «کیفیت» می‌گویند: در حالت عادی چون هزینه‌های استخراج به تفاوت کیفیتِ منابع و مکان وابسته است به وجود می‌آید. این حالت با بازده حاصل در میادین نفتی قابل قیاس است. میادینی با هزینه‌های واحدِ زیر قیمت بازار –به سبب بازده یا خواصِ فیزیکی مطلوب– اجاره ریکاردی دریافت می‌کنند که نشان دهنده سودآوری آنها است. میدان و حوضه کم سود با هزینه واحدِ برابر با قیمت بازار، هیچ اجاره‌ای دریافت نمی‌کند (واتکینس، ۲۰۰۱)؛

۳. *شبه‌اجاره*: سومین نوع اجاره نشان دهنده بازدهی است که از سرمایه‌گذاری گذشته و اقدامات نوآورانه یا در نتیجه تغییر در بازار، عاید بنگاه‌های تجاری می‌شود. چنین اجاره‌هایی صرفاً در کوتاه‌مدت و پیش از آنکه در رقابت از بین بروند به وجود می‌آیند. از این گذشته، این درآمدها برای حفظ و سرپا نگه داشتن بنگاه‌های تجاری در کوتاه‌مدت لازم هستند. پس، اجاره کوتاه‌مدت برابر با اختلاف بین قیمت

[1] Ricardian

بازار و قیمت عرضه ورودی‌های متغیر است –کار، انرژی و نظایر آنها. در حالت عادی می‌توان انتظار داشت که اجاره کوتاه‌مدت از اجاره بلندمدت تجاوز کند.



شکل ۱۷,۱ اجاره ریکاردی

منبع: **Adapted from Kooten and Bulte (2001)**

اجاره اقتصادی: مأخذ مالیاتیِ مطلوب اما پیچیده

چون اجاره اقتصادی از انواع بازده مالی در نظر می‌گیرند که باعث القای رفتار اقتصادی مطلوب نمی‌شود، فرضی عمومی وجود دارد که مالیات بر مبنای اجاره اقتصادی مطلوب است چون با معیارهای مالیاتی تطابق دارد [۵]. غالباً این استدلال بیان می‌شود که اگر مالیات صرفاً بر اجاره اقتصادی وضع گردد هیچ اثری بر تشویقِ بنگاه‌های تجاری بر انجام هرگونه فعالیتی نخواهد داشت چون بنگاه تجاری هیچ اجاره‌ای برای تداوم یا آغاز عملیات‌های خود دریافت نمی‌کند. علاوه بر این اگر در مالیات به دنبال اجاره اقتصادی باشیم زمانی که اجاره اقتصادی کاهش می‌یابد، دریافت مالیات نیز کم می‌شود و وقتی اجاره اقتصادی افزایش می‌یابد، افزایش می‌یابد. در چنین شرایطی مأخذ مالیاتی طبق نوسان در هزینه و قیمتِ نفت خام تعیین می‌شود. مالیات با هدف جذب اجاره اقتصادی، خنثی و پایدار در نظر گرفته می‌شود و امکان اشتراک‌گذاری ریسک بین دولت و سرمایه‌گذار را فراهم می‌سازد.

بهره‌برداری از منابع طبیعیِ تجدیدناپذیر می‌تواند اجاره اقتصادیِ قابل توجهی را تولید کند. به طور خاص، نفت صرفاً یک منبعِ تجدیدناپذیر نیست بلکه کالایی است که در بیشترِ عمرِ ثبت‌شده صنعتِ نفت هیچ جانشینی نداشته است –گرچه این حالت ممکن است تغییر کند. این مطلب نشان می‌دهد که استخراج نفت می‌تواند اجاره اقتصادیِ هنگفتی به دنبال داشته باشد و همین ایده به فرضیه متداول در ذهنِ سیاستگذارانِ مالیات بر نفت خام مبدل شده است.

با این حال بسیاری از استنباط‌ها از جمله تمایز بین انواع اجاره، زمانی مطرح می‌شود که به دنبال برآورد اجاره اقتصادی باشیم (ناکلی، ۲۰۰۸). تمایز بین اجاره کمیابی و تفاضلی به نوعی ساختگی است چون هر نوع اجاره یا برحسب کمیاب بودن یا برحسب اثرات تفاضلی قابل حصول هستند و دولت‌ها نیز تمایز بین این دو نوع اجاره را دشوار یافتند. اجاره منبع –اجاره کمیابی یا اجاره تفاضلی– مأخذ مالیاتی مناسبی است چون مالیات بر این اجاره بر رفتارِ بنگاه تجاری اثر نمی‌گذارد. این حالت در مورد شبه‌اجاره صدق نمی‌کند. شبه‌اجاره بخشی از اجاره اقتصادی است اما فقط در کوتاه‌مدت رخ می‌دهد. گرفتن شبه‌اجاره می‌تواند بازده رفتاری بلندمدتِ بنگاه‌های تجاری را دستخوش تغییراتی کند و غالباً باعث می‌شود که آنها از سرمایه‌گذاری خود و در نتیجه سطح بهینه اجتماعیِ خروجی بکاهند. هر بنگاه تجاری به دنبال حفظ شبه‌اجاره تولیدی از طریق رفتارِ کارآمدترِ خود نسبت به سایر بنگاه‌های تجاری است؛ اما در بلندمدت نمی‌تواند در عرصه رقابت دوام بیاورد، چون رقبا از بنگاه تجاری می‌آموزند که شبه‌اجاره تولید کنند. بر همین اساس شبه‌اجاره نباید در مأخذ مالیاتی لحاظ شود ولی پرسش اصلی این است که چطور باید آن اجاره را شناسایی و تعیین کمیّت کنیم و آن را از دیگر انواع اجاره متمایز نماییم.

دومین استنباط به دشواری تعیینِ نرخ بازده قابل قبول برای تمامی شرکت‌ها از سوی دولت مربوط می‌شود زیرا در حالت عادی، شرکت‌ها نرخ بازده سرمایه‌گذاری خود را مستقیماً افشا نمی‌کنند. بنابراین، پرسشی که مطرح می‌شود این است که چطور پارامتر اجاره در بین شرکت‌های تجاری مختلف به طور خردمندانه قضاوت می‌شود در حالی که هر کدام از آنها دیدگاه متفاوتی در مورد نرخ قابل قبول بازده دارند.

سوم اینکه، اندازه‌گیری اجاره اقتصادی مستلزم دانشِ هزینه‌های مختلفِ عوامل منفردِ تولید و هزینه فرصت‌هایشان است اما این توانایی، فی‌نفسه بسیار پیچیده است چون اندازه اکتشافی معین و هزینه‌های بهره‌برداریِ مرتبط با آن ممکن است به طور عمده تغییر کند و اجاره اقتصادی نیز در هر میدان نفتی فرق داشته باشد. گرچه می‌توان با داشتن نظامِ مالیاتی تصاعدی تا حدی بر این مشکل فائق آمد اما منعطف ساختن و متمرکز کردنِ نظام‌های مالی بر اجاره منبع در طیف گسترده‌ای از متغیرها –نظیر قیمت و اختلاف ساختار هزینه– دشوار است.

در نهایت اینکه، در بسیاری از بخش‌ها اجاره وجود دارد. اگر قرار است از اجاره معدن‌کاوی مالیات اخذ شود آیا نباید این مالیات در مورد همه اجاره‌ها اعمال شود؟ گرفتن اجاره اقتصادی چندان راحت و ساده نیست.

ابزارهای مالیاتی

در مقالاتِ مرتبط با مالیات بر انرژی، برای گرفتن اجاره اقتصادی از فعالیت‌های نفتی از انواع ابزارهای مالیاتی استفاده شده است. چهار ابزار مالیاتی را انتخاب کردیم: حق امتیاز ناخالص[1]، مالیات براون[2]، مالیات بر اجاره منبع[3] و مالیات بر درآمد. حق امتیاز یکی از مالیات‌های مبتنی بر خروجی است زیرا بر واحد یا ارزشِ تولید وضع می‌شود. در حالی که سه ابزارِ دیگر جزء مالیات‌های مبتنی بر سود یا جریان نقدینگی هستند –این سه مورد بر سود خالص یا درآمد عملیاتی پس از سرمایه‌گذاری ثابت اعمال می‌شوند. در زیر هر کدام از این موارد را تشریح خواهیم کرد.

حق امتیاز ناخالص

حق امتیاز «پرداختی است که در ازای حق استفاده از اموالِ دیگری با هدف سودآوری پرداخت می‌شود» (استیگلر، ۱۹۸۵، صفحه ۳۷٦). این حالت می‌تواند *مالیات به ازای هر واحد* باشد که به صورت بهای ثابتِ یکنواختِ وضع‌شده بر سطح معینی از خروجی –حجم تولید– یا مالیات براساس ارزش در نظر گرفته می‌شود که در واقع، بهای ثابتِ وضع‌شده بر ارزشِ خروجی است –درآمد ناخالص.

حق امتیاز چه بر مقدار چه بر ارزشِ خروجی اعمال شود جزء مالیات‌های ساده به حساب می‌آید. همچنین سهمی از درآمد را برای دولت، بلافاصله پس از آغاز تولید در نظر می‌گیرد که برخلاف مالیات بر سود است که طبق آن دولت اولین قسط خود از درآمد را فقط زمانی دریافت می‌کند که جریان خالص نقدینگی به سمت مثبت حرکت کند.

مالیات بر حق امتیاز بر درآمد ناخالص اعمال می‌شود –یا مقدارِ خروجی– در نتیجه به هزینه یا سودِ مرتبط با پروژه توجهی نمی‌کند؛ از این‌رو، در اجاره اقتصادی پیگیری نمی‌شود. در مقالات و ادبیات این حوزه، توافقی عمومی بر سر این موضوع مشاهده می‌شود که حق امتیاز نوعی مالیاتِ نزولی[4] است که می‌تواند پروژه‌های سودآور را بر مبنای مالیاتِ آتی غیر جذاب نماید و ممکن است سرمایه‌گذاری نهایی را پس بزند چون مبتنی بر سود نیست. پس متوجه می‌شویم که چرا در بسیاری از حوضه‌های بالغ نظیر بریتانیا و نروژ، حق امتیاز منسوخ شده است.

حق امتیاز از انواع مالیات‌های غیرخنثی/ غیر بی‌طرف است چون صرف نظر از اندازه میدانِ نفتی، به محض آغازِ تولید اعمال می‌شود بنابراین، با افزایش در هزینه استخراج از منبع متناظر است و بر تصمیمِ سرمایه‌گذار در

---

[1] gross royalty

[2] Brown

[3] RRT

[4] regressive

مورد استخراج منبع اثرگذار است (هاتلینگ، ۱۹۳۱). همچنین احتمالاً به رهاسازی پیش از موعد میدان نفتی منجر شود. حق امتیاز بخش عمده‌ای از ریسک تجاری را بر سرمایه‌گذار تحمیل می‌کند و حفاظت کمی را به همراه دارد که ناشی از افزایش هزینه‌ها یا کاهش قیمت نفت است. در قیمت‌های پایین، مالیات بر حق امتیاز ظرفیت زیان رساندن به سرمایه‌گذار را دارد.

حق امتیاز لغزشی[1] می‌تواند انحراف کمتری در پی داشته باشد. در چین، نرخ‌های مختلف حق امتیاز بر مبنای تولید یا قیمت نفت اعمال می‌شود؛ وقتی تولید یا قیمت نفت پایین باشد، حق امتیاز نیز پایین در نظر گرفته می‌شود از این‌رو امکان جریان نقدینگی منفی نیز کاهش می‌یابد. بنابراین، گرچه پیچیدگیِ مدیریتی افزایش یافته است، تولید درآمدهای اولیه در حق امتیاز عادی با جنبه تصاعدی ترکیب می‌شود و برخلاف اثرِ نرخ ثابت است.

مالیات براون **[۶]**

مالیات براون قدیمی‌ترین مالیات خنثی است که بر صنایع استخراج و معدن‌کاوی اعمال شده و به صورت نسبتی ثابت از جریان نقدینگیِ خالصِ پروژه در هر دوره وضع می‌شود. وقتی جریان خالص نقدینگی مثبت باشد، بنگاه‌های تجاری باید مالیات بپردازند اما وقتی جریان نقدینگی خالص منفی است، بنگاه‌های تجاری تخفیف می‌گیرند. به عبارت دیگر مالیات براون شامل پرداخت یارانه‌ای متناسب یا اعتبار مالیاتی بر زیان نقدینگیِ سالانه و مالیاتِ معادل بر سود نقدینگی سالانه است. مالیات براون از جمله مالیات‌های جریان نقدینگی خالص است –با سهمِ کامل دولت که طی آن جریان نقدینگی خالص منفی است. این موضوع از لحاظ مالی، معادل این مطلب است که دولت در میدانِ نفتی دارای ارزش ویژه است (گارنائوت و کلونیس–راس، ۱۹۸۳).

چون مالیات براون از جمله مالیات‌های جریان نقدینگی است شامل هزینه‌های متفاوتی می‌شود که در هر دوره در سرمایه‌گذاری به بار می‌آید. بر مبنای اجاره اقتصادی است و اصولاً معیارهایی نظیر خنثی بودن و اشتراک‌گذاری ریسک را برآورده می‌سازد اما در عمل مالیاتِ براون یکی از گزینه‌های غیررایج است خصوصا به این علت که سطح غیر قابل قبولی از ریسک را بر دولت اعمال می‌کند. بزرگترین مشکلِ آن ملزم نمودن دولت در مقام مالک، به پرداخت جلوترِ سرمایه است. علاوه بر این چون شرکت‌ها می‌دانند که در صورتِ عدم موفقیت در بهره‌برداری دولت سرمایه‌گذاریِ آنها را واگذار می‌کند، انگیزه کمی برای کاهش هزینه‌ها و بهبود بازده دارند.

---

[1] sliding scale

مالیات اجاره منبع[1]

مالیات اجاره منبع (گارناوت و کلونیز-راس، ۱۹۷۵) اساساً برای به کارگیری در کشورهای کمتر توسعه‌یافته طراحی شده بود و عمدتاً مخصوص کشورهایی است که بر منابع خارجیِ تأمین سرمایه‌گذاری ثابت متکی هستند. این نوع مالیات یکی از نسخه‌های اصلاح شده مالیات براون است اما به جای پرداخت اعتبار مالیاتی طی چند سال با جریان نقدینگی منفی، دولت اجازه می‌دهد تا این مقادیرِ منفی به آینده انتقال یابد و از جریان‌های مثبت نقدینگی در دوره‌های آتی کسر شود. با این حال، جریان نقدینگی منفی خالص به واسطه حداقل نرخِ الزامیِ بازده به سمت بالا هدایت می‌شود -سطح پایه، که به آن «نرخ آستانه» نیز می‌گویند- و به جریان نقدینگی خالص سال آینده افزوده می‌گردد. فرآیند انباشت تا جایی ادامه می‌یابد که جریان نقدینگی خالص مثبت به وجود آید. هیچ مالیاتی قابل پرداخت نیست تا زمانی که بنگاه تجاری هزینه‌های خود از جمله نرخ آستانه بازده را بازیابی کند که به صورت مرکب در هر سال خواهد بود. در چنین حالتی، RRT شامل انتقالِ زیان به آینده خواهد بود در حالی که مالیات براون کاهشی برای زیان در نظر می‌گیرد. دولت با RRT هیچ‌گونه سهم و دخالت مستقیمی در هزینه سرمایه پروژه ندارد؛ مالیات زمانی شروع می‌شود که جریان نقدینگی مثبت ظاهر شود، سرمایه‌گذاری پروژه بازیابی گردد و بازده آستانه بر سرمایه‌گذاری حاصل گردد.

مالیات RRT به گونه‌ای طراحی می‌شود که اجاره اقتصادی را بگیرد در نتیجه مالیاتی خنثی به حساب می‌آید [۷]. این مالیات بر مبنای احتمال برآورد شده پس از مشخص شدنِ حد مجازِ آستانه بازده است که نشان دهنده سود عادی خواهد بود. نوعی از مالیات تصاعدی است که به طور خودکار به انواع خروجی‌ها پاسخ می‌دهد. همانند هر نوع مالیات دیگری که بر مبنای سود است RRT نیز ریسک را با دولت به اشتراک می‌گذارد: اگر هزینه بالا برود یا قیمت نفت کاهش یابد، سودِ مشمول مالیات با همفکری تغییر می‌کند همان طور که بار مالیاتی تغییر خواهد کرد. علاوه بر این از آنجا که شرکت تنها زمانی که به سودسازی می‌رسد مالیات می‌دهد، دوره بازپرداختِ سرمایه در صورتی کوتاه‌تر خواهد بود که مالیات حق امتیاز به کار رود.

در مورد RRT مشکلاتی وجود دارد. مالیات می‌تواند در مواقعی افزایش یابد و از میزان سرمایه‌گذاری نیز فراتر رود، از این‌رو بر نرخ تهی‌سازی منبع اثر می‌گذارد. همچنین افزایش مقادیر زیادی درآمد و حفظ خنثی بودن دشوار است، به ویژه از نظر سختی‌هایی که در تعیین اجاره اقتصادی وجود دارد. در حقیقت فرآیند تعیینِ آستانه‌ای که RRT باید بر اساس آن وضع شود مشکلاتی به همراه دارد. «آستانه[2]» نشان دهنده نرخ بازدهی است که سرمایه‌گذار برای پذیرش پروژه آن را مطالبه می‌کند. انگیزه اصلیِ همه شرکت‌ها دورنمای سود عادی

---

[1] Resource Rent Tax (RRT)

[2] threshold

نیست. استدلال واتکینز (۲۰۰۱) این است که منطقاً RRT بایستی بر مبنای پروژه وضع شود نه درآمد انباشته شرکت. این نظریه دارای نرخ آستانه مقتضی است که در بین پروژه‌ها فرق دارد. با این حال غالباً نرخ آستانه یکنواخت عملاً به کار می‌رود.

مالیات RRT بر این مطلب دلالت دارد که درآمدزایی تا چند سال پس از اولین تولید به تأخیر می‌افتد چون نرخ آستانه باید پیش از قابل پرداخت شدنِ RRT حاصل شده باشد. در نتیجه استدلال برخی پژوهشگران این است که RRT از لحاظ سیاسی غیر قابل قبول است چون ممکن است پرداخت مالیات را به تأخیر بیندازد و فقط می‌توان در مورد مالیات شرکت‌های سهامی آن را اعمال کرد.

مالیات بر درآمد

مالیات بر درآمد یکی از انواع مالیات بر شرکت‌های سهامی/ شرکتی یا مالیات بر درآمد خالص شرکت‌های سهامی شرکتی است که بر شرکت وضع می‌شود نه میدان نفتی یا در سطح پروژه. در بیشتر کشورها مالیات بر درآمد باعث می‌شود که امکانِ کسرِ مخارج کنونی، هزینه بهره و هزینه استهلاکِ گذشته فراهم شود. تمامی انواع مالیات بر درآمد امکان بخشودگی را برای مخارج سرمایه فراهم می‌سازند اما بخشودگیِ اضافی گاهی اوقات ارائه می‌شود تا مشوقی برای توسعه پروژه‌های نهاییِ پرهزینه باشد و به آن حد مجازِ افزایشِ مخارج سرمایه نیز می‌گویند.

مالیات بر درآمد به عنوان یکی از مالیات‌های سودمحور با جبرانِ زیانِ آنی و کامل، از جمله انواع خنثی است چون وقتی سود صفر شود، درآمد حاصل از مالیات بر درآمد نیز صفر می‌شود (موس‌گریو، ۱۹۸۲). این مالیات برخلاف حق امتیاز است که اگر سود صفر شود، درآمد مالیاتی همچنان مثبت است. مالیات بر درآمدِ متناسب می‌تواند مانع بروز انحراف در روندِ انتخابِ پروژه‌هایی با طول عمر اقتصادی و پروفیل زمانی مختلف شود (ساموئلسون، ۱۹۸٦).

با این حال، بخشودگیِ مالیاتیِ بزرگ به اثرِ «طلاکوبی» منجر می‌شود که بر این اساس، سرمایه‌گذاری در بخش تجهیزاتِ سرمایه‌ای ممکن است به بخشودگی مالیاتیِ بیش از سرمایه‌گذاری اصلی منجر شود. کسرپذیریِ هزینه‌ها از جمله نکاتِ مورد بحث در این زمینه است. در عمل، مالیات بر درآمد امکان کسر هزینه سرمایه را فراهم می‌کند اما معمولاً طی دوره زمانی معین و با استفاده از استهلاک که ممکن است در تمام عمر پروژه اعمال شود. برخلافِ مالیات براون و RRT، با توجه به مالیات بر درآمد، سرمایه‌گذاران معمولاً هزینه‌های خود را به طور آنی بازیابی نمی‌کنند و این حالت ممکن است به پرداختِ زودهنگامِ درآمد به دولت منجر شود. بنابراین، از نظر سرمایه‌گذار، الگوی بازیابی هزینه به عمر اقتصادیِ دارایی ربط دارد.

هیچ جادویی در کار نیست

کشورهای تولیدکننده نفت –از جمله استرالیا و بریتانیا [۸]– به منظور گرفتن اجاره اقتصادی و به حداقل رساندن انحرافات در تصمیماتِ سرمایه‌گذاری، استفاده از ترکیبی از دو یا چند ابزار مالیاتی را لازم می‌دانند. مناسب‌ترین ابزار مالیاتی آن است که کمترین انحراف را به وجود بیاورد و هرچقدر مالیات بیشتر به سمت اجاره اقتصادی هدف‌گذاری شود، انحراف کمتری به وجود می‌آید. گرچه ابزار مالیاتی می‌تواند انحراف به وجود آورد اما راهی برای غیرمحتمل ساختنِ آن وجود ندارد. طی گزینشِ ترکیبی از توافقات مالی، دولت باید طی تعیینِ وزنِ نسبیِ هر کدام از اجزای متفاوتِ ساختار نظام، جوانب احتیاط را رعایت کند.

٤ طرح مالی بین‌المللی نفت خام

در مورد مواد معدنی و به خصوص نفت خام، دولت خود را کاملاً ذیحقِ می‌داند که جریانِ درآمد یا آنچه را که مالکش است جمع‌آوری کند اما فعالیت‌های نفتی نیازمند منابع مالی عظیمی است که می‌تواند از ظرفیتِ اکثر کشورهای تولیدکننده نفت نیز تجاوز کند، به ویژه در مورد چاه‌هایی که عمیق‌تر و در مناطق دوردست‌تر حفر می‌شوند. هرچقدر ریسکِ موجود به سبب مسائل زمین‌شناسی و ناپایداری قیمت نفت بیشتر باشد باعث می‌شود که رویکردِ ملی در بهره‌برداری از نفت خام به طور فزاینده‌ای منسوخ جلوه کند. در نتیجه فعالیت‌های اکتشاف و بهره‌برداری با مشکلاتِ پیچیده قانونی، فنی، مالی و سیاسی مواجه است و هر راه حلی نیز نیازمندِ ایجاد توازن بین منافع کشورهای تولیدکننده و شرکت‌های نفتی است.

در مورد نفت خام، تأثیراتِ منطقه‌ایِ بیرونی و داخلی به خود صنعت، نظیر سطح پیشرفتِ محیط، اندازه میدان نفتی، خودکفایی، امنیتِ ملاحظاتِ عرضه و ویژگی‌های خاص همچنان می‌توانند جزء عوامل تعیین‌کننده در شکل‌دهیِ طرح مالیاتی باشند در نتیجه بر جذابیتِ کلیِ حوضه نفتی اثر می‌گذارند. این مطلب علتِ تنوعِ طرح‌ها و بسته‌های مالیاتی را تبیین می‌کند که در سراسر جهان وجود دارد. جانستون (۱۹۹۸، صفحه ۵) معتقد است که «در جهان، بیش از خودِ کشورها، طرح‌های مالیِ نفت خام وجود دارد» برای مثال در کانادا، تغییراتِ منطقه‌ای در مدیریت و *مالیات بر منابع* رخ می‌دهد و الگوهای متفاوتی در کنار یکدیگر مشاهده می‌شود (ناکلی، ۲۰۰۸).

دو دسته از انواع توافقات ساده توسعه یافته است –نظام‌های امتیازنامه‌ای و توافقات قراردادی. نظام امتیازنامه‌ای در آغاز صنعت نفت شکل گرفت (دهه ۱۸۵۰) در حالی که نظام قراردادی یک قرن بعد معرفی شد (دهه ۱۹۵۰). مومر (۲۰۰۱) این دو دسته طرح مالی را به ترتیب لیبرال و مالکیتی[1] توصیف می‌کند. در طرح‌های لیبرال، شرکت‌های نفتی در جایگاه بسیار قوی‌تری در مقایسه با نظام‌های مالکیتی هستند که دولت کنترل

[1] proprietary

بیشتری بر بهره‌برداری و تولید منابع طبیعی دارد اما واقعیتی که در پشت رویکردهای مختلف وجود دارد به نگرش‌های ایدئولوژیکی و سیاسی ربط دارد.

طرح امتیازنامه‌ای: خصوصیات اصلی

امتیازنامه یکی از انواع توافق‌نامه بین دولت و شرکت‌ها است که حق انحصاریِ تجسس برای توسعه، تولید، انتقال و بازاریابیِ منابع نفت خام را در منطقه‌ای مشخص برای مدت زمانی معلوم به شرکت‌ها واگذار می‌کند که ریسک و مخارج این فرآیند نیز برعهده خود شرکت‌ها است (بلین و همکارانش، ۱۹۸٦). سطح «امتیازنامه‌ها» با یکدیگر فرق دارد. تحت یک نوع از توافقاتِ امتیازنامه‌ای، منابع موجود در زمین یا در بستر دریا جزء اموال دولت یا پادشاهی باقی می‌ماند در حالی که شرکت‌های نفتی مالکیتِ نفت خامِ تولیدی در سر چاه را دارند سپس حق امتیاز و مالیاتِ متناسب با آن را می‌پردازند. شرکت، حق مالکیتِ تولید را دارا است و می‌تواند آزادانه آن را واگذار کند که طبق تعهدات مربوط به عرضه در بازار محلی انجام می‌شود. نوع گسترده‌ترِ امتیازنامه – آن‌طور که در آمریکا رواج دارد– حق مالکیتِ ذخایر واقعیِ موجود در زمین را به کشف‌کننده آن ذخایر واگذار می‌کند. با این حال در دیگر کشورهای OECD، امتیازنامه مالکیتِ تولید را فقط در سر چاه به رسمیت می‌شناسد در حالی که مواد معدنی جزء اموالِ دولت تا زمان تولید باقی می‌ماند.

یکی از اولین امتیازنامه‌های اعطا شده از سوی پادشاهی قاجار ایران در ۱۹۰۱ (۱۲۸۰ شمسی)[1] بود که حق بهره‌برداری از ذخایر نفتی را در سراسر کشور به مدت ٦۰ الی ۷۵ سال واگذار می‌کرد. امتیازنامه‌های مشابهی با «کرایه بلندمدت» نیز داده شده است –تا حدود ۹۹ سال در کویت– که مالکیت انحصاری ذخایر یافته‌شده زمینی در منطقه ذکرشده در امتیازنامه را به شرکتِ بین‌المللی نفت (IOC) واگذار می‌کرد. منافع مالی که عایدِ دولت‌های میزبان می‌شد محدود بود و عمدتاً شامل پرداخت بر مبنای حق امتیاز از حجم تولید با نرخ ثابت می‌شد. دارنده امتیازِ رسمی/ صاحب امتیاز تقریباً کنترلِ تمام جنبه‌های عملیات را در اختیار دارد که از جمله می‌توان به این موارد اشاره کرد: نرخ بهره‌برداری، تصمیم بر ورود به میادین جدید جهت بهره‌برداری و تعیینِ سطح تولید. این نوع از توافقاتِ امتیازنامه‌ای هیچ نوع امکانِ بازمذاکره درباره مفاد و شروط توافق‌نامه را به وجود نمی‌آورد مگر اینکه تغییر در شرایط ایجاب کند. این نوع توافق‌نامه‌ها به دولت‌ها اجازه نمی‌داد تا در مالکیتِ نفتِ خام تولیدی سهیم باشند.

پس از جنگ جهانی دوم، دومین نسل از توافقات امتیازنامه‌ای توسعه یافت که نقش فعال‌تری برای دولتِ میزبان قائل بود و حقوق شرکت‌های بین‌المللی نفت را کاهش می‌داد. مناطقِ امتیازنامه‌ای به بلوک‌های چندگانه

[1] قرارداد نگین دارسی با انگلیسی‌ها در زمان مظفرالدین‌شاه.–م.

محدود می‌شدند و واگذاریِ حق امتیاز به فقط چند بلوکِ محدود می‌شد. همچنین توافق‌نامه‌های مدرن شامل تبصره‌ها و شروطی برای بازگرداندنِ منطقه اصلی است و طول مدت امتیازنامه نیز بسیار محدودتر در نظر گرفته می‌شود. این توافق‌نامه‌ها شامل امتیازات قابل پرداخت طبق توافقات نیز است که به اکتشاف میدان‌های نفتی و دستیابی به سطح مختلف تولید ربط دارد.

در پیامد بحران نفتی دهه ۷۰ میلادی، طرح‌های مالیاتیِ پیچیده‌ای وضع شد. مالیات‌های ویژه باعث می‌شود که دولت‌های میزبان سهمِ خود را در رابطه با سودآوریِ عملیات‌های نفتی افزایش دهند. با این حال، دولت‌های میزبان، در جایی که حق انتفاع مجدد مالک اصلی در ملک در مورد مالکیتِ کاملِ دولتی وجود نداشته باشد، حقِ اعمالِ رصدِ مداخله‌گرانه و کنترل بر تصمیماتِ بخش خصوصی را برای خود قائل می‌شوند برای مثال از طریق الزام بر داشتنِ حداقل برنامه‌های امور اکتشاف، مشارکت در فرآیند تصمیم‌گیری و تصویبِ هزینه‌ها و مخارج اکتشاف چنین مداخلاتی انجام می‌دهد.

حدود ۵۵ کشور از نظام امتیازنامه‌ای در فعالیت نفت خام استفاده می‌کنند (جانستون، ۲۰۰۱). روش معمولِ اخذ مالیات از شرکت‌های نفتی در طرح‌های امتیازنامه‌ای شامل ترکیبی از مالیات بر درآمد، مالیات بر نفت خام ویژه و حق امتیاز است. بنابراین، طرح‌های امتیازنامه‌ای به طور مرسوم با عنوان «نظام‌های مالیاتی/حق امتیازی» (R&T) شناخته می‌شوند.

حق امتیاز به طور معمول، یا وضع مالیاتِ ویژه یا براساسِ ارزش هستند. نرخ حق امتیاز عموماً در سطحی نزدیک به ۱۲/۵٪ به ازای تولید در نظر گرفته می‌شود. برخی از کشورها مؤلفه سود را از طریق حق امتیاز لغزشی وارد این فرآیند کرده‌اند. آنها حق امتیاز را به سطح تولید وابسته نمودند.

عموماً مالیات بر درآمد رایج‌ترین ابزار مورد استفاده در کشورهای تولیدکننده نفت در جهان است. معمولاً نظام‌های مالیات بر درآمد شامل ساختار تک‌نرخ ساده هستند –به علاوه شروطی برای کسر اقلام خاص از مأخذ مالیاتی، مالیات‌های مکمل و مشوق‌های مالیاتی. نرخ کلیِ مالیات بر درآمد شرکتی در چندین کشور در بازه ۳۰ تا ۳۵ درصد قرار دارد. کشورهای مختلف برای اکتشاف و توسعه طرح‌های تشویقی مختلفی ارائه می‌کنند. برای مثال امکان بازیابیِ آنیِ هزینه‌های اکتشاف را فراهم می‌کنند و بازیابیِ سریعِ هزینه‌های توسعه‌ای (استهلاک مالیاتی) را طی بازه‌ای پنج ساله در نظر می‌گیرند. علاوه بر کسر مالیاتی، زیان‌های منتقل شده به آینده یا عقب، به طور رایج، جزء مشوق‌های مالیاتی به حساب می‌آیند (سارما و نارش، ۲۰۰۱). طرح مالیات بر درآمد، به طور تغییرناپذیری، در مورد شرکت‌های نفت وگاز همان طرحی است که در مورد تمامی فعالیت‌های شرکتی در تمامی صنایعِ کشور مورد نظر به کار می‌رود.

علاوه بر مالیات بر درآمد، بیشتر کشورهای تولیدکننده نفت مالیاتی ویژه بر نفت خام اعمال می‌کنند تا سهم بزرگتری از اجاره اقتصادیِ حاصل از تولید نفت را به دست آوردند. مالیات ویژه در حالت عادی، بر مبنای جریان نقدینگی است اما فقط زمانی که جریان نقدینگیِ انباشتی مثبت باشد.

می‌توان پرداخت‌های دیگری را نیز به دولت داد. این موارد شامل امتیازها می‌شود که از نوع پرداخت‌های مبلغ مقطوع[1] -یکجا- هستند. آنها می‌توانند از نوع «امتیاز امضا» باشند که به محض امضای توافقنامه از سوی دولت پرداخت می‌شود یا از نوع «امتیازِ اکتشاف» باشند که وقتی اکتشافی تجاری صورت می‌گیرد پرداخت می‌شود یا آنکه از نوع «امتیاز تولید» باشند که پس از حصول به سطح تولید روزانه معینی قابل پرداخت خواهد بود. در حالت عادی، امتیاز تولید در مقیاس لغزشیِ تولید است بنابراین، اگر تولید روزانه به سطح خاصی برسد، دولت مقدار ثابتی را اخذ می‌کند و اگر تولید روزانه به سطوح بالاتر برسد، میزان بیشتری را اخذ می‌کند. بسته به طرح مالیاتی، ممکن است امتیاز طبق اهدافِ مالیات بر درآمد قابل کسر شدن باشند. در اکثر موارد امتیاز اکتشاف و تولید اثری اندک بر سودآوری میدان نفتی دارد. به نظر می‌رسد امتیاز امضا اثری منفی داشته باشد؛ با آنکه این نوع امتیاز کاملاً مالیاتی نیست، اما بیعانه اجاره اقتصادی را بازیابی می‌کند. جمع کل می‌تواند بسیار زیاد باشد (حدوداً ۱ میلیارد دلار در هر بلوک)؛ امتیاز تولید در بردارنده نسبتی مادی از کل عایدی دولت است و البته پیش از انجام اکتشافات پرداخت می‌شود.

برخی از کشورها حساب و کتاب فعالیت‌های نفتی و گازی خود را حصارکشی[2] می‌کنند در حالی که دیگر کشورها حساب و کتاب پروژه‌های منفرد را حصارکشی می‌کنند (سانلی و همکارانش، ۲۰۰۲). حصارکشی باعث می‌شود که محدودیت‌هایی بر کسر کردن طبق اهداف مالیاتی در بین فعالیت‌های مختلف یا پروژه‌های صورت گرفته توسط یک مالیات‌دهنده اعمال شود. این قواعد به دو دلیل حائز اهمیت هستند. اول آنکه، نبودِ حصارکشی می‌تواند دریافت مالیات دولت را به تأخیر بیندازد چون شرکتی که مجموعه‌ای از پروژه‌ها را برعهده دارد می‌تواند هزینه‌های اکتشاف و توسعه را از هر پروژه جدید کسر کند که در مقابلِ درآمد پروژه‌هایی قرار می‌گیرد که از مدت‌ها قبل در حال تولید درآمد مشمول مالیات هستند. دوم اینکه، با توسعه مناطق نفتی و گازی، نبودِ حصارکشی می‌تواند باعث تبعیض در مورد تازه‌واردهایی شود که هیچ درآمدی ندارند و از مخارج توسعه و اکتشاف کسر کنند.

طرح‌های قراردادی: خصوصیات اصلی

---

[1] lump sum

[2] Ring fencing به معنای جدا کردنِ حساب و کتابِ مناطق مختلف عملیات نفتی است. —م.

در نظام‌های قراردادی مرسوم، شرکتِ نفتی از سوی دولت به پیمانکاریِ منطقه‌ای معین منصوب می‌شود. دولت مالکیتِ تولید را حفظ می‌کند و در عین حال، شرکت نفتی بین‌المللی (IOC) ریسک عملیات را می‌پذیرد و خود مخارج را برعهده می‌گیرد و تحت کنترلِ دولت است.

دو طرفِ قرارداد توافق می‌کنند که پیمانکار طبق هزینه‌های اکتشاف و توسعه پیش خواهد رفت و در مقابل سهمی از تولید یا کارمزدی برای این خدمات دریافت می‌کنند البته اگر تولید موفقیت‌آمیز باشد. اگر شرکت سهمی از تولید دریافت کند (پس از کسر سهم دولت) آنگاه این نظام را «قرارداد تولید مشترک» (PSC) یا «توافقنامه تولید مشترک» (PSA) می‌نامند و در این حالت، شرکتِ نفتی مالکِ سهمِ خود از نفتِ استخراج‌شده است. اگر کارمزدی برای اجرای موفق عملیات‌های اکتشاف و تولید پرداخت شود -که غالباً مالیاتی بر آن وضع می‌گردد- آنگاه این نظام را «قرارداد خدماتی» یا «توافقنامه ریسک خدمات» می‌نامند. به این علت به آن توافقنامه ریسک خدمات می‌گویند که یکی از انواعِ قراردادهای خدماتی است و دولتِ میزبان -یا شرکت ملی نفتی- از خدماتِ شرکت بین‌المللی نفتی استفاده می‌کند و در موردِ تولید تجاری از منطقه تحت قرارداد، شرکتِ نفتی بهای خدماتش را دریافت می‌کند بدون آنکه مالک هیچ مقدار از نفت خام استخراجی باشد.

طرح‌های قراردادی اولین بار در دهه ٦٠ میلادی و در اندونزی استفاده شدند. حدود ٦٤ کشور از نظام PSC در فعالیت‌های نفتیِ خود استفاده می‌کردند و فقط ١٢ کشور طبق قرارداد خدماتی عمل می‌کردند (جانستون، ١٩٩٨).

در طرح‌های قراردادی، شرکت نفتی تمامی هزینه‌ها و ریسکِ اکتشاف و توسعه را برعهده می‌گیرد. در صورتی که هیچ اکتشاف یا توسعه‌ای انجام نشود، هیچ حقی برای دریافت پرداختی ندارد. با این حال اگر کشفی صورت بگیرد، «هزینه اکتشاف» یا «هزینه نفت» به شرکت امکان بازیابیِ هزینه‌های به بارآمده را می‌دهد.

بازیابی هزینه از لحاظ خروجی شبیه کسر هزینه تحت نظام امتیازنامه‌ای است. عمدتاً شامل هزینه‌های بازیابی‌نشده است که از سالیان گذشته به زمان حال منتقل شده‌اند، مخارج عملیاتی، مخارج سرمایه‌ای، هزینه‌های رهاسازی و برخی از مشوق‌های سرمایه‌گذاری نیز جزء این بازیابی هستند. هزینه تأمین مالی یا هزینه بهره عموماً، جزء هزینه‌های قابل بازیابی به حساب نمی‌آید. در حالت عادی، درصدِ از پیش تعیین‌شده‌ای از تولید به صورت سالانه برای بازیابی هزینه تخصیص داده می‌شود.

با این حال در کل محدودیتی برای بازیابی هزینه وجود دارد که به طور میانگین بین ٣٠ تا ٦٠ درصد درآمد ناخالص است. به عبارت دیگر به ازای هر دوره معین، حداکثر سطح هزینه‌های بازیافت‌شده ٦٠٪ درآمد است گرچه قراردادهایی با بازیافت هزینه‌های نامحدود همچنان وجود دارد (برای مثال اندونزی، بحرین و الجزایر). بسیاری از PSCها یا حد مجاز هزینه سالانه نفت را براساس مقیاس لغزنده مشخص می‌کنند یا اذعان می‌کنند

که این متغیر تا ارزش بیشینه معینی مطیع یا قابل‌مذاکره است. گاهی بازیافت کامل هزینه با محدودیت زمانیِ همراه آن مشاهده می‌شود. سهمِ تولیدی که برای هزینه نفت کنار گذاشته می‌شود پس از مثلاً، پنج سال اُفت پیدا می‌کند. از این جهت، شبیه به معافیتِ موقتِ مالیاتی[1] عمل می‌کند. هزینه‌های بازیافت‌نشده در هر سال را می‌توان به سال‌های بعد موکول کرد. همچنین برخی از قراردادها اجازه می‌دهند تا این هزینه‌ها طبق ضریب بهره بالا بروند تا تأخیر در بازیافت هزینه جبران شود. می‌توان با اعتبار سرمایه‌گذاری یا بالا بردن هزینه[2] نیز به پیمانکار اجازه داد تا درصدی اضافی از هزینه‌های سرمایه از طریق بازیافت هزینه را دریافت کند. هر چقدر بازیافت هزینه کُندتر انجام شود، دولت نیز سهم خود را دیرتر دریافت می‌کند. معمولاً فعالیت‌های نفتی حصارکشی می‌شوند، از این‌رو تمامی هزینه‌های مرتبط با بلوک یا مجوزی خاص بایستی از درآمدهای درون همان بلوک بازیافت شود.

حق امتیاز نیز می‌تواند در طرح‌های PSC ظاهر شود اما استدلال بسیاری از افراد این است که همین تأثیر اقتصادی را می‌توان با تعدیل محدودیت‌های قیمت نفت مهار کرد در نتیجه جریان زود هنگامِ درآمد به دولت را تضمین می‌کند. حق امتیاز پیش از تفکیکِ باقیِ تولید، به دولت پرداخت می‌شود. با این حال یکی از راه‌های جایگزین برای حق امتیاز این است که بر قیمت نفت محدودیت داشته باشد تا تضمین کند که به محض آغازِ تولید، سودآوری نفت قطعی است. چنین محدودیتی بر بازیافتِ هزینه، تأثیر اقتصادی مشابهی با حق امتیاز دارد در حالی که دولت نیز درآمد خود را دریافت می‌کند –سهمِ خود از سود نفتی– که به محض آغاز تولید پرداخت می‌شود.

اصلِ بازیافت هزینه در مورد PSC و توافقنامه ریسک خدمات قابل اعمال است. با این حال قاعده پاداش‌دهیِ پیمانکار پس از آنکه هزینه‌اش را بازیابی کرد در این نوع فرق می‌کند.

در PSC پس از آنکه شرکت نفتی هزینه‌های پروژه را بازیابی کرد –هزینه نفت– نفت باقی مانده را «نفتِ سودآور» یا «تفکیک تولید» می‌نامند و بین دولت میزبان و شرکت، طبق درصدِ توافق‌شده در قرارداد، تقسیم می‌شود. این تفکیک می‌تواند به صورت تفکیک ثابت سودِ نفتی باشد که به نرخ تولید یا تفکیکِ تصاعدیِ مرتبط با سودآوری پروژه –نرخ بازده ROR– یا ضریب R وابسته است. در سیستم‌های ROR سهم مؤثرِ دولت با افزایش ROR پروژه بیشتر می‌شود. دولت به سبب سقف هزینه نفتی در مورد دریافت درآمد، مطمئن است و می‌داند که همیشه حداقل سودِ نفتی بین سرمایه‌گذار و دولت هر ساله تقسیم می‌شود. عناصرِ تعیین‌کننده ضریب R در هر کشور متفاوت است اما در حالت عادی هم درآمد و هم هزینه در این معادله لحاظ می‌شوند.

---

[1] tax holiday

[2] uplift

در چنین وضعیتی می‌توان ضریب R را به صورت نسبت درآمد خالص انباشتی به کل مخارج انباشتی تعریف کرد. ضریب R در هر دوره حسابرسی، محاسبه می‌شود و پس از آنکه حد آستانه به دست آمد، نرخ مالیاتی جدید در دوره حسابرسی بعدی اعمال می‌شود. هدف ROR و ضریب R این است که اشتراک‌گذاریِ سود بین دولت و پیمانکار به سودآوری ربط داده شود. معمولاً –نه همیشه– مالیات بر نفتِ سودآور وضع می‌شود.

در برخی کشورها مثل اندونزی، دولت مجاز است تا بخش معینی از سهم پیمانکارِ تولید را با قیمتی کمتر از قیمت بازار بخرد. به این مورد DMO –تعهد مربوط به بازار داخلی– می‌گویند. همچنین ممکن است سهمی اضافی برای دولت در قالب پرداخت امتیاز وجود داشته باشد –چه به صورت امتیاز امضا چه امتیاز تولید. اکثر PSAها به امتیازِ مربوطه امکان می‌دهند تا قابل کسر از مالیات –مشمول در مالیات– باشند اما مجاز به بازیافت هزینه نیستند.

مالیات بر حق امتیاز، هزینه نفت –نفتِ هزینه– نفتِ سودآور و امتیازِ تولید را می‌توان به صورت سهم ثابت تولید یا بر مبنای مقیاس لغزشی وضع کرد. روش دوم در حال تبدیل شدن به رویه استاندارد است. دو مورد از رایج‌ترین شیوه‌های محاسبه پرداخت‌ها با استفاده از مقیاس لغزشی بر مبنای میانگین تولید روزانه یا ضرایب R هستند.

به مرور زمان، PSAها به طور عمده تغییر کرده‌اند و امروزه شکل‌های مختلفی به خود می‌گیرند. نمی‌توان صرفاً به قراردادِ مرسوم آسیایی یا قرارداد مرسوم اروپای شرقی ارجاع کرد. مفاد قرارداد بین یک کشور و کشور دیگر فرق می‌کند اما در ساده‌ترین شکل، PSA چهار ویژگی اصلی دارد. شرکت بین‌المللی نفتی طبق تولید، به دولت ناخالص حق امتیاز پرداخت می‌کند البته اگر قابل اعمال باشد. پس از کسرِ حق امتیاز، شرکت سهمِ از پیش تعیین‌شده تولید را برای بازیافت هزینه حق خود می‌داند. سپس باقیِ تولید –به اصطلاح نفتِ سودآور– بین دولت و شرکت بین‌المللی نفتی طبق توافقات صورت گرفته تقسیم می‌شود. در ادامه، پیمانکار مجبور است مالیات بر درآمد را از سهمِ نفت سودآورِ خود پرداخت کند.

در توافقنامه خدمات، دولت به پیمانکار اجازه می‌دهد تا هزینه‌های مرتبط با اکتشاف و توسعه منابع هیدروکربنی را از طریق فروش نفت و گاز بازیابی کند. علاوه بر این دولت بر مبنای درصدی از درآمد باقی مانده، دستمزدی به پیمانکار می‌دهد. تمامی تولید به دولت تعلق دارد. چون پیمانکار سهمی از تولید دریافت نمی‌کند، مفاد و شروطی نظیر «اشتراک‌گذاری تولید» و «نفت سودآور» مقتضی نیستند، گرچه در حساب و کتاب غالباً سهمی از درآمد همانند شراکتِ PSA در تولید در نظر گرفته می‌شود. می‌توان بر حق‌الزحمه ثابت پیمانکار –حق‌الزحمه خدمات– نیز مالیات وضع کرد. این حالت با درآمد مشمول مالیات در نظامِ امتیازنامه‌ای و نفت سودآور در PSA قابل قیاس است.

حق‌الزحمه تحت قراردادِ ریسک خدمات، معمولاً با استفاده از شاخصه‌های سودآوری نظیر ROR پروژه یا نسبت‌هایی نظیر ضریب R –که در بالا به آن اشاره کردیم– تعیین می‌شود.

طرح‌های امتیازنامه‌ای و قراردادی: مقایسه بیشتر

طرح قراردادی را غالباً جایگزینی برای طرح امتیازنامه‌ای می‌دانند –تفاوت اصلی‌شان در ذاتِ قانونی است که اسماً می‌توان به مالکیت تولید اشاره کرد. در طرح امتیازنامه‌ای، دولت می‌تواند برخی از حق خود در تولید را از طریق شرکت ملی نفت حفظ کند اما این حق نسبتاً محدود است. از لحاظ نظری طرح قراردادی، دولت را قادر می‌سازد تا کنترل بیشتری بر عملیات‌های نفتی و مالکیت تولید داشته باشد. عملاً چنین قدرتی کمتر مشاهده می‌شود.

در نظامِ امتیازنامه‌ای، شرکت نفتی درآمد خالص را پس از هزینه‌ها، مالیات و حق امتیاز دریافت می‌کند. تحت PSC، شرکت بازیافت هزینه و سهم از سودِ باقی مانده را دریافت می‌کند در حالی که تحت قرارداد خدمات، بازیافت هزینه و حق‌الزحمه سود یا پاداش را تا زمانی دریافت می‌کند که «تاریخ واگذاری» برسد – تاریخ از پیش تعیین‌شده‌ای که پروژه به شرکت ملی نفت واگذار می‌شود. گرچه تحت قرارداد خدمات و PSC اصول یکسان هستند، چنین تفاوتی در کارمزد و پاداش باعث ایجاد تمایزی برحسب طول مدت قرارداد، مشوق‌های کاهش هزینه و اثر تغییرات در قیمت نفت و ویژگی‌های ذخایر می‌شود. ممکن است PSC ذاتاً بلندمدت باشد اما در توافقنامه‌های خدماتی، دخالتِ پیمانکار به تاریخ واگذاری بستگی دارد که در مقابل عمدتاً تحت تأثیر مخارج سرمایه و درآمد نفتی است. عموماً توافقنامه خدمات، کوتاه‌مدت است؛ معمولاً ۹ سال. در حالی که PSC تا ۳۰ سال نیز وجود دارد. تحت PSC، پیمانکار در سراسر مدت قرارداد، سود دریافت می‌کند که در حالت عادی معادل عمر میدان نفتی است در حالی که تحت قرارداد خدماتی، بازیافت هزینه و پاداش سودِ پیمانکار در پایانِ تاریخ واگذاری به اتمام می‌رسد.

در نتیجه اعمال محدودیت بر بازیافت هزینه، پیمانکاران در حالت عادی تشویق می‌شوند تا از هزینه سرمایه خود بکاهند. با این حال یکی از محدودیت‌های قرارداد خدماتی این است که پیمانکار هیچ مشوقی برای کاهش هزینه‌های بلندمدت ندارد چون میدان نفتی احتمالاً تحت کنترل دولت است به این ترتیب، توافقنامه‌های خدماتی برای پروژه‌های کوتاه‌مدت و کم‌ریسک مناسب‌ترند تا برای میدان‌های نفتیِ کم سود.

در هر نوع توافقنامه قراردادی، پیمانکار تا حد زیادی تحت تأثیر ریسک قیمت نفت و حوضه نفتی است. در مورد اکتشاف ناموفق، پیمانکار هیچ حقوق و مزایا و جبرانی ندارد. اگر قیمت نفت کاهش یابد سهم درآمدِ مجاز برای بازیافت هزینه نیز کاهش می‌یابد. کارمزد پاداشِ از پیش تعیین‌شده قرارداد خدمات، برخلاف PSC، بدان معناست که پیمانکار از افزایش میزان ذخایر یا قیمت نفت هیچ سودی نمی‌برد.

۵ سخن پایانی

دولت و شرکت‌های نفتی از جمله بازیگرانِ اصلی در بخش بالادستیِ صنعت نفت هستند. سطح رقابت در حوضه‌های نفتی با یکدیگر فرق می‌کند. معمولاً دولت به دنبال سطح بالایی از سهم حاصل از فعالیت‌های نفتی است در حالی که شرکت‌های نفتی خواهان تضمینِ سطح متناسب، قابل پیش‌بینی و کافی از سودآوری در عملیات‌های خود هستند. وضع مالیات بخش عمده‌ای از سود تولیدکنندگان را حذف می‌کند بنابراین، شرکت‌های نفتی نظام‌های مالی را ترجیح می‌دهند که به سطح کم مالیات کل، منجر شود و از این‌رو بازده پس‌مالیاتیِ بالایی را ممکن می‌سازند. به این ترتیب چالش در طراحی برنامه مالی است که دو هدفِ رقابتی را محقق کند و طی انجام این کار با توجه به ساختارِ صنعتِ استخراج نفت مسیری از میانِ پیچیدگی‌های مرتبط با مالیاتِ نفتی باز کند.

هیچ راه حل جهان شمولی در مورد چالش‌های وضع مالیاتِ نفتی وجود ندارد. تنوع، انعطاف‌پذیری و آمادگی سازگار شدن و تکامل یافتن از جمله الزامات کلیدی هستند. عوامل چند وجهیِ زمین‌شناسی، فنی و بازاری، در کنار یکدیگر، همراه با اثراتِ ناپایدار و غیر قابل پیش‌بینی سیاسی به طرح مالیِ نفتیِ مورد استفاده شکل می‌دهند. منابع طبیعی نظیر نفت خام، خصوصیاتی دارند که طراحی نظام مالیاتی بهینه را پیچیده می‌سازد. نفت جزء منابعِ تجدیدناپذیر است و پیش از آنکه هر گونه سرمایه‌گذاری روی آن انجام شود، سطح نامعینی دارد. ماده خامِ ورودی و در عین حال محصولی نهایی به حساب می‌آید که هیچ جایگزین آشکاری ندارد –البته تاکنون نداشته است.

هیچ کدام از ابزارهای مالیاتی که در پژوهش‌های پیشین مطرح شدند دارای نظام مالیاتی بهینه نبودند. ابزار اصلی مالیات که غالباً پیشنهاد می‌شود شامل حق امتیاز، مالیات براون، RRT و مالیات بر درآمد است. هر مالیات دارای مزایا و محدودیت‌هایی است. ابزار مالیاتی می‌تواند انحرافاتی ایجاد کند اما نمی‌توان صرفاً به این دلیل آن را از فرآیند کنار گذاشت. مناسب‌ترین ابزار مالیاتی آن است که حداقلِ انحراف را داشته باشد و هر چقدر مالیات بیشتر به سمت اجاره اقتصادی هدف‌گذاری شود انحراف کمتری به وجود می‌آید. مفهومِ مالیات ایدئال از جمله الگوهای مفید است که طبق آن، نظام‌های مالیِ واقعی و پیشنهادی سنجش می‌شود.

در بین کشورهای تولیدکننده نفت، نظام‌ها و تکنیک‌های مختلفی توسعه یافته است که طبق آنها دولت سهم خود از نفت ملی را مطالبه می‌کند که با انواع بسته‌های مالی پشتیبانی می‌شوند. عوامل کلیدیِ تعیین‌کننده شامل شرایط منطقه به ویژه مواردی هستند که به سبکِ روابطِ بین نهادهای حاکم و شرکت‌های استخراج‌کننده نفت مربوط می‌شوند. این موارد در مقابل بر مبنای وضعیتِ عمومیِ بلوغ سیاسیِ دولتِ مورد بحث و رواجِ ایدئولوژی و مناسباتِ سیاسی تعیین می‌گردد. می‌توان انتظار داشت که شروط سختگیرانه‌تری در توافقنامه‌های

قراردادی وارد شود اما این حالت لزوماً همیشه صحت ندارد. توافقاتِ امتیازنامه‌ای نیز می‌توانند سختگیرانه باشند. شاید دو طرحِ امتیازنامه‌ای ساختاری مشابه داشته باشند اما نرخ مالیاتی به کار رفته در آنها می‌تواند به اختلافاتِ عمده‌ای در خروجی منجر شود که در بریتانیا و نروژ مشهود است.

نرخ مالیات سرنخِ ضعیفی در مورد طرح‌های مالیِ بنیادی، نقاط ضعف و قوتِ آن در اختیار ما می‌گذارد: بخشودگی‌های مالی و شیوه محاسبه مأخذ مالیاتی به اختلافاتی عمده در بسته‌های مالی منجر می‌شود.

یادداشت‌ها:

۱. کشف گاز طبیعی در هلند در دهه ٦٠ میلادی اثراتی منفی بر بخش ساخت و تولید هلند داشت که عمدتاً به افزایش نرخ ارز واقعی مربوط می‌شد. در انتهای دهه ۷۰ میلادی، وقتی درآمد بالای گازی از منابع گازی اُفت کرد، صنایع سنتی نتوانستند زیانِ درآمدیِ خود از بخش انرژی را جبران کنند در نتیجه، بیکاری افزایش یافت. از پیامدِ منفیِ اکتشاف منابع طبیعی برای صنایع سنتی عموماً با عنوانِ بیماریِ هلندی یاد می‌شود.

۲. نظریه وضع مالیاتِ بهینه اساساً بر مالیات بر درآمد شخصی متمرکز است و به اثراتِ وضع مالیات بر خانوارها توجه دارد نه تولیدکنندگان. در پژوهش‌های زیر بحث مفصلی درباره نظریه وضع مالیاتِ بهینه ارائه شده است: رمزی (۱۹۲۷)، دایموند و میرلس (۱۹۷۱، a و b)، داسگوپتا و استیگلیتز (۱۹۷۱)، ساموئلسون (۱۹۸٦) و هیدی (۱۹۹۳). آلتای (۲۰۰۰) خلاصه‌ای مفصل از مطالعاتِ مختلف در مورد نظریه مالیات بهینه ارائه می‌کند.

۳. پژوهشی مفصل توسط راجا (۱۹۹۹) انجام شده است؛ همچنین، باند و همکارانش (۱۹۸۷) و اسمیت (۱۹۹۹).

۴. برای مثال به این مقالات مراجعه کنید: گارنائوت و کلونیس–راس (۱۹۷۹)، سوآن (۱۹۸٤)، رولند و هان (۱۹۸٦) و کیمپ و همکارانش (۱۹۹۷)؛

۵. کیمپ و همکارانش (۱۹۹۷).

۶. طبق پیشنهادکننده‌اش براون (۱۹٤۸)، همان طور که در واتکینس (۲۰۰۱) اشاره می‌شود.

۷. به این مقالات مراجعه کنید: گارنائوت و کلونیس–راس (۱۹۷۵)، دوروکس و موریس (۱۹۸۳)، کمیپ و استفنز (۱۹۹۷).

۸. طرح مالی نفت خام بریتانیا به مرور زمان شامل حق امتیاز، مالیات بر درآمد نفتی (شبیه RRT) و مالیات شرکتی –مالیات بر درآمد– شده است.

منابع:

Altay, A. (2000), 'The theory of optimal taxation and new approaches: a survey', available at: http://www.sbe.deu.edu.tr/SBEWEB/dergi/dergi05/altay.htm (accessed Spring 2002).

Banfi, S., M. Filippini and A. Mueller (2003), 'Rent of hydropower generation in Switzerland in a liberalised market', Working Paper, Centre for Energy Policy and Economics (CEPE), Federal Institute of Technology, Zurich.

Blinn, K., C. Duval and H. Leuch (1986), 'International Petroleum Exploration & Exploitation Agreements –Legal, Economic and Policy Aspects', Report, Barrows Company Inc., New York.

Bond S., M. Devereux and M. Sunders (1987), 'North Sea Taxation for the 1990's', Report, Institute for Fiscal Studies, London.

Brown, E. (1948), 'Business income taxation and investment incentives', in L.A. Metzler (ed.), *Employment and Public Policy, Essays in Honour of A.H. Hansen*, New York: Norton, pp. 300–316.

Crawson, P. (2004), *Astride Mining: Issues and Policies for the Minerals Industry*, Mining Journal Books Ltd.

Dasgputa, P. and J. Stiglitz (1971), 'Differential taxation, public production and economic efficiency', *Review of Economic Studies*, 38, 151–74.

Devereux, M. and C. Morris (1983), 'North Sea oil tax revenues: a disaggregated model', Institute for Fiscal Studies Working Paper No. 40.

Diamond, P. and J. Mirrlees (1971a), 'Optimal taxation and public production I: production efficiency', *American Economic Review*, 61, 8–27.

Diamond, P. and J. Mirrlees (1971b), 'Optimal taxation and public production II: tax rules', *American Economic Review*, 41, 277–96.

Garnaut, R. and A. Clunies-Ross (1975), 'Uncertainty, risk aversion and the taxing of natural resource projects', *Economic Journal*, 85, 272–87.

Garnaut, R. and A. Clunies-Ross (1979), 'The neutrality of the resource rent tax', *Economic Record*, 55, 193–201.

Garnaut, R. and A. Clunies-Ross (1983), *Taxation of Mineral Rents*, Oxford and New York: Oxford University Press.

Heady, C. (1993), 'Optimal taxation as a guide to tax policy: a survey', *Fiscal Studies*, 14, 15–41.

Hotelling, H. (1931), 'The economics of exhaustible resources', *Journal of Political Economy*, 39, 111–19.

Johnston, D. (1998), *International Petroleum Fiscal Systems and Production Sharing Contracts*, Tulsa, OK: PennWell Books.

Johnston, D. (2001), *International Production Sharing Contract Cash Flow Model*, Hancock, NH: Daniel Johnston & Co., Inc.

Kemp, A. and L. Stephens (1997), 'The UK petroleum fiscal system in retrospect', Working Paper, University of Aberdeen, Scotland.
Kemp, A., L. Stephens and K. Masson (1997), 'A reassessment of petroleum taxation in the UKCS', Working Paper, University of Aberdeen, Scotland.
Kooten, C. and E. Bulte (2001), *The Economics of Nature: Managing Biological Assets*, Oxford: Blackwell.
Mommer, B. (1997), 'Oil price and fiscal regimes', Oxford Institute for Energy Studies, WPM 24.
Mommer, B. (2001), 'Fiscal regimes and oil revenues in the UK, Alaska and Venezuela', Oxford Institute for Energy Studies, WPM 27.
Musgrave, R. (1982), 'A brief history of fiscal doctrine', in A. Auberbach and M. Feldstein (eds), *Handbook of Public Economics*, vol. 1, Amsterdam: Elsevier Science, pp. 1–59.
Nakhle, C. (2007), 'Do high oil prices justify an increase in taxation in a mature oil province? The case of the UK continental shelf', *Energy Policy*, 35, 4305–18.
Nakhle, C. (2008), *Petroleum Taxation: Sharing the Oil Wealth*, London: Routledge.
Oil & Gas UK (2007), 'The 2007 economic report', www.ukooa.co.uk/issues/economic/index.cfm.
Raja, A. (1999), 'Should neutrality be the major objective in the decision-making process of the government and the fi rm', available at: www.dundee.ac.uk/cepmlp/main/html/car_article2.htm (accessed December 2000).
Ramsey, F. (1927), 'A contribution to the theory of taxation', *Economic Journal*, 37, 47–61.
Ricardo, D. (1951), *The Principles of Economy and Taxation*, Vol. 1: *Works and Correspondence*, edited by P.
Sraff a and M.H. Dobb, Cambridge: Cambridge University Press, as referred to by Watkins (2001).
Rowland, C. and D. Hann (1986), 'UK oil taxation: failings and reform', Discussion Paper, SEEDS No. 32,
Surrey Energy Economics Centre, University of Surrey, Guildford.
Samuelson, P. (1986), 'Theory of optimal taxation', *Journal of Public Economics*, 30, 137–43.
Sarma, J. and G. Naresh (2001), 'Mineral taxation around the world: trends and issues', *Asia-Pacific Tax Bulletin*, January, 2–10.
Smith, B. (1999), 'The impossibility of a neutral resource rent tax', Working Paper no. 380, Faculty of Economics and Commerce, Australian National University, Canberra.
Stiegeler, S. (ed.) (1985), *Dictionary of Economics and Business*, 2nd edn, Aldershot: Gower.

Sunley, E., T. Baunsgaard and D. Simard (2002), 'Revenue from the oil and gas sector: issues and country experience', IMF Conference Proceedings on Fiscal Policy Formulation and Implementation in Oil Producing Countries, Washington, DC, June 5–6.
Swan, P. (1984), 'Resource rent tax', *Economic Papers*, 3, 1–11.
Watkins, C. (2001), 'Atlantic Petroleum Royalties: fair deal or raw deal', The AIMS Oil and Gas Papers, Atlantic Institute for Market Studies, Halifax, Nova Scotia.

۱۸ رفتار بازارهای نفتی: اصول بنیادی و روان‌شناختی در کشف و شکل‌گیری قیمت

دالتون گاریس[1]

طبیعت از قوانینی پیروی می‌کند که به طور مستقل از یکدیگر عمل می‌کنند چه آنها را بشناسیم چه نشناسیم؛ تنها راهِ مطیع نمودن طبیعت برای انسان این است که این قوانین را درک کند و آنها را به کار بندد. به همین دلیل است که علم کیمیاگری شکست خورد و علوم طبیعی برتری یافتند.

اما پدیده‌های اجتماعی فرق می‌کنند: پدیده‌های طبیعی دارای اعضای متفکر و مختار هستند. رویدادها از قوانینی که مردم گمان می‌کنند مستقل از یکدیگرند، پیروی نمی‌کنند. برعکس، طرز فکر افراد یکی از اجزای جدایی‌ناپذیر این بحث است. همین مفهوم، راه را برای ورودِ کیمیاگری به علوم طبیعی باز می‌کند. می‌توان بدون داشتنِ دانشِ علمی به موفقیتِ عملیاتی دست یافت. به طور مشابه، روش‌های علمی نیز در ارزیابیِ رویدادهای اجتماعی ناکارآمد هستند، همان طور که علم کیمیاگری در تغییرِ ذاتِ علوم طبیعی با شکست مواجه شد.

(سوروس، ۲۰۰۳، صفحه ۳۱۱)

۱ مقدمه

سوروس[2] (۲۰۰۳) دشواریِ مدل‌سازیِ رفتارِ بازارهایی از جمله بازار آتی کالای محصولاتِ نفت خام، گاز و مواد نفتی را بررسی می‌کند. بازارهای آتی انرژی پیچیده‌ترند چون خرید یا فروش کالا با قیمتی از پیش تعیین‌شده و در دوره زمانیِ مشخص در آنها اجباری است.

پیچیدگی‌های رفتاریِ بیشتری به سبب استفاده از بازار سهام به وجود می‌آید که از جمله می‌توان به صندوق‌های سرمایه‌گذاری تأمینی –زینهاری– اشاره کرد. در نتیجه باعث افسارگسیختگیِ قیمت و افزایشِ نوساناتِ غیرمنطقیِ بازار نفت خام می‌شود. ناپایداریِ بازار به این علت پدیدار می‌شود که بازارهای نفتی دچار تحولاتِ بنیادی شدند در نتیجه کارآمدی و مفید بودنِ تحلیلِ بنیادیِ عرضه–تقاضا را برای کشف و پیش‌بینیِ قیمت محدود می‌سازند.

اصول بنیادی عرضه و تقاضا به طور معمول، بحث اصلی را درباره شکل‌گیریِ قیمتِ نفت خام به وجود می‌آورد با این حال در این فصل درباره شرایطی بحث خواهیم کرد که باعث می‌شود معامله‌گران تحلیلِ عرضه و تقاضای بنیادی در بازار نفت خام را به سبب ویژگی‌های روان‌شناختی رد کنند. در این فصل، ما تحلیل رفتاری از بازار نفت خام را ارائه می‌کنیم تا نشان دهیم که رفتارِ قیمت‌ها در بازار نفت تحت شرایط گوناگون

[1] Dalton Garis

[2] Soros

چگونه است. از جمله نکات مهم اشاره به علت این مطلب است که چرا به اصول بنیادیِ عرضه و تقاضا در برخی موارد بی‌توجهی می‌شود در حالی که در سایر مواقع، آنها شکل‌دهنده تحلیلِ اصلی هستند. این نوع درک باعث تسهیل تحلیلِ سود–زیان با توجه به ارزش زمانی می‌شود. در این فصل بحث بهینه‌کاویِ قیمت نفت خام را پیش می‌بریم و به نقش بازارهای آتی در کشف قیمت رفتار معامله‌گرانِ بازار اشاره خواهیم کرد.

در دهم جولای ۲۰۰۸ قیمت معیار نفت خام در بازار معاملاتِ *نیویورک مرکانتیل اکسچنج*، نفت وست‌تگزاس اینترمدیت شبه‌قراردادهای آتی، به بیشترین قیمت خود معادل ۱٤۷,۲۷ دلار در هر بشکه رسید. در آن زمان، بازار شبه‌معاملات آتیِ عمان –*دوبیمرکانتیل اکسچنج*– قیمت معیارِ نفت خام شور *گلف میدل ایست* به ۱٤۳,۲۰ دلار در هر بشکه رسید. در نهایت، این قیمت‌ها کاهش یافت چون بازار قادر نبود این افزایشِ نمایی و تصاعدی در قیمت‌ها را بپذیرد. در انتهای ماه فوریه ۲۰۰۹ نفت خام در بازار نیویورک با قیمت ٤٤,۱۲ دلار در هر بشکه به فروش رسید و این قیمت در بازار نفت خام شور *دوبی مرکانتیل اکسچنج* با قیمت ٤٥,۳۰ دلار به ازای هر بشکه بود. این الگوی قیمت نفت خام یکی از دلایل بروز بحران اقتصادی جهان در ۲۰۰۸–۲۰۰۹ بود. افزایش تصاعدیِ قیمت نفت خام به افزایش تصاعدیِ قیمت بنزین، روغن حرارتی، دیزل و سوخت جت منجر شد. افزایش معنادار در قیمت این سوخت‌ها پیامدهای قابل ملاحظه‌ای برای مخارج مصرف‌کنندگان داشت زیرا این دسته از سوخت‌ها حدود ٤۰٪ از هزینه غذا و حمل و نقل را شامل می‌شدند. از تحلیل رفتاری بازار برای تبیینِ علتِ افزایش سریع و فزاینده قیمت‌ها، علت سقوط قیمت‌ها در کوتاه‌مدت و این مطلب استفاده می‌شود که معامله‌گرانِ بازار چطور می‌توانند نوسان بزرگ قیمتیِ بعدی را بسنجند تا از فعالیت‌های تجاریِ خود محافظت نمایند.

۲ بازارهای فرآوردهای خام

در هندبوکِ بازار نفت خام بین‌المللی ۲۰۰۷ (انتشارات Energy Intelligence, 2007) درباره ۱۸۷ نفت خام مختلف بحث می‌شود و فهرستی از آنها ارائه می‌گردد که عاملانِ انرژی در سطح جهان آنها را تولید و مصرف می‌کنند. با این حال فقط بخش کوچکی از این تولید مستقیماً به بازار فروخته می‌شود. عملاً تمام تولیداتِ جهانی مستقیماً از تولیدکننده به مصرف‌کننده معامله می‌شود بدون آنکه وارد بازار واسطه نهایی شود که مملو از فریاد و بحث و جدل است و قیمت‌های مزایده‌ای و غیره برای مشاهده عموم در آنجا نمایش داده می‌شود [۱]. نتیجه این است که قیمت فروش واقعیِ اکثر محصولاتِ خام جهان صرفاً به طور غیرمستقیم در یک یا چند حلقه معاملاتی مشاهده می‌شود.

با این حال از قیمت‌های مطرح‌شده از سوی بازارهای بزرگ معاملات نفت نظیر NYMEX[1]، DME[2] یا ICE[3] به صورت قیمتِ معیار برای تعیینِ دیگر فرآورده‌های خام استفاده می‌شود. روش تعیین قیمت حاصل ترکیبِ روش‌های قیمت‌گذاریِ دستوری و مقایسه با قیمت‌هایی نظیر قیمت در بازار NYMEX وست‌تگزاس اینترمدیت، نفت خام برنت ICE یا نفت شور عمان DME است. نفت خام با تخفیف عرضه خواهد شد یا با قیمتی اضافی تا قیمت معیار به نزدیک‌ترین حالتِ خود به قیمت نفت خام معامله‌شده برسد.

بنابراین، نفت خام جهانی کم و بیش نسبت به یکی از مواد خامِ معیارِ بازاریابی‌شده موجود، قیمت‌گذاری می‌شود. پس قیمت معیار این موارد چطور معین می‌شود؟ فرآیند قیمت‌گذاری شامل چه مؤلفه‌هایی است؟ قیمت معیارِ فرآورده‌های خام به واقع بازنمود چه چیزی هستند و تا چه حد بازتابی از هزینه نهاییِ واقعی در تولیدند؟

۳ قیمت نفت خام و روش قیمت‌گذاریِ آن

قیمت‌گذاری

نقش بازاریاب یا نفت خام معیار در بازارهای نفت جهانی کشفِ *اشتیاق به پرداخت* قیمتی معین به ازای هر بشکه برای بشکه بعدیِ فرآورده خام است و برابر است با *اشتیاق برای عرضه* بشکه بعدیِ نفت خام در زمانی که بازار قیمتی معین را به ازای هر بشکه فروش‌رفته پیشنهاد می‌کند. در منطقِ غیرخاورمیانه–شمال آفریقا (MENA)، تولید نفت با ذخایر و اکتشافات جدید جایگزین نمی‌شود [۲]. همچنین می‌توان این‌طور استدلال کرد که حداقل در مورد فرآورده‌های خام خاورمیانه با قیمت حدود ۸۹ دلار به ازای هر بشکه و برای محصولاتِ وست‌تگزاس اینترمدیت –که در NYMEX به فروش می‌رفت، هفته اول دسامبر ۲۰۰۷– بازتابی از هزینه نهاییِ واقعیِ تولید نیست –که می‌تواند تا حد ٦ دلار در هر بشکه برای برخی از دولت‌های تولیدکننده نفتِ حاشیه خلیج فارس نیز پایین بیاید که به واقع نشان دهنده هزینه تولید اضافی از همان چاه‌ها و ذخایر است.

اولین اصول اقتصاد می‌گوید که قیمت برای کالا یا خدمات مبادله‌شده برابر با نقطه‌ای است که هزینه نهایی در تولید برای عرضه‌کننده، معادلِ ارزشِ نهاییِ مصرفی برای تقاضاکننده باشد اما این مطلب در مورد نفت خام چندان صدق نمی‌کند. اگر صحت داشته باشد، مانند دیگر کالاها، نفت تولیدی با کمترین هزینه در ابتدا فروش می‌رود و پس از آن، نفتِ تولیدی با قیمت گران‌تر فروخته می‌شود. اما در بازار نفت این‌طور نیست. برخی از

---

[1] New York Mercantile Exchange

[2] Dubai Mercantile Exchange

[3] Intercontinental Exchange

گران‌ترین نفت‌های تولیدی در کنارِ نفت‌های تولیدیِ ارزان‌تر در بازاری یکسان با قیمتی متناسب با هزینه نهاییِ گران‌ترین نفت خام تولیدی به فروش می‌رود و در عین حال تولیدکننده زمان‌بندی‌های کم‌هزینه‌تری دارد که باعث ایجاد تفاوت‌های بزرگی می‌شود. بنابراین، در بازاری که کالاهای کمیاب، جهانی شده‌اند و هزینه تفاوت‌های کیفی و مراودات پذیرفته می‌شود، به نظر می‌رسد که نفت خام در بالاترین قیمتِ نهاییِ تولید به فروش برسد نه کمترین قیمت.

در حقیقت نفت با قیمتی به فروش می‌رود که کم و بیش نشان دهنده ارزش مصرفیِ آن است نه هزینه نهاییِ تولید. این مطلب نشان می‌دهد که چرا چیزی که تولیدِ عمده آن در برخی مناطق جهان نسبتاً ارزان است بسیار بیشتر از هزینه تولیدش به فروش می‌رسد. علت آن است که به طور بی‌سابقه‌ای، مصرف‌کنندگان در حال رقابت بر سر منابع جهانیِ نفت خام هستند و همین قضیه باعث افزایش تقاضا می‌شود. در بخش ۱۰ درباره روابط عرضه و تقاضا و اثرِ کنونی آنها بر قیمت نفت به طور مفصل بحث خواهیم کرد.

در منطقه خلیج فارس، مسئله ذخایر و مخازن در حال پیچیده‌تر شدن است. عمدتاً کربوناتی هستند و مقادیر زیادی آب –برش آب– در این ذخایر وارد شده است. با آنکه چاه‌های MENA عموماً نفت بیشتری دارد، جریان آنها به اندازه دیگر مناطقِ نفتیِ جهان بالا نیست. بخش عمده‌ای از زیرساخت‌های دریایی و خشکی در حال فرسوده شدن هستند، زیرا بیش از ۳۵ سال سن دارند و نیازمندِ بروزرسانی هستند. این وضعیت در دورانی رخ داده که پیش‌بینی می‌شود چنین بروزرسانی‌هایی بیش از قیمت‌های سه سالِ گذشته باشد که علتِ آن رقابت با چین و دیگر اقتصادهای رو به رشد برای دستیابی به منابع اساسی نظیر فولاد است. هزینه فولاد و دیگر مصالح ساختمانی افزایش یافته است چون چین در حال مبدل شدن به اقتصاد اول دنیاست و کالاهای اساسیِ جهان را برای تأمین و گسترش زیرساخت‌های خود به شدت جذب می‌کند همچنین مصرف‌گرایی در طبقه متوسط مردم چین نیز بیشتر شده است.

علاوه بر این، هزینه‌های معمول که در میان تمامی مناطق نفتیِ خواهانِ گسترشِ تولیداتِ خود به اشتراک گذاشته می‌شود، هزینه‌های اضافیِ مربوط به ریسک‌های سیاسیِ منحصر به خاورمیانه را نیز باید بیفزاییم. طبق برررسی‌های نگارنده برای ۲۰۰۶–۲۰۰۷، برآورد می‌شود که ریسک اضافی بالغ بر ۱۸ تا ۲٤ دلار به قیمتِ کنونی نفت خام بیفزاید. به این ترتیب قیمت نفت خام معیار در جهان، در پنجم دسامبر ۲۰۰۷، ۸۹ دلار به ازای هر بشکه بود که به تخمینِ هزینه دستیابی به یک بشکه اضافی نفت بسیار نزدیک بود.

موارد مصرفِ قیمت معیار

از قیمت فرآورده‌های خام معیار تقریباً به طور انحصاری به صورت *تضمین قیمت* و برای ردیابیِ تغییر قیمت نفتِ مورد انتظار طی دوره مراوده جریان درآمدیِ نفت خام معامله‌شده به طور فیزیکی استفاده می‌شود.

همان طور که در زیر اشاره خواهیم کرد ابزارهای مقابله با ریسک و سفته‌بازان از قیمت معیار فرآوردهای نفت خام به صورت درگاهی برای ردیابیِ تغییراتِ قیمتیِ فروشِ فیزیکیِ نفت خام و تحویل‌های خود استفاده می‌کنند. با وجود اینکه قیمت معیار نفت خام با این موارد از نظر خصوصیاتِ فیزیکی‌شان فرق دارد، کیفیتِ ضروری این است که معیارها در تعامل با نفت خام فیزیکی، قیمتِ را زیر نظر داشته باشند و به صورت قیمتِ نیابتی[1] عمل کنند. همین خصوصیت است که به آنها اجازه می‌دهد تا ضمانت قیمتی در مقابلِ حرکتِ قیمت، به معامله‌گرانِ صنعت نفت ارائه شود. معامله برحسب قیمت معیار فرآورده‌های خامِ خریداری شده و فروخته‌شده در بازارهای آتی تقریباً ۲۰ برابر بیشتر از کمیّت فیزیکیِ کنونیِ موجودشان است [۳] تقریباً هیچ‌کدام از آنها به تحویل فیزیکیِ واقعی نمی‌رسند. علت در زیر بررسی می‌شود [٤]. در پایانِ دوره قرارداد، همان طور که خرید یا فروشِ جریان‌های واقعیِ نفت خام نزدیک‌تر می‌شود، هدف حفظِ قراردادهای معیار در مقامِ ضمانتِ قیمتی، صورت می‌گیرد و معامله‌گران با استفاده از round-turn در معاملاتِ خود، موقعیتِ قراردادهای آتی‌شان را برای رسیدن به قیمت معیار فسخ می‌کنند.

نفت‌های معیار اصلیِ جهان –بهینه‌کاوی‌ها– در ارتباط با بازاری خاص، که فروشِ اصلی‌اش در ۲۰۰۸ رخ می‌دهد، به شرح زیر است:

۱. نفت وست‌تگزاس اینترمدیت –WTI– در بازار NYMEX معامله می‌شود. یکی از انواع نفت‌های سبک، شیرین و ترکیبی از جریان‌های نفت خام وست‌تگزاس و ایسترن نیومکزیکو در آمریکا است. تولید فیزیکیِ این محصول بالغ بر ۷۵۰ هزار بشکه در روز –bpd– است. این نفت خام از خشکی استخراج می‌شود و تقریباً هرگز در خارج آمریکا فروخته نشده است. با این حال به سبب ارتباطِ آن با بزرگترین تک‌بازارِ مصرفیِ نفت جهان، محبوبیت خاصی پیدا کرده است و جزء نفت‌های خام معیار به حساب می‌آید که ناشی از انعکاسِ آنیِ تغییرات در تقاضای مصرفی آمریکاست.

با این حال نفت خام WTI تحت فشار اُفت تولید است که نقشِ آن در مقام نفت خام معیار را تهدید می‌کند. در حال حاضر حدود ۱۸٪ از ۸۳ میلیون بشکه در روز از شاخص کل معاملاتِ نفت خام جهان را به خود اختصاص می‌دهد. برای آنکه این شاخص، مؤثر باشد باید فروش فیزیکی کافی وجود داشته باشد تا سنجه‌ای مناسب از حساسیت بازار مشخص گردد در غیر این صورت، قیمتِ آن می‌تواند نوسان شدیدی را تجربه کند که ناشی از انجام معاملاتِ محدودِ آن است. همچنین جزء نفت‌های سبک و شیرین است که با اکثر تولیدات جهانی فرق دارد و سنگین‌تر و شورتر است. با این

[1] price proxy

حال هیچ قدمی در جهت جایگزین کردن WTI با نفت شاخص دیگری نیست چون فعالانِ بازار به خوبی آن را می‌شناسند و بنابراین، یکی از انواعِ نفت خام مورد اعتماد است.

۲. نفت خام برنت –ICE– یکی از نفت‌های خام شاخصِ ترکیبیِ فیزیکی و زمانی است که در حال حاضر بخش عمده فروش نفت خام جهان را به خود اختصاص می‌دهد (انرژی اینتلیجنس، ۲۰۰۷). یکی دیگر از انواع نفت خام ترکیبیِ شیرین است و تقریباً تحت فشارِ اُفت تولید قرار دارد. با این حال به سبب انعطاف‌پذیریِ تجاری و چندکاربردی بودنِ ساختاری‌اش عمدتاً تولیدکنندگانِ خاورمیانه از آن برای تعیینِ قیمتِ نفت خام خود استفاده می‌کنند و تنها نوعی به حساب می‌آید که در بازارهای معاملاتِ نقد به فروش می‌رسد.

۳. DME Oman جدیدترین شاخص نفت خام است و به نظر نگارنده این مقاله می‌تواند به مرور زمان، دیگر شاخص‌های نفت را تسخیر کند. انحصاراً در بازار Dubai Mercantile Exchange به فروش می‌رسد که شراکتِ ۵۰–۵۰ با NYMEX دارد و محصولاتش را در بازار بورس، فهرست‌بندی متقابل می‌کند[1]. تولید فیزیکی چیزی در حدود ۷۰۰ هزار بشکه در روز است. نفت DME Oman از نوع شور سنگین است و در حال مبدل شدن به تولید عمده نفت خام جهان است. همچنین در خاورمیانه تولید می‌شود که در آنجا، هزینه تولید نهایی بازنمود بهتری از واقعیت‌های تولید در خاورمیانه است. در نهایت اینکه، چون دیگر حوضه‌های نفتی در خارج از مناطق MENA رو به اتمام هستند، درصدِ سهمِ نفت خام خاورمیانه در کل تولیداتِ خام مرسوم باید افزایش یابد در نتیجه، تقاضا برای نفت خام شور سنگینِ خاورمیانه به منظور فروش فیزیکی نفت خام تقویت می‌شود. مدتی است که پادشاهیِ عمان از قیمت پایانیِ روزانه قراردادهای آتی DME Oman برای تعیینِ قیمت فروش رسمی‌اش –OSP– برای فروش محصولات خام خود استفاده می‌کند. احتمالاً دیگر دولت‌های حاشیه خلیج فارس نیز در آینده نزدیک از چنین الگویی تبعیت کنند.

معامله عملیِ نفت خام شاخص

با آنکه بخش عمده‌ای از نفت خام جهانی برحسب تنِ متریک تعیین کمیّت می‌شود، شاخص نفت خام از نوع قرارداد تحویل‌دهی یا تحویل‌گیری در تاریخ مشخصی در آینده و با استاندارد ۱۰۰۰ بشکه است که هر بشکه ٤۲ گالن آمریکایی خواهد بود، که طبق گرانروی و میزانِ گوگرد مشخص می‌شود. عموماً دیگر خصوصیاتِ نفت خام در قراردادِ معیار ذکر نمی‌شوند [۵]. همان طور که پیش‌تر گفتیم این قراردادها به این

[1] cross-list

منظور خرید و فروش می‌شوند که فعالانِ بازار از خود در برابر ریسک ذاتیِ قیمت‌ها که در بازار فیزیکی نفت دیده می‌شود –چه در سمت فروش چه در سمت خرید– محافظت کنند. تولیدکننده‌ای که نفتی برای فروش دارد در سمت لانگ[1] نفت قرار می‌گیرد تا آن را بفروشد. در اینجا نگرانی آن است که قیمت پیش از تکمیل مراوده کامل شود که موجب کاهش درآمد می‌گردد. سفته‌باز، امروز، تولید را با قیمتی توافقی می‌خرد به این امید که آن را در آینده با قیمت بالاتر بفروشد. بنابراین، تولیدکننده، درآمد مورد نیاز را کسب می‌کند و سفته‌باز –که احتمال به سود رسیدن دارد– تمامی ریسکِ قیمتی را که تولیدکننده از آن اجتناب می‌کند به دست می‌آورد.

بازار نفت خام شاخص، در واقع *بازاری برای تضمین ریسک قیمت* است که در آن، ریسک خرید و فروش می‌شود. در هر روز معینی، ۷۵۰ هزار بشکه نفت WTI دارای قراردادهایی است که بدهی‌های تسویه‌نشده‌ای معادل ۱۵ میلیون بشکه دارند. تعداد کمی از این قراردادهای معامله‌شده به واقع تحویل داده می‌شوند. در عوض طی ردیابیِ قیمت نفتی که خریداران و فروشندگان به واقع در حال بازاریابی آن هستند در نقش گزینه جایگزین ظاهر می‌شوند. خریداران و فروشندگان از طریق خریدِ حالت مقابل در قالب چیزی که «round turn» – معاملاتِ دوطرفه یا معاملاتِ دوچرخشی– نام دارد قراردادها را نهایی می‌کنند و از این طریق در بازار شاخص، صفر خالص می‌شوند. مهم نیست که نفت شاخص همان قیمتِ نفت خام فیزیکی را داشته باشد که قیمتش با ابزارهای مقابله با ریسک مهار شده است فقط اینکه قیمتش به وضعیت بازار همراه با نفت خامی که ریکسش مهارشده است حرکت کند و به آن واکنش نشان دهد.

نفت خام شاخص که در بازار مزایده آزاد یا خرید و فروشِ الکترونیکی مبادله می‌شود، خرید و فروش می‌شود و از کارگزاران برای انجام معاملات استفاده می‌کند. خریدار و فروشنده نیز از اطلاعات هر بازاری که بتواند به آنها کمک کند تا از آینده قیمت نفت باخبر شوند استفاده خواهند کرد. منبع اصلیِ چنین اطلاعاتی از جانبِ معامله‌گران و بنگاه‌های کارگزاری است که در واقع همین موارد جزر و مد واقعیِ بازار را تجربه می‌کنند و سفارش‌های خرید و فروش را ارائه می‌نمایند. همچنین اطلاعاتی نیز از جانب کسانی کسب می‌شود که نظراتی درباره قدرتِ نسبیِ بازار و فراز و نشیبِ آن در هر لحظه دارند اما درک بازار آتی نفت و معاملاتِ شاخص که در واقع بازارهای ریسکی هستند و ریسک قیمت بین خریدار و فروشنده مبادله می‌شود چیزی را روشن و مبرهن می‌سازند که اگر با استفاده از دیگر شیوه‌ها مشاهده می‌شد چیزی جز رفتارهای به شدت پیچیده نبود.

٤ اهمیتِ بازارهای آتی در کشف قیمت‌های نقد: مقابله در برابر ریسک و سفته‌بازی

[1] Long: ابتدا می‌خرید و بعد می‌فروشید. –م.

اهمیت بازارهای آتی نفت به تسلط آنها در تعیین قیمت نقد مربوط می‌شود چون از *قیمت آتی مورد انتظار* است که برای تعیین قیمت چیزها در زمان حاضر استفاده می‌شود. حتی فروشندگان میوه‌وتربار نیز باید سهم خود را بر مبنای هزینه جابه جاییِ مورد انتظار با هر چیزی که در حال حاضر به فروش می‌رسد قیمت‌گذاری کنند. نفت خام نیز دقیقاً همین‌طور است.

بازارهای آتیِ نفت خام بزرگترین بازارِ آتی کالا است که از نظر حجم مبادلات وجود دارد [٦]. همچنین آنها پیچیدگی خاصی دارند که فعالان بازار را قادر می‌سازد طیف گسترده‌ای از موقعیت‌های خرید و فروش را برای مبادله آسان و شفاف ریسک در اختیار داشته باشند.

در این بازارها شاهد حضور مقابله‌گران با ریسک هستیم که وظیفه خنثی کردنِ ریسک قیمت را برعهده دارند و شرکای آنها، سفته‌بازان نیز به دنبال سود کردن از ریسک هستند. مقابله‌گران با ریسک همان مصرف‌کنندگانِ فیزیکی نفت یا محصولاتِ آن به هر شکلی هستند که در مقام خریدار یا فروشنده ظاهر می‌شوند. آنها می‌توانند پالایشگاه‌هایی باشند که نفت را برای تأمین مواد خام خود می‌خرند یا آنکه فروشندگان به پالایشگاه باشند یا توزیع‌کننده باشند. نکته مهم این است که مالکِ نفت خام بودن یا خریدارِ نفت خام بودن باعث می‌شود که با ریسکِ قیمت مواجه شوید و این احتمال وجود دارد که قیمت علیه شما رفتار کند و شما نیز پرداخت زیاد و دریافتی کمی داشته باشید. بنابراین، از لحاظ مالی به نفع شما است که در حالتِ ممکن، خود را در برابر اینگونه زیان‌ها بیمه کنید. چون قیمتِ نفت خام را نمی‌توان کنترل کرد. کار بعدی که می‌توانید انجام دهید این است که نفت جایگزین را با قیمت قابل قبول امروز پیش‌خرید یا پیش‌فروش کنید تا در بازار فیزیکی در برابر زیان‌های مالی بیمه شوید. پس در این حالت شما نگران قیمت‌های متغیر نخواهید بود بلکه دیگران باید نگران باشند.

جدول ۱۸,۱ بهره و زیان در بازار آتی با ابزار مقابله با ریسک ۱۰۰۰ bbl

	بازار نقد	بازار آتی
امروز	$۹۷/۰۰	خرید ۱ bbl/$۸۸/۰۰ @
طی شش ماه	$۸۸/۰۰	فروش ۱ bbl/$۹۷/۰۰ @
زیان یا سود	($۹/۰۰) /bbl	$۹/۰۰

به این مثال ساده توجه کنید؛ تصور کنید که شما مالک نفت خام هستید و آن را به پالایشگاه با تاریخ تحویل ۱۲ ماه بعد می‌فروشید. نگرانیِ شما این است که طی ماه‌های بعد، قیمت نفت دچار اُفت شود و به درآمد شما آسیب بزند. شما در سمت لانگ معاملات نفت خام در بازار فیزیکی قرار دارید و می‌خواهید آن را

در آینده بفروشید. شما به دنبال این هستید که با اُفت ارزشِ احتمالیِ آن پیش از رسیدنِ زمان فروش مقابله کنید. شما واردِ مبادلاتِ آتی می‌شوید و نفت را به قصدِ تحویل در آینده، امروز می‌فروشید و قیمتی را تثبیت می‌کنید که مخارج شما را پوشش می‌دهد. وقتی زمان فروش نفت خام فیزیکی می‌رسد، نفت خامی که پیش‌تر در بازار آتی فروخته بودید «دوباره می‌خرید». به سبب وجودِ موقعیت‌های متقابل در قراردادهای آتی و فیزیکی، زیان در یک موقعیت با سود در موقعیت دیگر جبران می‌شود.

همان طور که جدول ۱۸,۱ نشان می‌دهد زیان در بازار نقد از فروش در قیمت پایین‌تر نسبت به قیمتِ خرید تجربه می‌شود و دقیقاً به واسطه سود در موقعیت‌های معاملاتیِ بازارهای آتی جبران می‌گردد. پس مقابله‌کننده با ریسک نیز نسبت به آنچه در بازار فیزیکی به دست خواهد آمد، موقعیتِ مقابل را در بازار آتی اختیار می‌کند. این حالت ضمانتی تقریبی در مورد حرکتِ قیمت است که درآمد تولیدکننده را به مرور زمان کاهش می‌دهد. این فرآیند در مورد پالایشگاه برعکس است که باید نفت خام را برای عملیات‌های خود به طور منظم خریداری کند. در این حالت نفت خام را امروز در بازار آتی می‌خرد سپس آن را در بازار پیش از تحویلِ نفت خام فیزیکی می‌فروشد. دوباره سود و زیان بین این دو بازار همدیگر را جبران می‌کنند.

مقابله‌کننده با ریسک در کسب‌وکار نفتی فعالیت دارد و می‌خواهد سود کند و به همین دلیل خرید و فروشِ نفت که قیمتِ آن با کوچکترین خبری در رسانه‌ها دچار نوسان می‌شود، جزء کسب‌وکارش به حساب نمی‌آید. درآمدِ مقابله‌کننده با ریسک به ارزش‌افزاییِ محصولات نفتی و گازی مربوط می‌شود و به پیشبرد نفت ربطی ندارد.

سفته‌بازان ریسک قیمت را از جانب مقابله‌کنندگان می‌پذیرند و قصد دارند تا از حرکت قیمت در نفت سود کنند. هیچ ثروتی از جنبه اقتصادیِ ارزش‌افزایی به وجود نمی‌آید. در عوض، سفته‌باز به صورت میانجیِ خلق ثروت عمل می‌کند و ریسک قیمت را می‌پذیرد تا مقابله‌کننده با ریسک بتواند وظیفه تبدیلِ منابع کم‌ارزش‌تر را به کالاهای پایانیِ ارزشمندتر انجام دهد.

در اینجا، تحققِ ارزشِ واقعیِ بازارهای آتی که دچار کمبود یا ناکارآمدی هستند دشوار است و اقتصاد نیز به سبب بیش‌تولید یا کم‌تولید خطاهای هزینه‌بری مرتکب می‌شود.

اکنون بازارهای آتی شامل همه انواع کالاهای صنعتی و معدنی، مالی، تهاتری و بسیاری دیگر از موارد هستند که در قالبِ قراردادهای قابل فروش و قابل معامله استاندارد و مشخص شده‌اند.

از میان بسیاری از شاخص‌های نفت خام منطقه‌ای و خارج از بورس، نظیر *پلاتس دوبی*[1] که در سنگاپور دادوستد می‌شود فقط درباره همین سه شاخص بحث کردیم که آن هم به سبب رواج آنها –یا آینده درخشان‌شان– در معاملاتِ نفت خام شاخص بود. با درک کلیِ نحوه استفاده از شاخص‌های نفت خام از سوی فعالان بازار نفت می‌توانیم اکنون درباره رفتار قیمت نفت و رفتار معامله‌گرانِ آن تحت دو سناریوی متمایز زیر بحث کنیم: ۱. وقتی شرایط بازار، کشف قیمت را بر مبنای اصول بنیادی عرضه و تقاضا تشویق می‌کند و ۲. وقتی بازار وارد فضای تحلیلیِ ترس و طمع می‌شود.

۵ چگونگیِ اثرگذاریِ خصیصه‌های دادوستدکنندگان تالار بورس بر شکل‌گیری قیمت نفت خام

شوک‌های بیرونی و تغییرات داخلی در جنبه روان‌شناختیِ معامله‌گر به مرور زمان بر رفتار بازار اثر می‌گذارد و مدل‌های رفتار قیمت و بازار را بی‌فایده می‌کند.

مدل‌های قیمت‌گذاری را با استفاده از قیمت‌های پایانیِ روزانه بک‌تست[2] می‌کنند زیرا رویه سنجش تحت شرایط بلادرنگ به شدت شکست می‌خورد که در واقع زمانی است که قیمت حاصلِ تصمیماتِ لحظه‌ای و رفتارِ رقابتی بین خریدار و فروشنده –به هر دلیلی– است.

به نظر این افراد، عاملانِ بازار، سوگیری‌ها، رفتار گله‌ای، اقداماتِ تقلیدی، ترس و طمعِ آنها، به صورت اتم در دنیای زمان و مکان عمل نمی‌کند که نتایج مستقل از آن افکار و تمایلات باشد. اگر $PV=nRT$ برقرار باشد، این وضعیت به گونه‌ای است که انگار اتم‌ها و مولکول‌ها در فضا می‌توانند برای خودشان تصمیم بگیرند یا مثلاً این‌طور است که بگوییم حالا بهتر است از فرمول $F=ma$ پیروی کنیم. در طبیعت، افکار و برداشت‌های غیرعینیِ بازیگران در فضا و مکان، از جنبه نتایج اصلاً اهمیت ندارد. قوانین تحت تأثیر باورها نیستند و نتایج نیز در قیدوبند آنها نیستند.

قیمت‌ها را فعالان بازار مشخص می‌کنند و شکل می‌دهند. به همین دلیل است که الگوهای قیمتی خاص که هیچ قدرت پیش‌بینی‌گر قابل اثباتی ندارند در واقع قیمت را پیش‌بینی می‌کنند چون اعتقاد بر این است که الگوی معینِ مشاهده شده منجر به بروز رفتار قیمتیِ مربوطه می‌شود. همین باور است که باعث بروز نتایج می‌شود نه داده‌های مستقل و قابل اثبات در فرآیند بازخوردیِ چرخشیِ پیشگویانه.

در علم اقتصاد می‌دانیم که پارامترهای مختلفی از جمله تعداد تقاضاکنندگان و نوع فناوری باعث تغییرِ موقعیتِ عرضه و تقاضا در فضای اقتصادی می‌شود. عرضه‌کنندگان و تأمین‌کنندگان –تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان– تحت تأثیر انتظارات قیمتی و نوسانات بازار هستند و چون این موارد را واقعیتِ آینده بازار

---

[1] Platts Dubai

[2] back-test

می‌دانند رفتارشان تغییر می‌کند. علاوه بر این، با آنکه افراد به طور معمول رفتار منطقی دارند و در حالت عادی خطاهای خود را به طور نظام‌مند تکرار نمی‌کنند، برخی از گروه‌های این افرادِ منطقی، به طور منظم و مکرر، در قضاوتِ خود دچار خطاهای اصولی می‌شوند. یعنی افراد معمولاً منطقی هستند اما گروه‌ها به ندرت منطقی‌اند.

بنابراین، فرآیند دادوستد از سوی افرادی منطقی رخ می‌دهد که در گروه‌های «خردمندنما» فعالیت می‌کنند که در آنها، انتظارات بر رفتارها اثر می‌گذارد و پیش‌بینی‌ها بر مبنای قیودِ عاطفی و هیجانیِ غیرعینی، ممکن است صرفاً برای خودکامبخشی باشد. این خصوصیات فرآیند تشکیل قیمت را در بازارهای نفت خام شکل می‌دهند.

معامله‌گران تحت قواعدِ قوی و ضعیفِ رفتاریِ خودشان عمل می‌کنند که باعث می‌شود طوری معامله نمایند که سودشان به حداکثر برسد. خصوصیاتِ رفتارِ منطقیِ شبه فردی، با توجه به قیودِ گروه‌ها، لایه دیگری از عوامل روان‌شناختی را به فرآیند پیچیده کشف قیمت اضافه می‌کند. مونیتیر (۲۰۰۳) درباره «امور مالی رفتاری[1]» بحث می‌کند که نشان می‌دهد رفتار معامله‌گران در فضای اقتصادی شامل موارد زیر است:

۱. رفتار گله‌ای: در اینجا به صورت فردی تعریف می‌شود که فردیت و خودمختاری خود را حفظ می‌کند با این حال دنباله‌روِ رهبریِ یکی از اعضای گروه‌های معتبر است (فنتون-اوکریوی و همکارانش، ۲۰۰۵). معمولاً این رفتار زمانی بروز می‌یابد که معامله‌گر فاقد قطعیتِ کافی در مورد استراتژی معاملاتی خود باشد بنابراین، به دنبال رهبری می‌گردند تا تاریکی‌های مسیر را برایشان کنار بزنند.

۲. لنگراندازی: این حالت زمانی رخ می‌دهد که بافتِ قاعده اولیه تفکر تغییر کرده است و به طبع، طرز تفکر نیز بایستی بروزرسانی شود اما این اتفاق نمی‌افتد. در خارج از تالار بورس، این حالت را به اصطلاح «لجبازی» می‌گویند. این خصوصیات ممکن است به بروز فاجعه منجر شود به ویژه زمانی که اطلاعاتِ جدید باعث تغییر ناگهانیِ طرح قیمتی شده اما استراتژی معاملاتی با تغییرات همگام نشده است. چنین رفتاری مسئولِ بخش عمده‌ای از زیان‌های سنگین در بازار معاملات است که از جمله می‌توان به LTCM، انرون تریدینگ و فروپاشیِ آمارانث ادوایزرس LLC اشاره کرد.

۳. شهرت: در نبودِ قطعیت در مورد معامله بهتر است ببینیم که چهره‌های سرشناسِ وال‌استریت چکار می‌کنند. در بهار ۲۰۰۶، گلدمن ساچس مطالعه‌ای منتشر کرد که پیش‌بینی می‌کرد قیمت نفت طی چند سال آینده به بشکه‌ای ۱۰۵ دلار خواهد رسید (شنک، ۲۰۰۷). در این گزارش هیچ چیز جدید یا غیرمنتظره‌ای نبود ولی پس از انتشارِ این مقاله، بازار آتی نفت خام حدود ۲,۴۵ دلار در هر بشکه در

[1] Behavioral finance

قراردادهای آتی رشد کرد و چند روزی این اختلاف قیمت را حفظ کرد. این قضیه در زمانی رخ داد که قیمت نفت خام معمولاً دچار اُفت می‌شد چون آمریکای شمالی از پالایشِ محصولاتِ تقطیر میانی به بنزین روی آورده بود.

۴. سوگیریِ قراردادی: در زمان بروز عدم قطعیت‌های شدید از رویه‌های قراردادی پیروی کنید. مثلی هست که می‌گوید «کسی به خاطر اینکه شعله شومینه را در بهار کم کند اخراج نمی‌شود» یعنی طبق شرایط فعلی عمل کنید تا معامله‌ای مطمئن داشته باشید و این استراتژی زمانی خوب است که برای انجام رفتاری غیر از این حالت دلیلی وجود ندارد.

۵. تقلید: دوباره خاطر نشان می‌کنیم که وقتی در شک هستید و باید معامله کنید تقلید از دیگران یکی از انواع استراتژی‌های ممکن است. بنابراین، جای تعجب نیست که بازارها بعد از انتشارِ نتایج تحقیق گلدمن ساچس واکنش نشان دادند. چون مقاله‌ای خوش‌بینانه بود که مؤسسه *تریدینگ هاووس* معروف آن را منتشر کرد. پس طبیعتاً معامله‌گران نیز قیمت بالاتری را برای نفت خام متصور می‌شدند. چون این اتفاق قابل پیش‌بینی بود، حتی کسانی که این گزارش را نادیده گرفتند و آن را «چیز جدیدی» نمی‌دانستند، نتوانستند به مدت زیادی روی عقیده خود پابرجا بمانند. همه آنها مجبور شدند وارد خرید نفت خامی شوند که برای مصرف آنی مورد نیاز بود و همین اقدام باعث شد قیمت بالاتر هم برود.

فعالان بازار می‌دانند که عدم قطعیت در فرآیند کشف قیمت یعنی ۹۰٪ تمامی معامله‌گران بازنده خواهند بود و فقط ۱۰٪ برنده‌اند. اکثر معامله‌گران چرخه عمری حدود پنج تا هشت سال سرشار از موفقیت دارند و پس از آن وارد بخش مدیریت، افزایش شکست در معاملات یا خستگی مفرط کامل می‌شوند. فقط عده کمی قادرند این چرخه عمر را به شغل معاملاتیِ موفقِ مادام‌العمر مبدل سازند.

انتظارات درباره قیمت‌های آینده بر نقدینگی یا قیمت بازارهای معاملاتِ نقد نفت خام اثر می‌گذارد، حتی اگر صرفاً بر مبنای پیش‌بینیِ واکنشِ دیگر معامله‌گران به محرک‌های برون‌زا و ذاتِ خودِ محرک‌ها باشد. برای مثال در یکی از بخش‌های اخبار گزارش می‌کنند که انتظار می‌رود دمای هوا در زمستانِ آتی در شمال شرق آمریکا و اروپا اُفت شدیدی پیدا کند که جزء مصرف‌کنندگان اصلیِ روغن حرارتی‌اند. واکنش مورد انتظار برای قیمت نفت خام این است که به سبب افزایش تقاضا برای سوختِ حرارتی در این بازارها، قیمت نفت افزایش می‌یابد و دلایل ورود معامله‌گران نیز توجیه می‌شود.

اما اگر ذخایر از قبل برای ورود به فصل سرما آماده و کافی باشند قیمت افزایشِ احتمالی خواهد داشت. معامله‌گران انتظار دارند که چنین اخباری باعث افزایش تقاضا شود بنابراین، قیمت را بالا ببرد، در نتیجه باید اکنون خرید کنند پیش از آنکه قیمت‌ها بیش از حد بالا برود چون می‌دانند که انتظار منجر به مواجهه با

قیمت‌های بالاتر خواهد شد. بنابراین، حتی اگر ذخایر بیش از حد کفایت باشد –البته نه در حد مازاد– قیمت افزایش پیدا می‌کند که علتِ آن افزایش تقاضای فیزیکی نیست بلکه خودِ رفتارِ خرید معامله‌گران عامل این قضیه است. همچنین معامله‌گران می‌دانند که دیگران نیز براساس اخبار خوش‌بینانه –گاوی– خرید خواهند کرد و با اخبار بدبینانه –خرسی– خواهند فروخت بنابراین، بایستی خودشان پیش آنکه دیگران اینگونه رفتار کنند اقدام به معامله نمایند تا بهترین قیمت را برای مشتری‌شان سفارش دهند.

این کار نه تنها باعث می‌شود واقعیتِ اقتصادی با باورهای هیجانی مقابله کند بلکه به تسریع در حرکت قیمت نفت در واکنش به محرک‌های برون‌زا نیز کمک می‌کند. این سناریو برای ناپایداری و نوسان قیمت است [۷].

٦ فعالان بازار

می‌توان فعالان بازار در بازارهای آتی نفت خام را به معامله‌گران تجاری و غیرتجاری تقسیم‌بندی نمود.

ابتدا معامله‌گرِ تجاری «نهادی دخیل در تولید، فرآوری یا دادوستدِ کالا است» (واژه‌نامه CFTC، ۲۰۰۸). این نوع معامله‌گر شامل تولیدکننده نفت، فرآوری‌کننده، فروشنده و خریدارِ عمده و فروشنده و خریدارِ خرده محصولات نفت خام می‌شود. این کسب‌وکارها از خدماتِ خود در صنعت نفت خام کسب سود می‌کنند و از تغییرات در قیمت نفت سودی نمی‌برند و ذخایر فیزیکیِ نفت خام خود را به صورت مقابله‌شده با ریسک قیمت‌گذاری کرده‌اند.

دوم، معامله‌گرانِ غیرتجاری هستند که در خرید یا فروشِ نفت خام فیزیکی که از آن سود می‌برند هیچ دخالت مستقیمی ندارند اما ممکن است پیوندی غیرمستقیم با ریسک قیمتی داشته باشند به طوری که مواجهه با اُفت یا افزایشِ ناگهانیِ قیمت نفت خام می‌تواند بر کسب‌وکارشان اثر بگذارد. این کسب‌وکارها می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

۱. شرکت‌های خدماتی و حفاری در صنعت نفت، شرکت‌های سازنده دکل‌های نفتی
۲. تأمین‌کنندگان کاتالیزور برای پالایشگاه‌ها
۳. توزیع، حمل و نقل، انتقال محموله‌ها با کشتی و شرکت‌های انباردار که در واقع مالکِ محصول نیستند.
۴. بخش عمده‌ای از صندوق‌های وام‌دهی بانک‌های نفت و فرآوردهای نفت خام با صنعت نفت خام رابطه دارد.
۵. صندوق‌هایی متشکل از گروه‌های بزرگِ غیرتجاریِ اثرگذار بر قیمت: اینها شرکت‌های مالی هستند که مسئولیت‌شان افزایش ارزشِ خود برای سرمایه‌گذاران است. این شرکت‌ها معمولاً توسط گروهی از مدیران یا کمیته نظارت هدایت می‌شوند که با استخدامِ مدیرعامل، مسئولیت نهایی انجام تصمیماتِ

معاملاتی و استراتژی‌ها را برعهده وی می‌گذارند. ممکن است آنها جزء دادوستدکنندگانِ تالار بورس یا اتاق‌های معاملاتی باشند که مملو از ده‌ها معامله‌گر است؛ افراد تازه‌نفسی که هر معامله‌شان میلیون‌ها دلار ارزش دارد. آنها سفته‌باز هستند و قصد دارند از تغییرات قیمت نفت سود کنند.

برخلاف تجاری‌ها، که مالک نفت خامِ فیزیکی هستند و قصد دارند قیمت این نفت را بدون ریسک نگه دارند و کسانی که سهمِ فیزیکی‌شان به صورت وثیقه‌ای در مقابل موقعیت‌های معاملاتیِ آینده‌شان عمل می‌کند، غیرتجاری‌ها هیچ سهمِ فیزیکیِ واقعی‌ای از نفت ندارند تا برای موقعیت‌های معاملاتی آینده‌شان در نقش وثیقه ظاهر شود. آنها مجبورند برای حفظ نظمِ بازار و حفاظت از فعالان بازار در برابر رفتارهای ناشیانه‌ای که ممکن است باعث ناپایداری تمامی بخش‌های بازار شوند از قواعد افشا و معاملاتیِ کمی متفاوت، پیروی کنند. برای مثال آنها باید پیش از انجام معامله، انجام یک موقعیتِ خرید یا فروش «بزرگ» را اعلام کنند.

بزرگترین بازیگران در گروه غیرتجاری صندوق‌های سرمایه‌گذاری تأمینی –شرکت‌های زینهاری– هستند. اکثر این صندوق‌ها در بازار آتی کالاهای فیزیکی، تازه‌وارد و نسبتاً کم تجربه هستند. این کم‌تجربگی ممکن است برای بازار دردسرساز باشد و استفاده از آن را برای گروه‌های باتجربه‌ای که بر این بازار متکی‌اند تا با ریسک ذاتی نفت خام در کسب‌وکارشان مقابله کنند خطرناک‌تر نمایند.

در زیر به چند نمونه از این صندوق‌ها اشاره می‌کنیم:

۱. صندوق سرمایه‌گذاری تأمینی: موقعیت‌های معاملاتی بسیار بزرگی اختیار می‌کند و از سرمایه قرضی برای اهرم کردنِ موقعیت‌های بزرگِ پیشین تا اندازه عظیم استفاده می‌کند. اینها بدون نظارتِ مقرراتی هستند اما این قضیه در حال تغییر است و از زمان ورشکستیِ صندوق سرمایه‌گذاریِ تأمینیِ آمارانث[1] تاکنون –اواخر سپتامبر ۲۰۰۶– شاهد این تحولات هستیم. در آن زمان یکی از معامله‌گران موقعیتی عظیم در گاز طبیعی انباشته کرده بود که علیه خودش حرکت کرد.

۲. صندوق‌های بازنشستگی: این صندوق‌های بزرگ سرمایه، اعضا را برای رشدِ ارزشِ لازم جهت پرداخت حقوق بازنشستگی و پرداخت‌های سالانه به طور مادام‌العمر برای کارگرانِ بازنشسته یا پذیره‌نویسان سرمایه‌گذاری می‌کنند.

۳. صندوق‌های مشترک سرمایه‌گذاری: این صندوق‌ها معمولاً صندوق‌های موقعیت باز هستند که در بازارها اقدام به خرید، نگهداری و فروش می‌کنند تا ارزش سهمِ صندوقِ خود را برای پذیره‌نویسان افزایش دهند.

---

[1] Amaranth Hedge Fund

۴. صندوق سرمایه‌گذاری در سایر صندوق‌ها[1]: این نوع صندوق‌ها که انواع مختلفی دارند و غالباً بسیار بزرگ و با نفوذ هستند، گاهی اوقات قادرند استراتژی معاملاتی صندوق‌هایی را تغییر دهند که در آنها سرمایه‌گذاری سنگین کرده‌اند.

این صندوق‌ها فعالانِ غیرتجاریِ اصلی در معاملاتِ بازار آتی نفت خام هستند. آنها اهداف متفاوتی دارند اما در بلندمدت از مزایای قابل حصول دوسویه داشتنِ بازار آتی و بازار نقدِ منظمی بهره‌مند می‌شوند.

از جمله موارد حائز اهمیت در مورد قانونگذارانِ بازار نقد و آتی، تمایز بین قیمت‌سازان و قیمت‌پذیران است. قیمت‌سازان به ویژه اگر غیرتجاری باشند، به سبب موقعیت‌های سفته‌بازانه بزرگی که اختیار می‌کنند شناخته می‌شوند. در مورد تجاری‌ها، معمولاً دارایی‌های فیزیکی دارند تا موقعیت‌های بزرگ آتی‌شان را جبران کنند اما سفته‌بازانِ غیرتجاری، نظیر صندوق‌های سرمایه‌گذاری تأمینی قادرند موقعیت‌های ریسکی با اهرم بالا را اختیار کنند که اگر علیه استراتژی صندوق پیش برود باید نقد شود و می‌تواند قیمت بازار را دچار اُفت کند. آنها قادرند بر قیمت‌ها از طریق وارد شدن و خارج شدنِ نامحسوس به بازار اثر بگذارند. بنابراین، مقررات آنها را ملزم می‌دارد تا طبق مقررات، بازار را از قبل در مورد خرید یا نقدشوندگیِ مورد انتظارِ یکی از موقعیت‌های فعلی‌شان با خبر کنند تا مانع دستکاریِ ظاهری در بازار شوند.

از سوی دیگر قیمت‌پذیران، فناشوندگان بازار هستند که تلاش می‌کنند تا با بازیگران بزرگ نابود نشوند. ورود و خروجِ آنها اثری بر قیمت بازار ندارند چون موقعیتِ معاملاتی آنها بیش از حد کوچک است. این مسئولیتِ قانونگذار است که مطمئن شود این بزرگراه ریسک –که به طور همزمان کامیون‌های غول‌پیکر، اسکوترها، سه‌چرخه‌ها، دوچرخه‌ها و موتورسیکلت‌ها در آن در رفت‌وآمد هستند– در بهترین حالت و منفعت برای همه کار می‌کند.

دشواریِ واقعی برای تجاری‌ها در استفاده از بازارهای اختیار معامله و آتی تعدادِ بازیگرانِ کم‌تجربه با موقعیت‌های بزرگ است که ناپایداری و بی‌ثباتی بازار را افزایش می‌دهند. آنها از طریق شکست در کشف قیمتِ درست باعث بروز ناکارآمدی می‌شوند و اگر بازیگری بزرگ باشند وقتی قیمتِ واقعی بعداً کشف شود تعداد زیادی از معامله‌گران را با خود همراه می‌کنند. همان طور که در زیر اشاره خواهیم کرد به واقع هیچ روش عملی برای حفاظت از خود در برابر خطاهای پرهزینه نیست.

۷ رفتار قیمت در بازارهای آتی

[1] fund of funds

قیمت‌گذاریِ نقدینگی یا معاملات نقدی، جای قراردادهای بلندمدت را در بخش عمده‌ای از فروش نفت خام گرفته است [۷] و قیمت بازارهای آتی بر شکل‌گیریِ قیمت نقدینگی تسلط دارد در نتیجه نحوه رفتار قیمت‌های آتی نقطه آغاز در هر تحلیلِ جدی در بازار جهانی نفت تلقی می‌شود. در اینجا نیروهای اصلیِ اثرگذار بر قیمت‌گذاریِ آتی نفت را تشریح می‌کنیم. به این علت تحلیلِ مورد نظر پیچیده است که هیچ طرح تکینی برای رفتار قیمت نفت وجود ندارد. طرح با تغییرِ وضعیتِ توازن روزانه نفت و انتظارات مربوط به این قضیه تغییر می‌کند که تا چه حد می‌توان ظرفیت تولید اضافی را برای تأمین بازار در صورت نیاز، آماده کرد. اگر بازار معتقد باشد که ظرفیت تأمین مازاد کافی برای هر مجموعه مورد انتظار از پیامدها و احتمالات وجود دارد بازار، تحلیل عرضه و تقاضا را رها می‌کند و به تحلیل ترس و طمع روی می‌آورد. در این مواقع، عوامل روان‌شناختی بر رفتار قیمت در بازار نفت خام تسلط کامل دارند.

بسیاری از صندوق‌ها و صندوق‌های سرمایه‌گذاری در سایر صندوق‌ها –که به آنها اشاره کردیم و گفتیم که پیش از افزایش قیمت نفت خام تا حد زیادی در اوراق قرضه و سهام لنگر انداخته‌اند– سطحی از آشفتگی و بی‌نظمی را واردِ بازار آتی کالا کرده‌اند که ناشی از بی‌تجربگی‌شان است.

با اُفت هزینه مراودات –که امکان ورود یا خروجیِ مقادیر هنگفتی پول را از معاملات و سرمایه‌گذاری‌ها در هر لحظه ممکن می‌کند– تمامی بازارها دچار اُفت پایداری شدند چون سرمایه‌گذاری بلندمدت واقعی که غالباً نتیجه هزینه‌های بالای تراکنش و مراوده در ورود و خروج از موقعیت‌های معاملاتی است، راه را برای سفته‌بازی واقعی باز کرده است و پول فعال که به دنبال بهترین معامله است و رایانه‌های بزرگی که مختص یافتن این معاملات هستند و به محض آنکه معیارهای خاصی توسط برنامه معامله‌گر شناسایی شود، به طور خودکار معامله را انجام می‌دهند و این نوع معامله در بازار به عُرف تمامی بازارها مبدل شده است. وقتی پای ریسک کردن میلیون‌ها دلار در میان باشد، مدیرعاملان اعتماد کمتری به معامله‌گران انسانی نسبت به برنامه‌های معامله‌گرِ کمّیِ پیچیده دارند.

برنامه معامله‌گر باعث تشدیدِ ناپایداری بازار شده است. فرض کنید که صدها نمونه از این برنامه‌های معامله‌گر توسط صدها یا حتی هزاران معامله‌گر استفاده شود. حال به جای آنکه با بازاری مواجه باشیم که در آن چند هزار معامله‌گر به طور تصادفی حضور دارند، موقعیت‌های معاملاتی عظیمی در یک سمتِ معامله انباشته می‌شود که ناشی از همبستگیِ برنامه‌های معاملاتیِ رایانه‌ای است در نتیجه روزنه‌های نقدشوندگیِ بزرگ و ناپایداری به وجود می‌آید. چنین حالتی در نوزدهم اکتبر ۱۹۸۷ در آمریکا و در بازار سهام رخ داد. آن‌طور که از شواهد پیداست، وجودِ به اصطلاح «ضمانت پورتفو» و مهندسیِ مالی باعث وخیم‌تر شدنِ سقوط قیمتی شد چون تمامی برنامه‌های رایانه‌ای از نظر نوع تمایلات همبستگی شدیدی با یکدیگر داشتند و هنگامی که

خصوصیاتِ بازار را مشاهده کردند به طور خودکار سفارش‌های «فروش» را فعال کردند. سفارش‌های فروش در بازاری متوقف‌شده تلمبار شدند و باعث گردید که قیمت پایین برود و سفارش‌های فروش بیشتری فعال شود. همین مسئله نوعی «درخواست برای خروج پول» کلاسیک را در پی داشت و اثری آبشاری یا دومینویی را به وجود آورد که ناشی از موقعیت‌های به شدت همبسته بود چون بازار آتی سهام شیکاگو به تالار دادوستدِ بازار نقد نیویورک وصل بود.

خروج پول معمولاً در بازارهای کم‌حجم رخ می‌دهد که در آنها فقط چند معامله‌گر وجود دارد و بر همین اساس، احتمال به وجود آمدنِ موقعیت‌های همبسته شدید افزایش می‌یابد. در این حالت کم‌حجم بودن بازار ناشی از صدها هزار معامله‌گر است که با استفاده از چند برنامه معامله‌گر پذیره‌نویسی کرده‌اند. پس به جای بازارهای ذره‌ای[1]، برحسب توزیع واکنش‌های معاملاتی به محرک‌های خبریِ بازار، بازار کم‌حجمی داریم.

این وضعیت به خودی خود حساسیت قیمت بازار به اخبار را افزایش می‌دهد و ورود به این بازارها را به سبب افزایش ناپایداری دشوار می‌سازد که برخلاف فراریتِ قیمت بازار با مدیریت آسان‌تر است اما وضعیت به این علت بدتر می‌شود که بازیگران تازه‌کار در صندوق‌های سرمایه‌گذاری تأمینی در بازار حضور پیدا می‌کنند که تجربه‌شان در بازار اوراق قرضه و سهام و انجام معاملات در بازار کالاها بسیار اندک است. به سبب کم‌تجربگی و ناپختگی‌شان در مورد بازارهای کالا در حالت کلی و به ویژه بازار نفت خام، وجودشان در بازار نفت بسیار آزاردهنده است. کاربران با تجربه صنعت در سمتِ سفته‌بازی و مقابله‌کنندگان با ریسک به سبب مشاهده رفتارهای نامتعارف و غیرمنتظره قیمتی ناشی از حضور این مبتدیان در بازار دچار سردرگمی می‌شوند. در عین حال آنها تجربه پیش‌نیاز را برای ورود به بازار نفت با افراد کهنه‌کار پیدا می‌کنند اما در همین حین با ورودِ هر دسته جدید از مبتدیان، بازار رفتارهای متلاطمی را تجربه می‌کند و با افزایش تعداد خطاهای معاملاتی، به سمت ناکارآمدی حرکت می‌کند. ارزش نسبیِ صحیح کشف نمی‌شود چون بازیگرانِ بسیاری خصوصیات و جریان بازار را درک نمی‌کنند و در مورد جهت‌گیریِ مورد انتظار آینده‌شان اشتباه حدس می‌زنند.

در نهایت اینکه، تمایلِ عاملانِ جدید در بازار نفت خام به ویژه صندوق‌های سرمایه‌گذاری تأمینی و صندوق‌های سرمایه‌گذاری در صندوق‌ها، به استفاده از اهرم اضافی در موقعیت‌های معاملاتی‌شان بر ناپایداریِ قیمت در بازار آتی نفت می‌افزاید زیرا از صبر و طاقت معامله‌گران که در وضعیت‌های وخیم می‌تواند بسیار کمک‌کننده باشد به شدت می‌کاهد. موقعیت در حال زیان که بخش عمده‌ای از آن با منابع قرضی سرپا نگه

[1] atomistic

داشته شده است باید به سرعت رها شود تا باعث تباهیِ بنگاه معاملاتی نشود. قطعاً این حرکت باعث کاهش پایداری قیمت بازار می‌شود چون به سمت تولیدِ خروجِ پول گرایش دارد.

ورشکستگیِ صندوق سرمایه‌گذاریِ تأمینی Amaranth Advisors, LLC, در سال ۲۰۰۶ بسیار آموزنده است. صندوق آمارانث که یکی از صندوق‌های سرمایه‌گذاریِ تأمینیِ چند راهبردی بود از راه آربیتراژ قابل تبدیل، کسب درآمد می‌کرد و دارایی‌هایی بیش از ۹,۲ میلیارد دلار داشت. بعد از آنکه ترقیِ بازارِ کالا را مشاهده کرد و یافتنِ معاملاتِ سودآور در کسب‌وکار اصلی‌اش دشوارتر شد، وارد بازار کالاهای اساسی شد. (برنده‌ها مقلد جذب می‌کنند و بدون مانع در ورود و خروج، پیروزی‌ها یا اجاره‌ها تا حدی از بازده معمولِ بازار می‌رسند که ارزشِ ریسکِ معاملاتی را ندارند). آمارانث شرط‌بندی روی قیمت آتی گاز طبیعی را شروع کرد. این صندوق پس از آنکه یکی از معامله‌گرانش روی آینده گاز طبیعی شرط بست و ٦ میلیارد دلار در عرض یک هفته از دست داد ورشکسته شد و همین باعث شد که سرمایه‌گذران اقدام به خروج پول از صندوق کنند در نتیجه عمر صندوق به پایان رسید. طبق گزارش مجلس سنا، آمارانث در معاملاتِ اسپرد تقویمِ گاز طبیعی[1] روی مقیاسی گسترده ورود کرد که صندوق قراردادهای تحویل بلندمدت زمستانی و قراردادهای کوتاه‌مدت در ماه‌های غیرزمستان را در ۲۰۰٦ اختیار کرد که حداقل تا ۲۰۱۰ سررسید داشتند.

این مثال برای آن نیست که تمام صندوق‌های سرمایه‌گذاری تأمینیِ انرژی و کالا را مورد عتاب قرار دهیم. در حقیقت، صندوق سرمایه‌گذاری تأمینیِ افرادِ باتجربه‌ای در حوزه نفت نظیر تی. بون پیکنز و مایکل فارمر، صندوق انرژی کالای کپیتال بی.پی، عملکرد خوبی داشتند و جهت‌گیری نفت را به درستی پیش‌بینی کردند. حضور چنین بازیگرانِ باتجربه و سودآوری در بازارهای آتی نفت باعث می‌شود که فعالانِ بازار به درستی ارزش واقعیِ کالا را در دوران آتی کشف کنند. با این اطلاعات، بازار کارآمد می‌شود.

خصوصیاتِ معامله‌گران بازار، رفتار بازار مواد خام و شکل‌گیری قیمت به خصیصه‌های زیر منجر می‌شود.

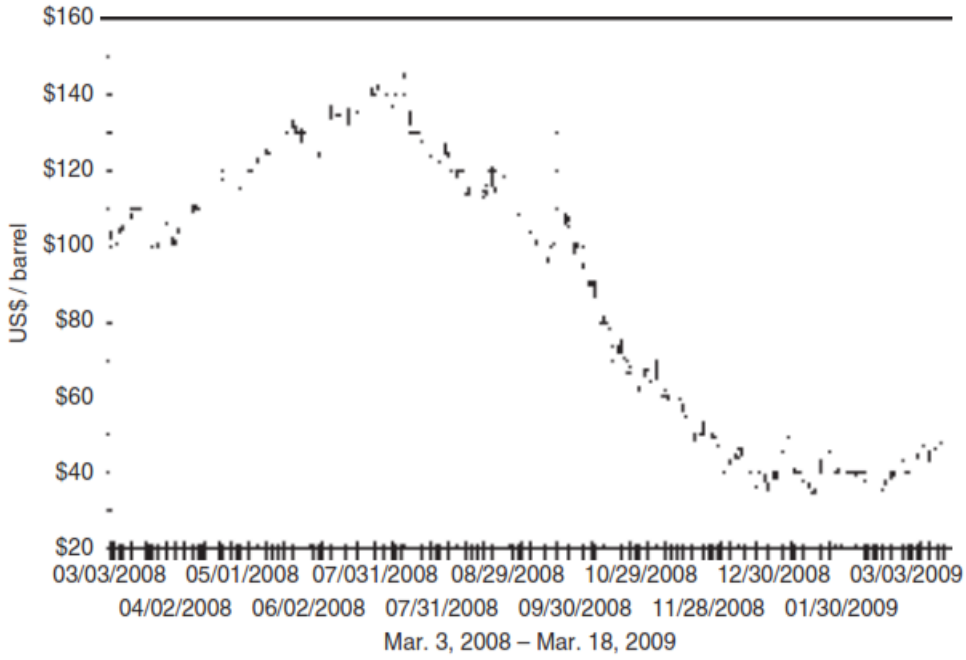
اول اینکه، توزیع سری‌های زمانیِ انباشتیِ قیمت نفت خام به صورت «ناهم‌واریانسی[2]» است. در یک سری‌زمانیِ انباشتی عموماً هیچ توزیع احتمالِ تکینی نمی‌تواند به طور کافی آن را نمایش دهد (مندل‌بروت، ۲۰۰٤). ممکن است چندین توزیع به طور همزمان کار کنند و بخشی از سری‌ها از توزیع ارزش، بیشینه باشند نظیر Weibul، گاما یا Cauchy و دیگر بخش‌ها مختلط باشند و به دنبال توزیع گاوسیونِ دم‌درشت باشند که

[1] calendar-spread

[2] heteroskedastic

هیچ واریانس پایداری ندارد. قضیه حد مرکزی[1] می‌تواند تمامی مقادیر متوسط گوناگون را نرمال کند ولی باید توضیح دهیم که چنین آماری چگونه در توصیف رفتار بنیادی مفید است.

دوم اینکه، رویدادهای بحرانی در سری‌های زمانی قیمت نفت خام که وقوع آنها بسیار به ندرت پیش‌بینی می‌شود، بیش از آنچه توسط مدل‌های استاندارد پیش‌بینی شده است روی می‌دهد. نتیجه این است که رفتارِ قیمتی با ارزش بیشینه چیز غیرمعمولی نیست و باید فعالان بازار برای آن آماده شوند (همان مرجع). بازار کالا به سبب استفاده آزاد از اهرم و افق زمانیِ کوتاهش، به شدت به اخبار حساس است و به بروز رفتارهای غیرمنتظره شناخته می‌شود اما ممکن است خطرناک‌تر از آنچه تصور می‌کنید باشد.



شکل ۱۸,۱ بالا و پایین آینده نفت خام NYMEX (نزدیک‌ترین تاریخ سررسید)

منبع: **WTRG Economics ©2009. www.wtrg.com. (479) 293-4081**.

سوم اینکه، رویدادهای بحرانی به سرعت رخ می‌دهند و وقوع یک رویدادِ ارزش‌بیشینه، خبر از رویداد بعدی می‌دهد. پس بازارها شرایط نسبتاً آرامی را طی مدتی نسبتاً طولانی تجربه می‌کنند تا آنکه نیروهای برون‌زا به وجود آیند و مجدداً باعث بروز رفتار قیمتیِ ناپایدار و با ارزش‌بیشینه شوند. استنباط عملی این است که ورود و خروج از بازار در مواقعی که بیشترین نیاز به آنها است بسیار دشوار می‌شود. سری‌های زمانیِ قیمت را مانند شکل ۱۸,۱ در نظر بگیرید.

---

[1] CLT

در این سری‌ها، هر ستون نشان دهنده یک روز معاملاتی است. ببینید که چطور قیمت به سمت پایان ۲۰۰۸ دچار افت می‌شود. اکنون، دشواریِ ثبت سفارش فروش در آن زمان را تصور کنید. تعداد کمی در حال خرید هستند و اکثراً قصد فروش دارند. حفرات معاملاتی با معامله‌گران پر می‌شود، آنها تقاضای فروش می‌دهند و تقریباً هیچ کسی نیست که تقاضای خرید داشته باشد. بنابراین، قیمت همچنان اُفت می‌کند تا در نهایت به اندازه‌ای پایین برود که افراد مایل به خرید شوند. این ماجرا چندین روز ادامه می‌یابد. اصلاً مهم نیست معامله‌گر چقدر تلاش کرده باشد که از موقعیتِ معاملاتی‌اش با سفارش‌های فروش «توقف زیان» حفاظت کرده باشد، این سفارش‌ها نمی‌توانند نزدیک قیمتِ مشخص شده اجرا شوند و معامله‌گر فقط شاهد این است که موقعیت معاملاتی‌اش در حال نزول و هدررفت پول است.

چهارم اینکه، دوره‌های آرامش در رفتار قیمتی بازار نفت عموماً به قیمت‌های نسبتاً پایین و وجودِ مقادیر زیادی از تولید مازاد نفت در مخازن مربوط می‌شود که می‌توان طی چند هفته یا ماه در بازار قرار داد. چنین دوره‌های با آرامشی که نتیجه ظرفیت تولید مازاد موجود است به خودی خود قادرند قیمت‌های کالایی کمتری را القا کنند چون خطر عرضه کمتر از تقاضا با این قیمت‌ها از بین رفته است.

پنجم، قیمت‌های بازار غالباً ناپایدارند تا فرّار؛ ناپایدار از جهت هدایت افراد به «خروج پول» –وقتی قیمت‌ها پیش از آنکه پایدار شوند یا جهت عکس بگیرند به سرعت تغییر می‌کنند و پیوسته در یک جهت هستند [۹]. فراریت، تغییر جهت سریع و مکرر قیمت‌ها، برای فعالان بازارهای آتی صنعت چندان جای نگرانی ندارد بلکه آنها بیشتر نگران ناپایداری قیمت هستند چون خروج پول باعث می‌شود هر بار که به تضمین ریسک قیمت نیاز باشد –چیزی که بازار ارائه می‌کند– تصمیم بر خروج از بازار بگیرند.

ششم اینکه، رفتار بازار حافظه دارد. بازار به یاد دارد که چه رویدادهایی پیش‌تر رخ داده است و واکنش بازار و نتیجه چه بوده است و تمایل دارد که بدین‌طریق عمل کند یا تمایل دارد از همان رویه‌های آموخته از آخرین رویدادهای مشابه استفاده کند (فنتون-کریوی و همکارانش، ۲۰۰۵). این امر ممکن است حتی کارشناسانِ باتجربه را در سازگار شدن با طرح رفتار متغیرِ قیمتی با شکست مواجه سازد و باعث بروز زیان شود تا آنکه درسِ مذکور دوباره آموخته شود. یکی از مثل‌ها در شرایط وخیم بازار می‌گوید که حباب بعدی قیمتی زمانی می‌آید که اکثر معامله‌گرانی که در حباب قبلی حضور داشتند دیگر نباشند.

هفتم، قیمت نفت خام که حاصل جمعِ رفتارها و اقدامات و تمایلاتِ معامله‌گران است سوگیری دارد و باعث می‌شود که قیمت‌ها به شدت دچار اُفت شوند –ممانعت از صعود– یا به شدت بالا بروند –ممانعت از نزول. در اغلب موارد، بستنِ بازار باعث تقلیلِ هر خبر بدی می‌شود که در حالت عادی باعث اُفت قیمت نفت خواهد شد در حالی که واکنش به اخبارِ بد نشان دهنده افزایش قیمت از طریق ارائه قیمتِ مزایده‌ای بالاتر برای

نفت است. پس بعد از گذشت مدتی، بازار «ذهنیت» خود را عوض می‌کند و هر خبر بدی باعث حرکت رو به پایین قیمت و در عین حال به هر خبر خوبی نیز به شدت بی‌توجهی می‌شود. این جنبه از رفتار بازار نفت خام باعث مطرح شدنِ انبوهی از پرسش‌های تحقیقاتی شده است. از میان آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: ۱. چه چیزی باعث می‌شود که بازاری گاوی ناگهان تغییر جهت بدهد و به بازاری خرسی تبدیل شود؟ ۲. آیا نیمه‌عمری برای اثر اخبار می‌توان تعیین کرد؟ آیا شاخص بدیع بودن[1] یا کشش را می‌توان محاسبه کرد تا زمانی را مدل‌سازی نمود که احتمالاً بازار علاقه خود را به نوعی از اخبار از دست بدهد و یا زمانی که آن را لحظه ارزشمندی به حساب بیاورد؟

هشتم اینکه، تمایل به سوگیریِ خرسی یا گاوی باعث وخیم‌تر شدنِ پدیده‌های شناخته شده در اقتصاد می‌شود مثلاً «مغالطه تعمیم نادرست». این حالت زمانی پیش می‌آید که افراد با وجودِ واکنشِ منطقی به سیگنال‌های بازار، به گونه‌ای عمل می‌کنند که بازار ناپایدار شود چون همه افراد به دلایلی یکسان یا مشابه به یک شکل عمل می‌کنند. برای مثال اگر متقاعد شوید که طی چند روز آینده به سبب تغییرِ شدید در آب و هوا و بیانیه‌های سازمان کشورهای صادرکننده نفت خام –اپک، مثلاً، تأمین نفت در حال حاضر هیچ مشکلی ندارد– قیمت افزایش خواهد یافت، آنگاه تصمیمِ منطقیِ شما بر خرید نفت در امروز پیش از افزایش قیمت خواهد بود اما دیگران به همین جریان اطلاعاتی واکنش یکسان دارند و تفکرشان یکسان است. نتیجه این است که قیمت بیش از پیش و سریع‌تر بالا می‌رود –افزایشِ بیش از حد– چون رفتار معامله‌گران در واکنش به جریان‌های اطلاعاتی که در بین آنها مشترک است یکسان خواهد بود.

نهم اینکه، مغالطه تعمیمِ نادرست باعث بروز انتظاراتِ خودکامبخشی می‌شود. یکی از انواع انتظاراتِ خودکامبخشی زمانی به وجود می‌آید که معامله‌گران گمان می‌کنند قیمت بالا خواهد رفت سپس طبق انتظاری که بر افزایش قیمت دارند معامله می‌کنند و عملِ آنها باعث افزایش قیمت می‌شود. آنگاه باور می‌کنند که در این بازار طرز تفکر درستی درباره حرکتِ مورد انتظار قیمت‌ها دارند. اقدام خود آنها بود که افزایش قیمت را تضمین می‌کرد پس در نتیجه انتظاراتی خودکامبخشانه در آنها به وجود آورد. همچنین این موضوع در حالت عکس نیز صدق می‌کند [۹].

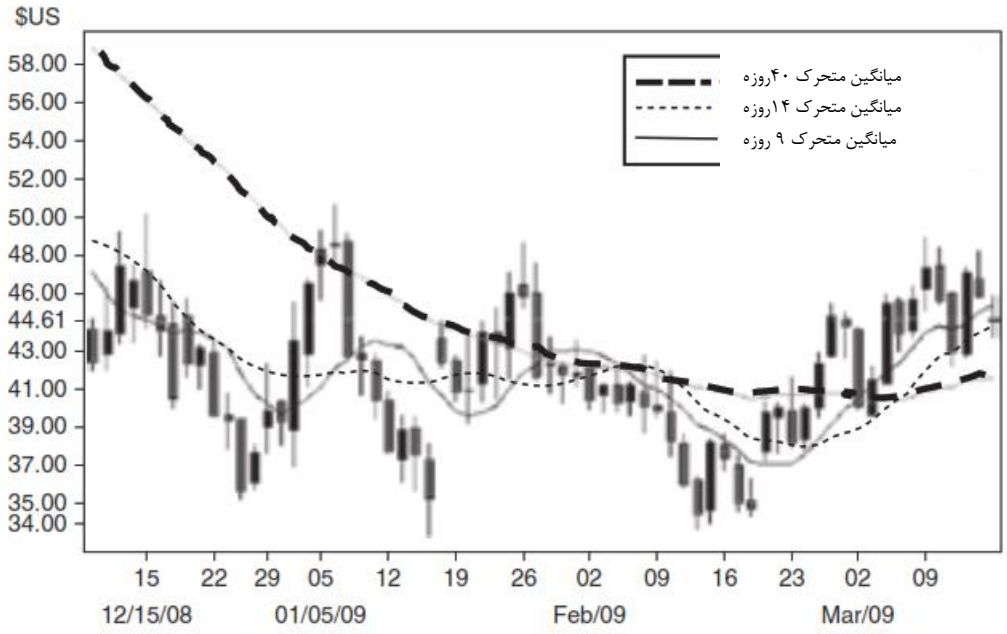
دهم اینکه، انتظاراتِ خودکامبخشی –یا پیشگویی‌های ناگزیرساز– علت موفقیتِ ابزارهای معاملاتیِ پس‌نگر در بازار نظر چارتینگ قیمت، اعداد فیبوناچی و دیگر تحلیل‌های مشابه را تبیین می‌کند. چون معامله‌گران فکر می‌کنند که الگوی «سر و شانه رو به بالا» در نمودار نشان دهنده بیشینه قیمت است، شروع به فروختنِ موقعیتِ

[1] novelty

لانگ خود می‌نمایند. راستش را بخواهید قیمت‌ها واقعاً تنزل پیدا می‌کند، همان طور که انتظار می‌رفت. به همین دلیل است که حتی معامله‌گرانی که محتوای پیش‌بینی‌گرِ واقعیِ تحلیل‌های فنی را رد می‌کنند نباید به هیچ عنوان از آن چشم‌پوشی نمایند چون می‌دانند که دیگران بر اساس همین سیگنال‌ها رفتار خواهند کرد بنابراین، قیمت‌ها طبق پیش‌بینیِ چارتی، جابه‌جا خواهد شد. از جمله مثل‌های رایج در میان معامله‌گرانِ کالاهای اساسی این است که «از اصول تحلیل بنیادی عرضه و تقاضا برای تعیین این مطلب استفاده کن که آیا باید در موقعیت لانگ قرار بگیری یا شورت –خریدار یا فروشنده– اما از تحلیل فنی –تکنیکال– برای تعیینِ زمانِ معامله استفاده کن» [۱۱]. به مثال تحلیل تکنیکال چارتیِ نفت در شکل ۱۸,۲ دقت نمایید. اگر رفتار گذشته نشان دهنده الگوهای رفتار آینده باشد، این چارت برای پیش‌بینیِ خرجی‌های بازار آینده مفید خواهد بود اما این حالت فقط زمانی می‌تواند صدق کند که تعداد کافی از معامله‌گرانِ بازار بر اساس این پیش‌بینی‌ها عمل کنند. این مثالی کلاسیک از مغالطه the post hoc ergo propter hoc یا مغالطه «بعد از این، بنابراین، به علت این» است.

یازدهم اینکه، ناپایداری قیمت –تمایل به خروج پول– برای پوشش‌دهندگان ریسک یا همان مقابله‌کنندگان با ریسک و سفته‌بازان، به طور یکسان، بیش از فراریتِ قیمت‌ها خطرناک است. ناپایداری می‌تواند بازار را بیش از حد برای بهره‌برداری از طریق پوششِ ریسکِ قراردادهای آتی پرریسک سازد در حالی که فراریت از نظر بازیگرانِ بازار به منظور مدیریت در سمتِ سفته‌بازی یا پوششِ ریسک بسیار آسان‌تر است. (این وضعیت به سبب ابزارهای جدیدِ اختیار بر معاملاتِ آتی تا حدی بهبود یافته است که بر این اساس کل ریسکِ مرتبط با سمتِ آتیِ موقعیتِ پوشش‌یافته ریسک به بیش از قیمتِ اختیارمعامله محدود نمی‌شود).

در بازار آتیِ نفت خام یازده خصوصیت وجود دارد. توجه کنید که این خصوصیات به جای آنکه تحت تأثیر تحلیل عرضه و تقاضا باشند تحت تأثیر خصوصیاتِ روان‌شناختی‌اند. آیا این بدان معناست که تحلیلِ بنیادی هیچ جایگاهی در جعبه‌ابزارِ اقتصاددانانِ حوزه انرژی ندارد؟ قطعاً خیر اما این مطلب به چه معناست که گفته می‌شود دیگر امکانِ صرف نظر از عوامل روان‌شناختی طی قیمت‌گذاری درآمدهای انرژی و محاسبه دوره بازگشت سرمایه پروژه‌ها به ویژه پروژه‌های عظیم، وجود ندارد و متغیر دیگری مطرح می‌شود که اگر بتوانیم آن را بفهمیم، قادریم اقتصاددانان را با پیش‌بینیِ قیمتیِ قوی‌تری همراهی کنیم.



شکل ۱۸,۲ تحلیل فنی سری‌های زمانی قیمت نفت

۸ اصول بنیادی یا ترس و طمع: کدام و چه وقت؟

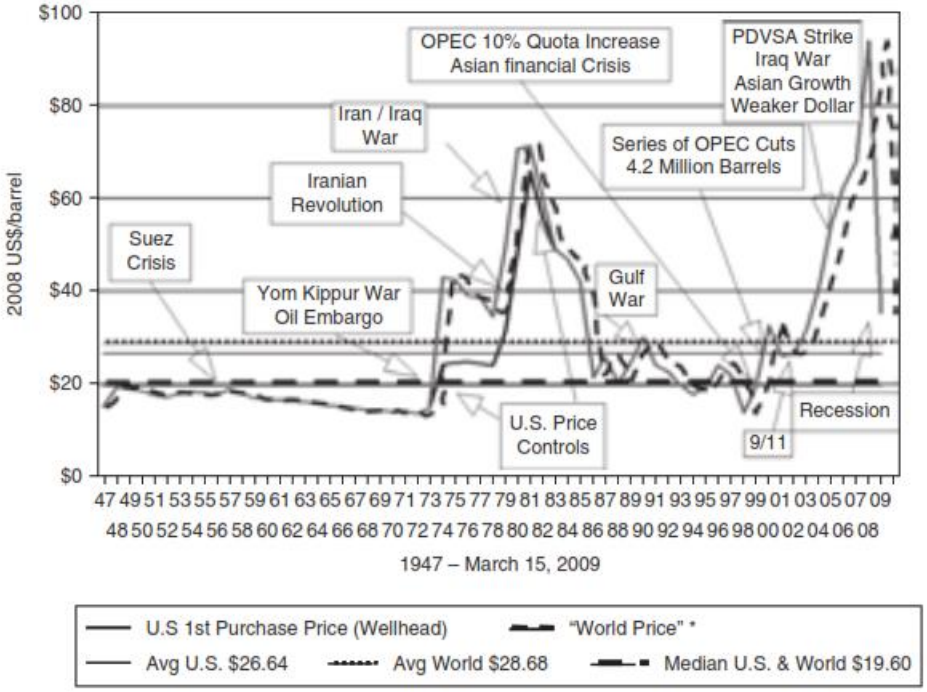
وقتی وجودِ تولید مازاد روزانه نفت خام باعث برهم خوردن توازن تا زیرِ سطح مهمی از لحاظ روان‌شناختی شود ریسک اقتصادی و ژئوپلیتیکی- آنگاه تحلیل بنیادی به تحلیلِ ترس و طمع تبدیل می‌شود و کارکردهای واکنشِ روان‌شناختی نمایان‌تر می‌گردد. وضعیت‌های بنیادی و ژئوپلیتیکی در دسامبر ۲۰۰۷ نشان می‌دهد که وقتی ظرفیت تولید مازاد به زیر ۲mbd برسد، بازار برای تعیینِ رفتار قیمتیِ مورد انتظار، از اصول بنیادی به اصول روان‌شناختی تغییر رویه می‌دهد. در ۱۹۷۹ سازمان اپک عرضه نفت را به برخی از کشورهای غربی برای مدتی کوتاه قطع کرد. این رفتار بازار بازتابی از این ادراک بود که شاید ذخایر نفتی کاهش یافته باشد. در نتیجه قیمت به شدت افزایش یافت. با این حال در ۲۰۰٤ حرکت قیمت بر مبنای تقاضا پیش رفت اما دنیا هرگز واقعاً دچار کمبود نفت نشد، صرفاً نفت با قیمتِ کمتر یا قبل‌تر عرضه می‌شد.

در هر حال بازار متوجه شد که ممکن است دچار کمبود نفت شود و رفتارِ خرید باعث افزایش قیمت نفت خام شد. شکل ۱۸,۳ نشان می‌دهد که طی سال‌های میانی، قیمت معتدل بود و هیچ بیشینه خاصی را تجربه نکرد.

معامله نوعی رقابت است که واکنش‌ها در آن حائز اهمیت‌اند، ترس و طمع نیز همچنان در هر لحظه اثرگذارند. کلید درک رفتار قیمتی، دانستن این مطلب است که طرح بازار صعودی است –تمایالات خرسی یا گاوی– به ویژه طی اوقاتی که انتظارات بر تمایلات حاکم باشد. در بلندمدت، اصول بنیادی اهمیت بیشتری پیدا

می‌کنند اما در کوتاه‌مدت، اصول روان‌شناختی است که غالب هستند. دشواریِ کار برای معامله‌گران این است که دوره بلندمدت معمولاً چند لحظه یا چند ثانیه است، به گونه‌ای که چند روز معادلِ ابدیت خواهد بود.

سری‌های قیمت نفت در شکل ۱۸,٤ برای قراردادهای شبه‌آتیِ نفت خام WTI است که در بازار NYMEX معامله می‌شود. یکی از سه نفت خام شاخص مهم است. حتی در نزدیکیِ ۱۰۰ دلار به ازای هر بشکه، خریداران ظرفیتِ هدایتِ قیمت به سمت ۱٤۰ دلار را نیز داشتند –بالاترین قیمت نفت در تاریخ. علت، آن بود که خرید ۱۰۰ دلار به ازای هر بشکه بهتر از خرید ۱٤۰ دلار به ازای هر بشکه است پس اکنون بخر، قبل از آنکه دوباره بالاتر برود اما اقدام بر خرید در قیمت ۱۰۰ دلار به ازای هر بشکه باعث شد که قیمت تا ۱٤۰ دلار برود زیرا تعدادِ متقاضیان باعث شد که منحنی تقاضا به سمت بالا میل کند و با منحنی عرضه ثابت در کوتاه‌مدت همراه شود.



شکل ۱۸,۳ قیمت نفت خام به دلار ۲۰۰۸

منبع: **WTRG Economics ©1998–2009. www.wtrg.com. (479) 293-4081**.

شکل ۱۸,٤ قیمت در نزدیک‌ترین تاریخ سررسید نفت خام نیویورک ۲۰۰٤-۲۰۰۹

منبع: **www.WTRG.com**.

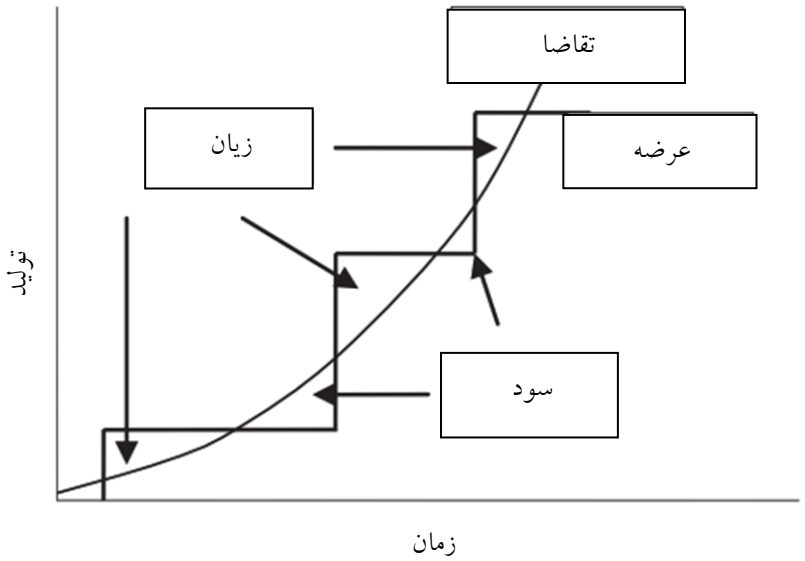
۹ ساختار تحلیل بنیادی

تحلیل بنیادیِ عرضه و تقاضا نشان دهنده نقطه آغاز هر قیمتِ نظری برای قیمت‌گذاری نفت است. چنین تحلیلی اطلاعاتی را در مورد تمامی حاضران در بازار آشکار می‌کند از جمله مواردِ جالب، ارزشِ نسبی و نه مطلقِ کالاهای دادوستد شده است. فرضیه مؤثر بازار می‌گوید که بازار، کارآمد است و تمامی هزینه‌ها و بازده منابع در قالب قیمت بازار خلاصه می‌شود.

عرضه و تقاضای نفت از سوی نهادهای دولتی نظیر اداره اطلاعات انرژی[1] در وزارت انرژی آمریکا، نهاد بین‌المللی انرژی در پاریس، فرانسه و رسانه‌های اقتصادی گزارش می‌شود. هر چهارشنبه، رأس ساعت ۱۰ صبح به وقت آمریکای شمالی، اداره EIA درباره موجودی محصول نفت خام، گاز و فرآورده‌های خام و سطح ذخایر آمریکا گزارشی منتشر می‌کند. این بازار قدرت کافی برای حرکتِ سریع و بنیادیِ قیمت‌ها را دارد. این داده‌ها نوساناتِ قیمت مورد انتظار را بر مبنای اختلاف بین کمیّت مشخص می‌کنند که امکان تأمینِ میزانِ تقاضا شده در دوره زمانی معین در بازار وجود دارد. این حالت باعث می‌شود که واکنش‌های روان‌شناختی بتوانند به وضعیتِ سابق خود بازگردند بنابراین، درباره اقدام احتمالیِ بازار در واکنش به جریان‌های اطلاعاتیِ گاوی و خرسیِ جدید برآوردهای بسیار تخمینی بزنند.

---

[1] EIA



شکل ۱۸,۵ رابطه بین عرضه و تقاضای تولید

۱۰ عرضه، تقاضا و قیمت کنونی نفت: بحثی مختصر

محدودیت‌های عرضه با وجود افزایش تقاضا: خطرات کدام‌اند؟

در ۲۰۰۶ پس از افزایشِ دوبرابری قیمت نفت، شرکت‌های نفتی ملی، بین‌المللی و بزرگ بر اقدامات کشف و تولید و تولیدات پالایشگاهی خود افزودند (گاریس، ۲۰۰۵؛ ژورنال نفت و گاز، ۲۰۰۶؛ MEES، ۲۰۰۶). تصور می‌شد که این انتقال ساختاری صرفاً یک چرخه قیمتیِ دیگر در حوزه نفت خام باشد. سود شرکت بین‌المللی نفت با نرخ بالایی در حال افزایش بود و شرکت‌هایی نظیر اکسون‌موبیل و رویال داچ/شل ترجیح می‌دادند تا با استفاده از این پول، سهام خود را بخرند تا آنکه آن را به صندوق‌های دیگر برای افزایش فعالیت‌های E&P اختصاص دهند.

تولید، توزیع و پالایش نفت صنعتی چرخه‌ای است. وقتی قیمت نفت خام پایین باشد مشوق کمی برای افزایش سرمایه‌گذاری و گسترش زیرساخت‌ها وجود دارد اما وقتی قیمت بالا برود چنین گسترشی پنج سال زمان می‌برد و باعث می‌شود که قیمت باز هم افزایش یابد. نتیجه این می‌شود که یا ظرفیت تولید آنقدر کم است که نمی‌تواند تقاضا را با قیمتی میانه حفظ کند یا ظرفیت آنقدر بالا می‌رود که حفظ قیمت‌ها برای سودآور نگه داشتن این زیرساخت‌ها و سرمایه‌گذاری‌ها دشوار می‌شود. شکل ۱۸,۵ نشان می‌دهد که به مرور زمان تقاضا به طور پیوسته افزایش می‌یابد در حالی که عرضه تولید ناپیوسته همراه با افزایش گسستگی است. این حالت باعث می‌شود که وقتی در قیمت‌های فعلی، تقاضا بیش از عرضه باشد، تولیدکنندگان به سود سرشاری برسند و پس از آن، دوران زیان خواهد بود که در قیمت‌های کنونی، میزانِ عرضه‌شده بیش از تقاضا است.

تقاضا سریع‌تر از عرضه افزایش می‌یابد

از ۲۰۰۱ تاکنون چین با نرخ بالا و در مقیاسی بی‌سابقه و به طور قابل توجهی تقاضای کالاهای اساسی خود را در جهان افزایش داده است. تقاضا صرفاً برای نفت نیست بلکه شامل سیمان، فولاد، مس، آلومینیوم، زغال‌سنگ –حرارتی و متالورژیکی، کک‌سازی– سرب و سنگ آهن می‌شود. تا سال ۲۰۰۶، نرخ اجاره روزانه برای دکل‌های حفاری اکتشافی به بیش از ۶۵۰ هزار دلار در روز رسید. فولاد در شرایط عرضه پایین است و هزینه‌های توسعه و تولیدِ پروژه‌های نفت و گاز را بالا می‌برد. در حال حاضر دو سال طول می‌کشد تا نفت‌کشیِ سفارش‌داده شده از کارخانه کشتی‌سازی تحویل داده شود. حتی پل‌های بزرگراهی و دیگر پروژه‌های فولادی با تأخیر مواجه شده‌اند و هزینه‌شان بیشتر شده است.

تقاضای چین در سال ۲۰۰۷ عمدتاً برای گسترش و سرمایه‌گذاری زیرساخت‌ها بود و فقط حدود ۲۵٪ تقاضا برای موارد مصرفی بود و نسبت به حالت دیگر، حساسیت کمتری به افزایش قیمت داشت. تقاضای هند نیز به طور چشمگیری افزایش یافته است. منطقه آفریقای جنوبِ صحرا نیز احتمالاً ناحیه بعدی باشد که تقاضای انرژی در آنجا رشد فزاینده‌ای پیدا کند.

این حالت باعث افزایش سریع‌تر تقاضا برای نفت خام نسبت به قدرتِ عرضه در قیمت‌های فعلی می‌شود. در حقیقت مشخص نیست که بتوان تولید نفت را به بیش از سطوح فعلی در کوتاه‌مدت افزایش داد. هیچ اکتشاف نفتیِ جدید قابل توجهی نیز برای آرام کردنِ وضعیتِ عرضه و تقاضا در کوتاه‌مدت در دستور کار قرار نداشت بنابراین، احتمالاً قیمت‌ها در بالای ۸۵ تا ۹۰ دلار به ازای هر بشکه بماند، چون این قیمت نشان دهنده ارزش نهاییِ مصرفی است و احتمالاً به هزینه نهاییِ تولید نفت خامِ جدید بسیار نزدیک باشد. خارج از منطقه MENA، در آفریقای جنوبِ صحرا، کرانه‌های اقیانوس آرام، حوضه دریای آتلانتیک و شمالگان، هیچ میدان نفتیِ بزرگی کشف نشده است –که بیش از پنج میلیارد بشکه نفت داشته باشد. شرکت‌های بین‌المللی و بزرگ نفتی، نظیر اکسون‌موبیل، شل و BP، نتوانسته‌اند تولید خود را به رغم صرف میلیاردها دلار جایگزین کنند. به نظر می‌رسد که تولید نفت در خارج مناطق MENA در حال انقباض است با این حال برخی کشفیاتِ قابل توجه در برزیل و مواردی در حوضه دریای خزر، مناطقی در لیبی و ایران در دست بهره‌برداری هستند.

حتی در منطقه MENA، جایی که بیش از ۶۰٪ ذخایر خام مرسوم جهان قرار دارد و جایی که میادین نفتی قادرند صدها هزار بشکه در روز تولید کنند، افزایش تولید دشوار است. طبق منابع مهندسیِ نفت خام در مؤسسه پترولیوم[1]، یکی از شرکت‌های ملی نفتی ابوظبی[2] از شعب کالج مهندسی که حاصلِ چندین حاصل

[1] Petroleum Institute

[2] ADNOC

گفت‌وگو شخصی است، تولیدِ کم‌هزینه نفت دیگر امکان ندارد. از این لحظه به بعد، هرگونه افزایش در تمامی ظرفیت‌های تولید نیازمند فناوری‌های گران‌قیمت و الگوهای حفاری پیچیده است تا بتوان به تولید معنادار اضافی دست یافت.

بنابراین، به نظر می‌رسد خطر واقعی که متوجه تولیدکنندگان نفت خام است در عقب ماندن از تقاضای رو به افزایش است که باعث افزایش قیمت‌ها تا سطحی می‌شود که تجاری‌سازیِ پایدارِ تولید فرآورده‌های خامِ غیرمرسوم را حفظ خواهد کرد و به ویژه برای تأمین سوخت بخش حمل و نقل که تا ۷۰٪ کل تقاضای نفت خام را به خود اختصاص می‌دهد. با این فرض که افزایش اخیر قیمت در نفت خام ناشی از فرآیند معمولِ چرخه‌ای است، غول‌های صنعت نفت هنوز سیگنال اقتصادی مربوط به افزایش سرمایه‌گذاری را دریافت نکرده‌اند. همچنین آنها این مطلب را نیز درک نکرده‌اند که به سبب افزایش قدرتِ اقتصادیِ جهانیِ هند و چین تغییراتی ساختاری در تقاضا به وجود خواهد آمد.

۱۱ خلاصه: چیرگیِ تحلیل رفتاری در قیمت‌گذاری بازار

معامله‌گران در بافتِ کوتاه‌مدت فعالیت می‌کنند. در کوتاه‌مدت، اصول بنیادی به واسطه نگرانی‌ها و عواملِ روان‌شناختی کنار گذاشته می‌شود؛ خصوصیاتِ رفتاری معامله‌گران شامل رفتار گله‌ای، تقلید، لنگراندازی و تمایلات به رهبری است که در بازار رواج دارند. نتیجه این می‌شود که بازارهای نفت خام آرایه‌ای از چالش‌ها را طی کشف قیمت نفت تجربه می‌کنند که بازتابی از ارزشِ نسبی آن در اقتصاد است. در مواقعی که توازن نفت روزانه دچار ناپایایی می‌شود –یعنی وقتی که عرضه تولیدات می‌تواند کمبودِ ژئوپلیتیک در سطح عرضه فعلی نفت جهانی را جبران کند– قیمت‌ها تمایل به بازگشت به روابطِ واقعیِ عرضه و تقاضا دارند. وقتی مازاد تولیدات روزانه به زیر ۲mbd می‌رسد، بازارها اصول بنیادی را رها می‌کنند و به عوامل محرکِ قدیمی‌ترِ ترس و طمع روی می‌آورند. هر زمان این نوع تولید موجود باشد –که در بازه زمانی ۲۰۰۶–۲۰۰۷ این‌طور نبود– بازار به نحوی انتظاراتِ خود را بازبهینه‌کاوی می‌کند به گونه‌ای که برای اُفت تولید مازادِ موجود به زیر ۲mbd به منظور دستیابی به قیمت‌های منصفانه از واقعیت‌های بنیادی، به زمان بیشتری نیاز خواهیم داشت. به محض اینکه مشخص شود تولید مازاد موجود برای تأمین کمبود عرضه در بخشی از زنجیره طویلِ تأمین نفت خامِ جهان ناکافی است، ترس و طمع غالب می‌شود.

نقش انکارناپذیرِ انتظارات در رفتار قیمت نفت خام عمدتاً توضیحی بر این قضیه است که چرا افزایش قیمت نفت خام با وجودِ عرضه کافیِ ظاهری در جهان همچنان ادامه یافته است. البته باید به این نکته نیز توجه شود که بشکه بعدیِ نفت خام تولیدی به راحتیِ بشکه قبل به دست نمی‌آید و بنابراین، ارزان‌تر از تولید فعلی

نخواهد بود. نفت خام در قیمت بازاری به فروش می‌رسد که کمتر بازتابی از هزینه نهاییِ تولید است و بیشتر نمایانگرِ ارزشِ نهایی مصرفیِ آن است.

انتظارِ داشتنِ روندهای سریع، زمانی به وجود می‌آید که قیمت نفت خام صرفاً به سبب خبری درباره انتظاراتِ آینده افزایش یابد اما هیچ ربطی به رابطه عرضه و تقاضا ندارد و باعث می‌شود قیمت همچنان افزایش یابد و بازار نفت خام را از لحاظ دینامیکی ناپایدار سازد –این در حالی است که بازار در حالت عادی فراریت خاص خود را دارد. استراتژی معاملاتیِ مومنتوم[1]، مغالطه تعمیم نادرست و رفتار گله‌ای، تحلیل پس‌نگر و خودکامبخشیِ قابل پیش‌بینی چارت– همه این عناصر اقداماتِ معامله‌گران برای دستیابی به حداقل سود ممکن در دنیای رقابتیِ معاملاتِ نفتی هستند زیرا آنها به خوبی می‌دانند که ۹۰٪ معاملات در سال غلط خواهد بود.

غیرمنطقی بودنِ بازارهای نفت خام نیز زمانی هویدا می‌شود که ما در کشف قیمت، شاهد بیش‌قیمت یا کم‌قیمت‌ها هستیم چون قیمت‌ها تمایل دارند خود را با واقعیت‌های جدید عرضه و تقاضا در فرآیند تفسیر و پیش‌بینیِ اخبار سازگار کنند.

صرف ریسک (حق مقابله با ریسک/ risk premium) برای نفت خام MENA این علت را تبیین می‌کند که چرا با قیمتی معادل *مناطقِ با تولید پرهزینه* نظیر تولیداتِ آبهای عمیق حوضه نفتی دریای بالتیک نفتِ خود را می‌فروشد [۱۲]. پیش‌بینی این مطلب آسان است که ریسک‌های ژئوپلیتیکی در خلیج فارس عرضه و حمل و نقل نفت خام را تهدید می‌کند –۶۰٪ از واردات آسیایی از طریق تنگه هرمز انجام می‌شود– ممکن است قیمت نفت حدود ۱۸ دلار به ازای هر بشکه عقب‌نشینی کند. در حقیقت، بعید است اپک به قیمت نفت خام متجاوز از ۷۰ دلار به ازای هر بشکه خوش‌بین باشد چون باعث می‌شود جایگزین شدنِ نفت خام غیرمرسوم به جای نفت خام مرسومِ خاورمیانه در امر حمل و نقل و تولید انرژی تسریع شود بنابراین، حداکثر پرداخت نقدیِ بدهیِ ذخایر نفت خام مرسوم‌شان را تهدید می‌کند.

یکی از موضوعات تحقیقاتیِ ممکن، تحلیلِ نیمه‌عمر قدرتِ یک خبر در حرکت دادنِ قیمت‌ها در بازار نفت خام است. مشاهده می‌شود که پس از طی مدتی، اخبار بدِ بعدی از یکی از مناطق نفتی، مانند سابق نمی‌تواند قیمت‌ها را تکان دهد. بازار به نقطه‌ای از «خستگی خبری» درباره آن قضیه می‌رسد و آن اخبار را در قیمت‌های کنونی به طور کامل «هضم‌شده» می‌داند. خط زمانیِ این بی‌توجهی برای پیش‌بینیِ قیمت در جایی که روال منظمی برقرار است اهمیت دارد.

[1] Momentum trading

یادداشت‌ها:

۱. به این آدرس مراجعه کنید: www.nymex.com

۲. «تحقیقِ سازمان اطلاعات انرژی نشان می‌دهد ذخایر نفت جهانی به طور کامل جایگزین نشده‌اند»، شانزدهم آپریل ۲۰۰۷، در نشانی زیر دردسترس است: www.energyintel.com (دسترسی، ۲۰۰۶).

۳. به این آدرس مراجعه کنید: www.nymex.com

۴. به این آدرس مراجعه کنید: www.nymex.com

۵. مشخصات قرارداد در سایت www.nymex.com موجود است.

۶. به این آدرس مراجعه کنید: www.nymex.com

۷. این مطلب بر مبنای تحقیقی از سوی نگارنده است که هنوز منتشر نشده است.

۸. به این آدرس مراجعه کنید: www.nymex.com

۹. طبق یکی از تحقیقاتِ منتشرنشده نگارنده

۱۰. تحقیق منتشرنشده نگارنده

۱۱. نگارنده از چندین معامله‌گر چاله -pit trader- این قضیه را در مورد NYMEX و CME شنیده که نامشان را مدت‌هاست فراموش کرده است.

۱۲. با این حال، قیمت‌های فعلیِ بالای ۸۸ دلار -دسامبر ۲۰۰۷- امکان سود اقتصادی را فراهم می‌کند بنابراین، صرف ریسک -حق مقابله با ریسک- در برخی بخش‌های دنیا کل صنعت را با اجاره اقتصادی در دوره فعلی بازار تأمین می‌کند (فقط ۲۰۰۶). با این حال، وقتی این سودها در کل چرخه عمر یک صنعتِ چرخه‌ای توزیع شود، احتمالاً آن اجاره‌ها محو شوند.

منابع:

CFTC Glossary (2008), 'A guide to the language of the future industry', Washington, DC, Commodities Futures Trading Commission of the United States, available at: www.cftc.gov/educationcenter/glossary/ index.htm (accessed 28 February 2009).

Energy Intelligence (2007), *The International Crude Oil Market Handbook*, *2007*, New York: Energy Intelligence Group, available at: www.energyintel.com.

Fenton-O'Creevy, Mark, Nigel Nicholson, Emma Soane and Paul Willman (2005), *Traders: Risks, Decisions, and Management in Financial Markets*, Oxford: Oxford University Press.

Garis, Dalton (2005), 'Fighting the last War: What do Rig Counts Say?', *OGN: Oil & Gas News*, May 2–8.

Mandelbrot, Benoit (2004), *The (Mis)Behavior of Markets: A Fractal View of Risk, Ruin, and Reward*, New York: Basic Books, Chs VII, XII.

Middle East Economic Survey (MEES) (2006), Nicosia, Cyprus: Middle East Petroleum & Economic Publications (Cyprus) Ltd, available at: www.mees.com.

Montier, James (2003), *Behavioral Finance: Insights into Irrational Minds and Markets*, Chichester: John Wiley.

Oil & Gas Journal (2006), Pennwell Petroleum Group, Tulsa, OK, available at: www.ogj.com.

Shenk, M. (2007), '$100 Oil Price May Be Months Away, Say CIBC, Goldman I (Update 1)', Bloomberg.com, update 23 July.

Soros, George (2003), *The Alchemy of Finance*, rev. edn, Chichester: John Wiley.

Till, Hillary (2007), 'The Amaranth Collapse: What Happened and What Have We Learned Thus Far?' Ecole De Hautes Etudes Commerciales du Nord Business School, Risk and Asset Management Research Centre, Paris, Nice, Lille, August.

برای مطالعه بیشتر:

در زیر به چند متن مفید درباره موضوعات این فصل اشاره می‌کنیم. خارج از تز دکترا، اکثر تحقیقاتِ انجام شده درباره رفتار بازار بر ابزارهای مبادله خارجی و مالی متمرکز بوده‌اند و مقدار کمی نیز –به استثنای ماندلبروت– بر داده‌های سری‌های زمانی کالاهای اساسی تمرکز داشته‌اند.

Beutel, Peter C. (2005), *Surviving Energy Prices*, Tulsa, OK: Pennwell Corporation. (A good introduction to petroleum futures, options and options on futures.)

Kaufman, Perry J. (2003), *A Short Course in Technical Trading*, Hoboken, NJ: John Wiley. (A good introduction to most aspects of technical trading currently employed by commodity traders.)

Kindleberger, Charles P. and Robert Aliber (2005), *Manias, Panics, and Crashes: A History of Financial Crises*, 5th edn, Hoboken, NJ: John Wiley. (The definitive text on price bubbles.)

Schleifer, Andrei (2000), *Inefficient Markets: An Introduction to Behavioral Finance*, New York: Oxford University Press. (An accessible economic analysis of behavioral anomalies and their effects on markets and prices.)

Sornette, Didier (2004), *Why Stock Markets Crash: Critical Events in Complex Financial Systems*, Princeton, NJ: Princeton University Press. (A survey of current dynamic modeling techniques for market behaviors in times of crises. Technical but accessible to the numerate non-professional.)

۱۹ دورنمای صنعت زغال‌سنگ در قرن بیست و یکم [۱]

ریچارد ال. گوردن

۱ مقدمه

طی قرن بیستم زغال‌سنگ از سوختِ مربوط به مصارف عمومی به ماده‌ای مبدل شد که استفاده‌اش به طور فزاینده‌ای در تولید برق متمرکز بود. علاوه بر این بسیاری از کشورهایی که از لحاظ تاریخی وابستگی زیادی به زغال‌سنگ داشتند از مجموع کل مصرف زغال‌سنگ خود کم کرده‌اند. این انتقال طبیعتاً باعث هراس این صنعت و حامیانِ آن شد. اقداماتِ بی‌فایده و در عین حال پرهزینه‌ای برای مقابله با این تغییرات انجام شد. یکی از قالب‌های کلیدی این است که وفور دسترسی به منابع زغال‌سنگ باید به مصارفِ بیشتری منجر شود. یکی از توسعه‌های کم‌اثرترِ اخیر نیز ظهورِ دادوستدِ زغال‌سنگ از طریق راه‌های جدید دریایی در دنیا بود که در کنترل چند تازه‌وارد در هر دو بخش تولید و صادرات بود.

این بحث را با توضیحِ ایراداتِ وارده بر مطالبی آغاز می‌کنیم که درباره منابع گسترده زغال‌سنگ گفته شده است. همچنین به درک نادرست درباره داده‌های موجودِ مرتبط با دسترس‌پذیری به منابع و غفلتِ اقتصادِ زیربنایی اشاره خواهیم کرد. در بخش سه توجه خود را به مشکلات تولید، حمل و نقل، تبدیل و مصرف زغال‌سنگ معطوف خواهیم کرد. مشکلات هراس‌آوری که حتی اگر از اثراتِ زیست‌محیطیِ آن صرف نظر کنیم، همچنان پابرجا هستند. سپس تاریخ تولید زغال‌سنگ را مرور خواهیم کرد زیرا بازسازماندهیِ مهمی در این صنعت به حساب می‌آید. الگوهای تجارت زغال‌سنگ را در بخش چهار بررسی خواهیم کرد. سیاست‌های آمریکا در مورد امنیت معادن و لیزینگِ زغال‌سنگ در بخش پنج بررسی خواهد شد. در بخش شش بحث را با نگاه به دورنمای این صنعت جمع‌بندی خواهیم کرد.

۲ زغال‌سنگ، نزدیک‌بینیِ سرمایه‌گذاری و پایانِ نفت: نظریه و رویه انتقال انرژی

غالباً اینگونه استدلال می‌شود که افولِ تولید نفت در شرف وقوع است و سرمایه‌گذارانِ خصوصی، نگاه و پیش‌بینی درستی در مورد این توسعه ندارند. این اظهارات به طور اجتناب‌ناپذیری به پیش‌بینیِ بسیار ذکرشده و در عین حال کمتر مطالعه‌شده هوبرت –Hubbert– از افول نفت آمریکا بر مبنای ارزیابی آماری از دسترس‌پذیریِ فیزیکی نفت در آمریکا مربوط می‌شود [۲].

در عمل، محدودیت‌های اقتصادی پیش از آن مشاهده می‌شوند که این محدودیت‌های فناورانه به وجود آیند، همان طور که در قضیه نفت شاهد این موارد هستیم. نفت آمریکا کاهش یافت، نه به علت کاهش ذخایر، بلکه به سبب پیدا شدنِ جایگزینی بهتر –نفت خاورمیانه. بعدها، این افول شدت گرفت و علت آن مقاومت در

برابر واردات بود. بنابراین، برحسب اتفاق الگوی افول، که به واسطه سیاست‌های متغیر انرژی تعیین شده بود با آنچه هوبرت به سبب محدودیت‌های فیزیکی پیش‌بینی کرده بود تطابق یافت.

سرمایه‌گذاران خصوصی و بازارِ آزاد بهتر از دولت قادر به پیش‌بینیِ رویه‌های آینده هستند (به مقاله کوهن و نول، ۱۹۹۱ مراجعه کنید) بنابراین، سطوح مؤثری از سرمایه‌گذاری را تولید می‌کنند.

مهم‌تر اینکه، پیش‌بینیِ بهتر شبیه کُند کردنِ افول نفت نیست. تحلیل اقتصادی از پژوهش‌های گری (۱۹۱٤) آغاز می‌شود و از جمله هاتلینگ (۱۹۳۱) پژوهش‌های گسترده‌ای در مورد مدیریتِ منابعِ تجدیدناپذیر ارائه می‌کند. گوردن (۱۹٦٦، ۱۹٦۷)، هرفیندال (۱۹٦۷)، اسکات (۱۹٦۷) و به ویژه کامینگز (۱۹٦۹) [۳] سهم عمده‌ای در تولید نظریات لازم درباره مشاهدات اولیه هاتلینگ داشتند [٤].

نظریه هاتلینگ رفتار بهینه تولید کالایی موجود در مقداری ذاتاً ثابت را توضیح می‌دهد. یکی از فرضیاتِ اساسیِ ضمنی این است که تقاضا برای آن کالا آنقدر دوام خواهد داشت که اگر کالا با قیمتی معادلِ هزینه نهاییِ تولیدش به فروش رود، نسل‌های بعدی هیچ مقدار از کالایی را که می‌خواهند دریافت نخواهند کرد. گوردن (۱۹٦۷)، هرفیندال (۱۹٦۷) و کوپ‌مانس (۱۹۷٤) خاطر نشان می‌کنند که زمان حیاتیِ تقاضایی رفع‌نشده نبایستی وجود داشته باشد یا صرفاً در تاریخی به اندازه کافی دوردست باشد تا رفتارِ فعلیِ مؤثر بتواند از کاهش نهایی صرف نظر کند. وقتی تاریخ کاهش و به اتمام رسیدن منبع نزدیک و نزدیک‌تر می‌شود، مالکان با محدود کردنِ خروجی به جهت تأمین نسل‌های آتی به این روند واکنش نشان می‌دهند. با این حال، برخلافِ بعضی از نگرش‌های هاتلینگ، این حالت باعث بروز اثری ساده و قابل مشاهده بر قیمت‌ها نمی‌شود. تحلیل هاتلینگ با موردی ساده‌تر و توسعه‌یافته‌تر آغاز می‌شود که به طور ضمنی به استخراج منابع همگنِ تولیدپذیر با هزینه‌های ثابت سروکار دارد [۵]. در این حالت، آنچه هاتلینگ «قیمت خالص[1]» می‌نامد –میانگین سود به ازای هر واحد خروجی– باید با r درصد نرخ بهره بازار، در سال افزایش یابد. با وجودِ رقابتِ محض در مالکیت‌های معدنی، این اجاره‌ها به صورت حق امتیاز پرداخت خواهد شد. با این حال چون تولید، هزینه به بار می‌آورد قیمت بازار نیز لزوماً با نرخ کُندتری نسبت به سود رشد می‌کند چون قیمت از سود تجاوز می‌کند بنابراین، افزایشی معین معادلِ درصدِ کمتری از قیمت بازار نسبت به سود خواهد بود.

اقتصادِ منابع تجدیدناپذیر شامل چندین کشف مستقل است که غالباً این اکتشافات سال‌ها از یکدیگر فاصله دارند. در بین این اکتشافات در مصارف عمومی، دو امتیاز برجسته برای ذخیره‌سازی منابع به دست می‌آید.

[1] net price

امتیاز ساده این است که با رشد خروجی در هر دوره زمانی شاهدِ افزایش هزینه‌ها هستیم. منفعتِ دیگر این است که کاهش خروجی به مرور زمان باعث اُفت هزینه‌های نهایی می‌شود (گری، ۱۹۱٤).

علاوه بر این اگر منابع ناهمگن باشند منفعتِ اضافیِ خروجیِ کاهش‌یافته در تأخیر انداختن هزینه‌های رو به افزایشِ تولیدِ انباشتی است. منافعِ به تأخیر انداختنِ کاهش منابعِ بهتر به‌سادگی حاصلِ جمعِ ارزش‌های کنونیِ صرفه‌جویی‌ها در هزینه‌های حاصل است [٦].

معمولاً در اینگونه موارد تولیدی را در نظر می‌گیرند که قیمت را بالا و خروجی را کاهش دهد. این خروجی‌ها حتمی نیستند. کاهش شتابِ انتقال در تقاضا می‌تواند افزایش خروجی را ایجاب کند تا افزایش سود حاصل از خروجیِ ثابت جبران شود. انتقال‌های رو به پایینِ سریع در هزینه‌ها می تواند کاهش قیمتی را ملزم دارد تا از افزایش سود در سطح لازم بکاهد [۷].

بنابراین، در حالت عمومی، قانونِ r درصد به این طرح پیشنهادیِ عمومی می‌انجامد که چیزی ارزشمند وجود دارد و بنابراین، دارایی در کار است، البته اگر برخی ترکیبات از پرداخت‌های آنی و بازده سرمایه به کارآمدیِ کلی در حداقل r درصد منجر شود. به طور بحرانی، اتمام‌پذیریِ منابع هیچ شکست جدیدی در بازار به وجود نمی‌آورد. اگر فرضیات در مورد رقابتِ محض گسترش یابد، واکنش به تمام شدنِ منبع مؤثر خواهد بود. برای بدتر کردنِ اوضاع، اثراتِ شکست بازار فرق خواهد داشت. معمولاً، انحصار به طور نامؤثری خروجی پایینی تولید می‌کند؛ عوامل بیرونیِ مخرب همچنان به خروجیِ اضافی منجر می‌شود. بازار سرمایه ناقص ممکن است دلالت بر خروجیِ اضافی داشته باشد. با این حال، در کل این مطلب صدق نمی‌کند.

تفسیر اقتصادی از توجه ناکافی به آینده به استفاده از بهره بیش از حد در ارزیابیِ ارزش واقعیِ فعلیِ درآمدهای آتی برای سرمایه‌گذارانِ کنونی مربوط می‌شود. اگر از نرخ‌های بهره بسیار بالای ناکارآمد بکاهیم ممکن است تولید نفت به واقع کُند شود چون قرار نیست برای تولیدِ بیشتر مشوقی ارائه شود. با این حال می‌توان با افزایش مشوق‌ها به منظور سرمایه‌گذاری روی ظرفیت‌های تولیدی جدید با این وضعیت مقابله کرد. در مدل ساده از منبعی تجدیدناپذیر، توجه و نگرانی در مورد آینده به سبب افزایشِ تدریجیِ قیمت‌ها و انبار کردنِ ذخایر برای مصرف نسل‌های بعدی به وجود می‌آید [۸]. نرخ بالای بهره بر کمتر جذاب کردنِ انبار کردنِ ذخایر اثری مستقیم دارد. با این حال اثری غیرمستقیم در افزایش هزینه استفاده از تجهیزات باعث دلسردی در سمتِ سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری از ظرفیت تولیدی می‌شود. هیچ‌کدام از این اثرات بر یکدیگر فائق نمی‌آید. چون تولیدکنندگان تا زمانی که قیمت‌ها به بالاتر از هزینه‌های تولید کنونی برسد، ذخایر را انبار می‌کنند ، کاهشِ جذابِ انبار کردنِ ذخایر بسیار حیاتی است. در جایی که هزینه‌های به قیمت نزدیک‌تر باشد، اثرِ بازدارنده سرمایه‌گذاری پدیده غالب خواهد بود (به مقاله گوردن ۱۹٦٦ مراجعه کنید). این نظریه نشان می‌دهد که اگر

تقاضا برای ماده محدودِ فیزیکی تا ابد ادامه یابد چه اتفاقی می‌افتد. شاید برخی بگویند که این نظریه نشانگری باشد از آنچه رخ می‌دهد و زمانی که اتمام ذخایر به مسئله‌ای حیاتی مبدل می‌شود.

برخلاف اظهارات اولیه در سال‌های افزایش قیمت، نظریاتِ مربوط به کارتل شدن بهتر از نظریات مربوط به کاهش منابعِ تجدیدناپذیر رفتار صادرکننده نفت را توضیح می‌دهد. نظریه اتمام منابعِ تجدیدناپذیر بر این مطلب دلالت دارد که تصمیمات باید ثبات رویه داشته باشند و اقدامات تک‌سویه ترجیح دارند. فرصت برای ذخیره‌سازی و انبار کردن وجود دارد، حال دیگر تولیدکنندگان هر کاری که بخواهند انجام می‌دهند و در حقیقت هر چقدر دیگران کمتر انبار کنند، انبارکنندگانِ واقعی بیشتر سود خواهند کرد. برخلاف این حالت، کارتل‌سازی حاکی از آن است که اختلاف در میان فعالان سیاسیِ بالقوه غالباً به فروپاشی ائتلاف‌ها منجر می‌شود. مسیرِ ناهمواریِ قیمت نفت از ۱۹۷۱ تاکنون گواهی آشکار بر این مطلب است که کارتل‌سازیِ ناپایدار محتمل‌ترین وضعیت خواهد بود.

دلایلی برای تهیه اطلاعات در مورد اعطای منابع وجود دارد. ادلمن (۱۹۹۰) به تمایز اساسی بین توسعه و اکتشاف اشاره می‌کند. -اکتشاف آغازِ ماجرا است، مرحله کم‌هزینه‌ترِ پیدا کردنِ منابعِ معدنیِ ارزشمندِ بالقوه. توسعه، مرحله بسیار پرهزینه‌ترِ ساخت تأسیساتِ مورد نیاز برای استخراج مواد معدنی است. اکتشاف به طور پیوسته انجام می‌شود تا فهرستی از مکان‌های مختلف تهیه شود که به طور بالقوه ارزش توسعه دارند. بعد از توجیه، منطقه توسعه می‌یابد. چنین توسعه‌ای می‌تواند چندین دهه ادامه یابد و به واقع شاید برحسب شرایط، قرن‌ها طول بکشد. اکتشاف فعالیتی جاری است که نه به سبب ترس از اتمام، بلکه به سبب شناسایی فرصت‌های خوب در کاهش هزینه‌های احتمالی پیش می‌رود. اکتشاف و توسعه هر دو، برای به حرکت در آوردنِ مرحله تولید و استفاده از فرصت‌های موجود انجام می‌شوند.

میزانِ واقعیِ اکثر مواد معدنی هنوز ناشناخته است. آنچه مشخص است، مقدارِ ذخایر اثبات‌شده است -آن میزان که در حال توسعه است. چشم‌پوشی از این نکته بنیادی باعث می‌شود که نگرانی‌های بی پایه و اساس به طور دائم به وجود آیند. دومین نگرش در مورد دسترس‌پذیریِ منابع می‌گوید که منابع، وسیع و فراوان هستند اما استفاده از آنها را در عرصه زیست‌محیطی ناپسند می‌داند (هولدرن، ۲۰۰۲).

نشانگرهای فراوانی در مورد منابع فراوانِ بسیاری از گزینه‌های جایگزین برای نفت و گاز طبیعی وجود دارد که از جمله می‌توان به زغال‌سنگ، شن نفت‌دار[1]، ماسه‌قیری، ذخایر اورانیوم اشاره کرد که با راکتورهای زاینده[2]، هیدروژن، باد و انرژی خورشیدی گسترش می‌یابند. این پیش‌بینیِ عمده که می‌گوید سرانجام اقتصاد

[1] oil shale

[2] breeder

جهانی به سمت یک یا چند مورد از این گزینه‌های جایگزین حرکت می‌کند احتمالاً درست باشد اما فقدان دانشِ دستیابی به خروجیِ بهینه همچنان مانع این پیشروی است. گزینه‌های ترجیحی و زمان‌بندیِ انتقال را نمی‌توان شناخت و نگرانیِ موجود در میان شرکت‌های نفتی در خصوص اتمام منابع همچنان در عموم جامعه دیده می‌شود. در چنین شرایطی دو دسته سناریو اصلی ظهور می‌یابد. در یک مورد، حرکت به سمت زغال‌سنگ و شاید ماسه‌قیری و شن نفت‌دار پیش از حرکت به سمت یک یا چند گزینه غیرفسیلی اجرا می‌شود. برخی‌ها به مرحله اول توجه نمی‌کنند. کاملاً مشخص است که اختلاف در نگاهِ کلی اقتصاد به گزینه‌های جایگزین و این مطلب نهفته است که آیا هزینه‌های مستقیم گزینه‌های فسیلی آنقدر پایین هستند که بر هزینه‌های زیست‌محیطیِ بالای آنها چیره شوند. در مجموع، نظریه و رویه اتمام منابع به شدت حاکی از آن است که راهکار بازاری به طور گسترده، بهتر از مداخلات مختلف است.

۳ مشکلات زغال‌سنگ

سوختی جامد که با سوخت‌های گازی یا مایع در رقابت است مشکلات متعددی دارد. با پیشروی در هر مرحله از زنجیره استخراج تا دفع زباله، مشکلات بیشتری را شاهدیم. البته زغال‌سنگ بخشی از حوزه گسترده‌تر انرژی است. در نتیجه، این بخش به گونه‌ای تعریف می‌شود که فقط منابع بی‌جان انرژی را در بربگیرد و معمولاً همه آنها را شامل نمی‌شود. پنج نوع منبع –زغال‌سنگ، نفت، گاز، اورانیوم و انرژی آبی– به طور تغییرناپذیری پوشش می‌یابند. بسته به اهمیت‌شان در کشوری معین و منافعِ ناظر، گزینه‌هایی نظیر چوب، ضایعات حیوانی و دیگر منابع با منشأ بیولوژیکی، باد و انرژی خورشیدی نیز در نظر گرفته می‌شوند. در مطالعات مربوط به کشورهای صنعتی، به این گزینه‌ها توجه چندانی نشده است.

هر کدام از سه منبع سوخت فسیلیِ اول، به واقع مجموعه‌ای ناهمگن است. آنها از جنبه‌های مختلفی با یکدیگر فرق دارند که از جمله خصوصیاتِ کلیدی می‌توان به مقدار و شکلِ سوخت، میزانِ آلودگی با دیگر مواد و سهولت استخراج اشاره کرد. سوخت جامد انواع مختلفی دارد: از نوعِ بسیار سخت –آنتراسیت– تا حالت باتلاقی –زغال‌سنگ نارس. با آنکه دسته‌بندی‌ها در هر کشوری فرق می‌کند، بخش عمده‌ای از زغال‌سنگ‌ها به شکل نوع خاکستر نهفته، نرم‌تر و قهوه‌ای رنگ هستند که به زغال‌سنگ لیگنیت معروف است. غالباً، لیگنیت را از زغال‌سنگ‌های سخت‌تر متمایز می‌دانند –آنتراسیت، بیتومینوس و ساب‌بیتومینوس– و حتی آن را برحسب کیفیتِ بدتر و خوب‌تر دسته‌بندی می‌کنند. بنابراین، آلمان‌ها بین دو نوعِ braunkohle و pechkohle تفاوت قائل‌اند.

از جمله مصارف این سوخت‌ها می‌توان به تأمین گرمایش، روشنایی و سرمایش برای ساختمان‌های مسکونی، تجاری و صنعتی، تأمین برق فرآیندهای صنعتی و تأمین سوخت خودروها و دیگر انواع حمل و نقل اشاره کرد. با ظهور انرژی برق در اواخر قرن نوزدهم، تمایل به مصرف سوخت برای تولید برق افزایش یافت.

خصوصیاتِ فیزیکیِ بارز هر کدام از این سوخت‌ها بر تولید، حمل و نقل، فرآوری و بهره‌برداریِ اقتصادی‌شان و نیز اطلاعاتی که درباره‌شان داریم اثر می‌گذارد. زغال‌سنگ جزء سوخت‌های جامد است که راحت‌تر از نفت، گاز یا اورانیوم یافت می‌شود در غیر این صورت، این ماده حالتِ جامد چندان جذابیت نداشت. استخراج، حمل و نقل و مصرفِ آن سخت‌تر از گاز و نفت است. به ویژه می‌توان نفت را ارزان‌تر به صورت فیزیکی و شیمیایی انتقال داد اما هزینه انتقال زغال‌سنگ گران است. مخارج به گونه‌ای است که فقط اقتصادی مثل آفریقای جنوبی با گرایش شدید به خودکفایی حاضر است هزینه‌های سنگینِ استحاله زغال‌سنگ را متقبل شود.

با گسترشِ الگوی کمیاب شدن، نقش زغال‌سنگ در پر کردن این خلأها در جای ویژه بازار است مثلاً در بویلرهای بزرگ. این نوع مصرف انرژی در مقیاس بزرگتر باعث تولیدِ اقتصاد مقیاس‌ها –کاهش و صرفه‌جویی در هزینه‌ها– می‌شود. البته اینکه در چه زمانی این مقیاس‌ها به پایان می‌رسند مشخص نیست. در سطحی اتفاق می‌افتد که بسیار کوچکتر از کل بازار انرژی برق است اما معلوم است که نسبت به آنچه اکثر کارخانجاتِ تولیدی دارند بسیار بزرگتر است. اقتصاد مقیاس‌ها هزینه معایبِ استفاده از زغال‌سنگ را کم می‌کند ولی حذف نمی‌کند. اگر منابع عظیم و ارزان‌قیمتِ زغال‌سنگ وجود داشته باشد صرفه‌جویی در هزینه‌های سوخت ماندگاریِ هزینه‌های بالاتر در دیگر حیطه‌ها را توجیه خواهد کرد و به استفاده بیشتر از زغال‌سنگ در تأسیسات برقی منجر می‌شود.

اثراتِ زیست‌محیطیِ سوزاندنِ زغال‌سنگ از جمله مشکلاتِ دیگر است. ادواتی که دوده و ذرات ریز را جمع می‌کنند –مواد جامد متصاعدشده از سوزاندنِ زغال‌سنگ– اثراتِ کلاسیکِ استفاده از زغال‌سنگ را از نگاه‌ها پنهان کرده‌اند. گسیلِ اکسید گوگرد از احتراقِ گوگرد در زغال‌سنگ و اکسیدهای نیتروژن نیز از جمله نگرانی‌های این حیطه است. کنترل اکسید نیتروژن مستلزم تغییر در رویه‌ها و ادوات کنترل احتراق است. این موارد و گرایش به زغال‌سنگ‌هایی با مقدار کمتر گوگرد از جمله روش‌های کنترل اکسید گوگرد است. احتراق این موارد جایگزین در کشورهایی مورد استفاده است که سیاست‌های کنترل آلودگیِ سفت و سختی دارند. اعتقاد بر این است که دی‌اکسید کربن که یکی از گازهای گلخانه‌ای است باعث افزایش دمای هوای جهان شده است چون انسان مسئول آزادسازی این گازها است. کاهش در گسیل آلاینده‌ها و نیز تغییراتِ بنیادی در الگوی مصرف سوخت در منابع انرژی که شامل احتراق نباشد –انرژی خورشیدی، بادی و هسته‌ای– از جمله

راهکارهای ممکن است. تمامی این موارد جایگزین نیز مشکلات خاص خود را دارند. مخالفانِ انرژی هسته‌ای نگرانِ خطراتِ تشعشعاتِ آن در مراحل مختلف از استخراج تا دفع زباله‌های هسته‌ای هستند. انرژی خورشیدی و بادی نیز جریان ثابتی از انرژی مورد نیاز را که در سیستم‌های برقیِ مدرن وجود دارد تأمین نمی‌کنند. این موارد جایگزین در کوتاه‌مدت غیراقتصادی هستند و بدون مداخلاتی نظیر مالیات‌های سنگینِ گسیل گازهای گلخانه‌ای می‌باشند.

دیگر گزینه‌ها شامل حرکت به سمت سوخت‌هایی نظیر گاز طبیعی است که گاز گلخانه‌ای کمتری تولید می‌کند که در نتیجه می‌توان آن را جمع‌آوری و انبار کرد.

جایگاه تولید زغال‌سنگ: ۱۸۰۰–۲۰۰۶

از جمله جنبه‌های مهم اقتصاد زغال‌سنگ می‌توان به چشم‌اندازِ بسیار تغییریافته و محدودِ ژئوپلیتیکِ این صنعت اشاره کرد. پایگاه داده ملی از ۱۸۰۰ کار خود را آغاز کرد –اما تا پیش از ۱۹۰۰ آمار جهانی در دسترس نبود. این پایگاه شامل داده‌هایی می‌شود که چندین تولیدکننده کوچک در غرب اروپا را پوشش می‌داد که علاوه بر تولیدکنندگان پیشگام بودند –در مجموع ۱۶ کشور. با افزودن تولیدات زغال‌سنگ اندونزی به این ۱۶ کشور، بیش از ۹۰٪ تولیدات زغال‌سنگ جهان برای یک سال از ۱۹۰۰ به بعد ثبت می‌شد [۹].

وضعیت‌های بسیار متفاوتی در بین این ۱۷ کشور برقرار بود. از یک سو، چین پس از جنگ جهانی دوم از یک تولیدکننده کم‌اهمیت به بزرگترین تولیدکننده زغال‌سنگ جهان مبدل شد. آمریکا خود را در دهه‌های آخر قرن نوزدهم به تولیدکننده عمده تبدیل کرده بود و این نقش را همچنان حفظ می‌کند. در سال‌های پس از جنگ جهانی دوم، مصرف زغال‌سنگ آمریکا به طور فزاینده‌ای در تولید برق متمرکز شد چون سایر بازارها دچار انقباض شدند. جالب‌تر آنکه سامانه‌های ریلی به طور کامل زغال‌سنگ را با موتورهای دیزلی–برقی جایگزین کردند. مصارف خانگی و تجاری نیز تقریباً محو شد، استفاده در بویلرهای صنعتی نیز به شدت اُفت کرد. برای چندین سال، مصرف تخصصیِ زغال‌سنگ برای کک‌سازی در کوره‌های بلند تولیدِ آهنِ خام ادامه یافت اما در دهه ۸۰ میلادی از میان رفت. رشد مصرف زغال‌سنگ در تولید برق همچنان ادامه داشت. تا ۱۹۶۰ بازارها به اندازه‌ای کوچک شده بودند که زیان‌شان به واسطه سودِ تولید برق جبران می‌شد. صنعت زغال‌سنگ آمریکا گسترشی پیدا کرد که ادامه‌دار بوده است.

چندین کشور از جمله هند، استرالیا، آفریقای جنوبی و اندونزی این صنعت را گسترش داند و خود را به تولیدکنندگان رده‌میانیِ پیشگام در جهان مبدل ساختند. هند برای مصرف داخلی‌اش تولید می‌کند. آفریقای جنوبی از اکثر زغال‌سنگ خود به طور داخلی استفاده می‌کند اما جزء صادرکنندگان عمده است. استرالیا اکثر تولیدش را صادر می‌کند. اندونزی خروجیِ زغال‌سنگش را عمدتاً برای بازارهای صادراتی توسعه می‌دهد.

شوری سابق یکی از تولیدکنندگان عمده بود اما اکتشافاتِ مهمِ نفت و گاز طبیعی به اُفول زغال‌سنگ تا پیش از فروپاشیِ شوروی منجر شد. اصلاحاتِ بعدی باعث بازگشت شرایط نشد. لهستان وارد میان‌رده‌های تولید شد اما به سبب سقوط نظام کمونیستی، خروجی زغال‌سنگ لهستان نیز افول پیدا کرد.

برخلاف این حالت، به رغم کمک‌های فراوان، هفت کشور تولیدکننده در غرب اروپا دچار کاهش عظیمی در تولیدات خود شدند. در واقع فرانسه، بلژیک، هلند و ایتالیا تولید زغال‌سنگ را متوقف کرده‌اند در حالی که بریتانیا، آلمان و اسپانیا سطوح بسیار پایین‌تری را تولید می‌کنند. این کشورها که ۵۱٪ از خروجی ۱۹۰۰ را به خود اختصاص می‌دادند، در تولیدِ ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ کمتر از ۱٪ سهیم بودند. ژاپن نیز تولید خود را متوقف کرده است. کانادا معادن زغال‌سنگ را در مناطق غربی توسعه داد تا در بازار صادراتی فعالیت کند اما از ۱۹۹۸ به بعد، دشواری در رقابت باعث افول تولید شد. در نتیجه هفت تولیدکننده بزرگ جهان در ۲۰۰۶ – چین، آمریکا، هند، روسیه، استرالیا و آفریقای جنوبی – حدود ۹۶٪ از تولیدات ۲۰۰۶ و ۹۳٪ از تولیدات ۲۰۰۷ را به خود اختصاص دادند که این ارقام برخلاف سهم ۶۰٪ در ۱۹۴۶ است. این میزان خالصِ سهمِ کمتر برای آمریکا و روسیه است و در جای دیگری به شدت افزایش دارد. اساساً چند کشورِ انگشت‌شمار، تولیدکننده عمده تقریباً تمام زغال‌سنگ جهان هستند که عمده میزان تولید در خود کشورهای تولیدکننده استفاده می‌شود. الگوی آمریکا در افزایش اتکا به بازار برق در دیگر کشورهای عمده تولیدکننده زغال‌سنگ نیز نمود پیدا می‌کند.

شرکت‌های زغال‌سنگ

تغییرات پیچیده‌ای در الگوهای مالکیت مشاهده می‌شود. از جمله بنیادی‌ترین تغییرات می‌توان به مواردی دور از دنیای سوسیالیسم در شوروی سابق، لهستان و بریتانیا اشاره کرد. اتفاقات پیچیده‌تری در آمریکا، استرالیا، آفریقای جنوبی و کلمبیا رخ داد. از جمله تغییرات کلیدی می‌توان به ورود و خروجِ شرکت‌های بزرگ نفتی و دیگر شرکت‌های بزرگ اشاره کرد –اکسون، شل، بی.پی، چورون، آرکو، کانتینتال، سان، کر–مک‌گی و اکسیدنتال. ترکیبی از اکتسابِ شرکت‌های فعلی و خلق شرکت‌های جدید برقرار بود.

بزرگترین اکتساب در آمریکا در سال ۱۹۶۶ رخ داد که در آن زمان، کانتینتال اویل شرکتِ کانسولیدیشن کوال[1] –یک شرکتِ واقع در آپالاچ Appalachian– را خریداری کرد. در نتیجه کانتینتال اویل توسط دوپونت در ۱۹۸۱ خریداری شد و در ۱۹۹۸ از شرکت اصلی جدا شد و در ۲۰۰۲ با فیلیپس ادغام گردید. در سال ۱۹۹۰ دوپونت نیمی از کانسولیدیشن را به ژین‌براون فروخت که یکی از شرکت‌های کاملاً وابسته به شرکت برق آلمانی RWE بود. در سال ۱۹۹۹، ژین‌براون اقدام به خرید دوپونت کرد و بخشی از آن را عرضه

[1] Consolidation Coal

عمومی کرد و ۷۳/۷٪ را برای خود نگه داشت. اوکسی‌دنتال که در سال ۱۹٦۸ ایسلندکریک را خرید آن را در سال ۱۹۹۳ به کانسولیدیشن فروخت.

استانداردداویلِ اوهایو –که اکنون در بی.پی جذب شده است– شرکت اولد بن‌کوال را خرید که یکی از شرکت‌های غرب میانه بود که بعداً به یکی از هفت خریدِ زیگلر تبدیل شد –یک شرکت زغال‌سنگ کوچک long-extant. شرکت نهایی ورشکسته شد و چندین بار بازسازمان‌دهی را تجربه کرد. چورون از طریق اکتسابِ شرکت گلف اویل در سال ۱۹۸٤ وارد تجارت زغال‌سنگ شد. گلف نیز اسپنسر کمیکال را همراه با شعبِ زغال‌سنگ واقع در پیتزبورگ و میدوی[1] در سال ۱۹٦٤ خرید. این عملیات همچنان متعلق به چورون است. شرکتِ شِل[2] از طریق ایجاد شرکتِ زغال‌سنگیِ جدید و خریدِ نیمی از یک شرکتِ قدیمی وارد این عرصه شد. این شرکت‌ها بعداً با یکدیگر ادغام شدند و در سال ۱۹۹۲ به زیگلر فروخته شدند.

آرکو، اشلند، اکسون، سان و کر–مک‌گی تازه‌وارهای صنعت آمریکا بودند و در توسعه منابع زغال‌سنگ در غرب با یکدیگر رقابت می‌کردند. همه آنها با فروشِ معادن از این عرصه خارج شدند. اکسون تمام عملیات خود در غرب را فروخت اما یک مورد را در غرب میانه نگه داشت.

برخی از شرکت‌های ثبت‌شده به طور فزاینده‌ای مهم شدند و شرکت‌های جدید ادغام گشتند. پی‌بادی کوال به بزرگترین تولیدکننده مبدل شد. اکتساب‌ها شامل عملیات‌های وایومینگِ شرکت اکسون می‌شد. پی‌بادی تاریخچه مالکیتِ پیچیده‌ای داشت به ویژه پس از تصمیم دادگاه در ۱۹۷۷ مبنی بر اینکه خریدِ سال ۱۹٦۸ این شرکت از سوی کنی‌کات باعث محدود شدن رقابت شده است –چون کنی‌کات تازه‌وارد بالقوه بود. کنسرسیومی از بنگاه‌های تجاری نیز بعدها پی‌بادی را خرید. این روند در سال ۱۹۹۰ توسط هانسون پایان یافت که یک مجموعه صنعتیِ بریتانیایی به حساب می‌آمد و کل مالکیت آن را تصاحب نمود. در سال ۱۹۹۸ هانسون تصمیم گرفت تا بخش‌های مختلفش را جدا کند. در معامله‌ای پیچیده، لهمن مرچانت بنک حدود ۵۷٪ از سهم را خرید و باقی را در عرضه عمومی فروخت.

آرک[3] دیگر شرکتی است که نقشی برجسته داشت. شرکت اشلند[4] نصف مالکیتِ آرک را فروخت. کنی‌کات که آن زمان یکی از شرکت‌های وابسته غول معدنیِ بریتانیا، ریو تینتو بود –اکنون نام خود را به ریو تینتو انرژی امریکا تغییر داده است– به صورت نیرویی جدید در دهه ۹۰ میلادی ادغام شد. در سال ۱۹۹۳، عملیات معادن

---

[1] Midway

[2] Shell

[3] Arch

[4] Ashland

غربی زغال‌سنگِ شرکت سان و تأسیسات برق *پاسیفیکورپ* را اکتساب کرد. در سال ۱۹۹۸ یکی از معادنِ وایومینگ را از کر–مک‌گی خریداری کرد.

شرکت RAG که بر دوران افول صنعتِ زغال‌سنگ آلمان حکمرانی می‌کرد، عملیات‌های غربیِ سیپروس–آماکس کوال را در سال ۱۹۹۹ اکتساب کرد. سیپروس–آماکس کوال[1] یکی از زیرمجموعه‌های شرکت معدنی چندحوزه‌ای بود که در فرآیند اکتساب توسط شرکت فلپس داج قرار داشت. در سال ۲۰۰٤، RAG هلدینگ خود را به یکی از شرکت‌های سهام خصوصی آمریکایی فروخت.

در استرالیا، آفریقای جنوبی و کلمبیا، نقش رو به گسترشی برای چهار غول معدنی دیده می‌شد: BHP Billiton, Anglo-American, Rio Tinto و Xstrata که خریدها و زیرمجموعه‌سازی‌های زیادی داشتند. همه این شرکت‌ها به غیر از ریو تینتو، در استرالیا و آفریقای جنوبی بودند. مهم‌ترین گام این بود که شرکتِ فعلی BHP Billiton –که بعد از ادغام BHP با Billiton در ۲۰۰۰ شکل گرفت– بعد از خرید سهمی عمده در شرکت یوتاه اینترنشنال در سال ۱۹۸٤، به تولیدکننده پیشگام زغال‌سنگ استرالیا مبدل شد. یوتاه اینترنشنال یکی از شرکت‌های مستقر در آمریکا بود که بزرگترین تولیدکننده در کوئینزلند به حساب می‌آمد. در سال ۱۹۸٤، یوتاه اینترنشنال توسط شرکت جنرال الکتریک آمریکا خریداری شد که علاقه‌اش عمدتاً به نقشِ یوتاه به عنوان تولیدکننده پیشگام اورانیوم آمریکا بود بنابراین، منبعی بالقوه برای سوخت راکتورهای جنرال الکتریک به حساب می‌آمد. دیگر اکتسابات نیز براساس اهمیت‌شان انجام شدند. جایگاه ریو تینتو استرالیایی ترکیبی از توسعه معادن بزرگ در کوئینزلند و مجموعه‌ای پیچیده از معاملات در نیو ساث‌ولز بود که آن را قدرتمند نمود. داستان شرکت آنگلو–امریکن ساده‌تر بود: در سال ۲۰۰۰، عملیات‌های شِل در کوئینزلند و نیو ساث‌ولز را خریداری کرد. اکستراتا در ۲۰۰۲ از شرکتی تازه تأسیس با نام گلن‌کور پدیدار شد که هلدینگ‌هایی در حوزه زغال‌سنگ و دیگر مواد معدنی در آفریقای جنوبی داشت. در ادامه، گلن‌کور کار خود را در استرالیا با اکتساب حدود ۱۰ معدن در نیو ساث‌ولز در سال ۱۹۹۸ آغاز کرد و در ۲۰۰۳، اکستراتا به طور کامل شرکت MIM را خریداری کرد که یکی از شرکت‌های معدنی با گرایش زغال‌سنگ در کوئینزلند بود.

در آفریقای جنوبی، آنگلو تولیدکننده پیشگام زغال‌سنگ باقی‌ماند. بیلیتون نیز منافع زغال‌سنگ دو مجموعه صنعتیِ دیگر آفریقای جنوبی را خرید و این مجموعه‌ها به بخشی از شرکت BHP-Billiton تبدیل شدند. اکستراتا نیز منافع زغال‌سنگی داشت. یک سرمایه‌گذاری مشترک بین اکسون و دولت کلمبیا وجود داشت که در ۲۰۰۲ توسط سه شرکت BHP- Billiton، Anglo-American و Xstrata خریداری شد.

---

[1] Cyprus-Amax Coal

٤ تجارت جهانی

تجارت زغال‌سنگ در جهان نیز به شدت تغییر کرده است. در سال ۱۹۱۳ تجارت زغال‌سنگ بین‌اروپایی چیره بود [۱۰]. حدود ۱۵۵ میلیون تن زغال‌سنگ همراه با ۷۵ میلیون تن زغال‌سنگ از بریتانیا و ۳۵ میلیون تن از آلمان دادوستد شد. این تجارت به طور گسترده در اروپا باقی ماند. مهم‌ترین صادرکننده بعدی آمریکا بود که ۲۳ میلیون تن صادر کرد، ١٤ میلیون تن از آن به کانادا رفت. کل مقدار زغال‌سنگ صادرشده درسال ۱۹۲۹، ١٤٧ میلیون تن بود. این سه رهبرِ حوزه زغال‌سنگ در ۱۹۱۳ صادرات کمتری داشتند اما به همان کشورها صادر کردند. صادرات زغال‌سنگ بریتانیا به کمتر از ٤٦ میلیون تن رسید. آلمان با ٢٤ میلیون تن و آمریکا با ۱۷ میلیون تن در جایگاه‌های بعدی بودند. لهستان، که کشوری مستقل شده بود به صادرکننده چهارم تبدیل شد چون مناطقی که به آن داده شده بود شامل نواحی تولیدکننده زغال‌سنگ بود که پیش‌تر جزء آلمان حساب می‌شدند.

تا سال ۱۹۵۲، تجارت جهانی به ۱۰۵ میلیون تن متریک تنزل یافت. آمریکا با ٤٧ میلیون تن بزرگترین صادرکننده بود، کانادا بزرگترین بازار باقی ماند اما اروپا و ژاپن در کنار یکدیگر تقریباً همان میزان را خریداری کردند. سه صادرکننده اصلیِ دیگر در سال ۱۹۲۹ نیز بالاترین میزان را داشتند. لهستان به ۲۵ میلیون تن رسید، بریتانیا به ۱۲ میلیون تن تنزل کرد و آلمان به ١٦ میلیون تن رسید.

مجموع تولید جهانی در سال ۱۹۵۹ فقط ۹۳ میلیون تن بود که آمریکا ۳۵ میلیون تن، لهستان ١٦ میلیون تن و آلمان ۱۸ میلیون تن سهم داشتند. تا سال ۱۹۷۳، این جریان به ۱۹۰ میلیون تن رسید.

در سال ۲۰۰٦، آژانس انرژی بین‌المللی[1] جریانِ ۸۱۵ میلیون تن زغال‌سنگ را گزارش کرد. استرالیا ۲۳۱ میلیون تن از این مقدار را به خود اختصاص می‌داد، اندونزی ۱۲۹میلیون تن، روسیه ۹۲ میلیون تن، آفریقای جنوبی ٦۹ میلیون تن، چین ٦۳ میلیون تن، کلمبیا ٦۰ میلیون تن و آمریکا ٤۵ میلیون تن سهم داشتند. همان طور که انتظار می‌رفت استرالیا، اندونزی و چین بخش عمده‌ای از صادرات خود را در آسیا به فروش رساندند. استرالیا ۱۰٦ میلیون تن به ژاپن فرستاد و ۷۸ میلیون تن به نقاط دیگر آسیا ارسال کرد، اندونزی ۳۲ میلیون تن و ١٠٤ میلیون تن، چین ۱۹ میلیون تن و ۳۷ میلیون تن. ۵۵ میلیون تن از آفریقای جنوبی به کشورهای OECD اروپا رفت، روسیه ۵۸ میلیون تن به کشورهای OECD فرستاد.

از میان این جریان‌ها، زغال‌سنگ با شعله کوتاه[2] ۵۹۳ میلیون تن و کک‌سازی ۲۲۲ میلیون تن را شامل می‌شد. استرالیا تولید نیمی از زغال‌سنگ کک‌سازی را به خود اختصاص می‌داد -۱۲۱ میلیون تن- که تقریباً بیش از نیمی از صادرات استرالیا را شامل می‌شد. در مورد آمریکا، زغال‌سنگ کک‌سازی ۲۵ میلیون تن از کل

---

[1] IEA

[2] steam coal

صادرات را شامل می‌شد. کانادا نیز تقریباً همان سطح از زغال‌سنگ کک‌سازی را داشت که معادل ۲۷ میلیون تن می‌شد. ژاپن –۷۳ میلیون تن– بزرگترین واردکننده زغال‌سنگ کک‌سازی بود، دیگر بخش‌های آسیا نیز ٦۰ میلیون تن و کشورهای OECD اروپا ۵۵ میلیون تن. استرالیا تأمین‌کننده اصلیِ دو منطقه اول بود –به ترتیب ٤۵ و ۳۵ میلیون تن و با ۲۲ میلیون تن بزرگترین تأمین‌کننده زغال‌سنگ کک‌سازی برای کشورهای OECD بود.

۵ سلامت و ایمنی در معادن زغال‌سنگ آمریکا

فاجعه‌ای عظیم در سال ۱۹٦۸ در آمریکا باعث شد توجه به ایمنی کارگران معطوف شود. مقررات آمریکا در قالب قانون ایمنی و سلامت معادن زغال‌سنگ در سال ۱۹٦۹ تصویب شد[1]. نظارت‌ها سختگیرانه‌تر شد و همچنین شامل مقررات اثرات سلامت نیز می‌شد. مدیریت از اداره معادن آمریکا بخش داخلی[2] به اداره تازه تأسیسِ سلامت و ایمنیِ معادن[3] واگذار شد که در ابتدا در DOI بود اما بعداً در ۱۹۷۷ به وزارت کار منتقل شد.

مقررات شامل قوانینی برای معادن فعال و بازرسی فدرال از معادن می‌شد. قانون سال ۱۹٦۹ باعث سفت و سخت‌تر شدن قوانین و افزایش تعداد دفعات بازرسی شد. قوانین جدید شامل الزاماتی می‌شد که هیچ کار معدنی نباید زیرِ سقفِ مقاوم‌سازی نشده انجام شود. بهبود در تهویه هوا، استفاده از پوشش مناسب و آب‌پاشی به منظور اطمینان از این مطلب که سطح گرد و غبارِ تنفسی کاهش می‌یابد و افزایش جریان هوا به «صورت» در جایی که معدن‌کاری درحال انجام است و افزایش رصدِ معدن به منظور تعیین سطح متان، گرد و خاک و دیگر مواد خطرناک. بازرسی‌ها به شدت افزایش یافت.

در سال‌های بعد از اجرای این قانون، بهره‌وریِ استخراج زغال‌سنگِ زیرزمینی از بیشینه ۱/۹۵ تُن کوچک[4] به ازای هر ساعت/کارگر در سال ۱۹٦۹ به مقدار ۱/۰٤ تن کوچک در سال ۱۹۷۸ رسید. در آن زمان حرکت به سمت بهبود بهره‌وری آغاز شد و ادامه یافت.

اقدامات فراوانی که معطوف به تعیینِ نقش قانون در بهره‌وری شده بود افول کرد. با این حال، اثراتِ به هم مرتبطِ چندگانه‌ای به وجود آمد که اطلاعاتی از آنها در دسترس نیست. به ویژه، تصویب این قانون با هجوم معدن‌کارانِ بی‌تجربه مصادف شد. به نظر می‌رسید که این قانون نیاز به کار بیشتر در معدن را در پی داشت. نیاز

---

1 CMHSA

2 DOI

3 MSHA

4 short tons

به افزایشِ بازرسی‌ها با نیاز به حضور کارگرانِ جدید همراه می‌شد چون معدن‌کارانِ باتجربه به عنوان بازرس استخدام می‌شدند. بنابراین، انواع مطالعات درباره علل افول بهره‌وری تفاوت‌های فاحشی در ارزیابی‌های خود از عللِ افول داشتند و برآوردهایشان در مورد منافع سلامت و ایمنیِ حاصل از این قانون متفاوت با یکدیگر بود.

نواقصِ قوانین ایمنی و سلامتِ زغال‌سنگ بسیار قابل توجه است چون هیچ عامل بیرونی دخالت نداشته است. به منظور توجیه مداخلات در حفاظت از مردم در برابر مراوداتِ ناامن، دو آزمون باید انجام شود. اول، باید صدق این مطلب ثابت شود که کمکِ دولتی ارزان‌ترین راه برای تأمین حفاظت است. دوم اینکه، رویه مقررات باید ارزان‌ترین گونه اقدامات دولتی باشد. اعتبار این استدلال‌ها به طور ویژه در کار زغال‌سنگ با تردید همراه است چون در این صنف اتحادیه‌های باتجربه قدرتمندی فعالیت می‌کنند. این ادعا که شرکت‌های معدنی نمی‌توانند بهتر از نهادهای دولتی از اعضای خود محافظت کنند کیفرخواستی جدی در اتحادیه‌های بازرگانی خواهد بود.

رویه اختلال زمین[1]

اختلال زمین یکی از دغدغه‌های سیاسی سراسری است. با این حال، مشخص نیست که آیا این کنترل ارزش هزینه‌اش را دارد یا خیر، البته اگر کنترل ماندگار باشد. همچنین چه سطحی از دولت باید قوانین را در دست بگیرد. هر ایالت در آمریکا، به تدریج قوانین لازم برای احیای اراضی معدنی را ارائه می‌کند بنابراین، نیاز به قوانین فدرال نامشخص است. منطق غالب این است که رقابت بین ایالت‌ها بر جذابیتِ صنعت تأکید می‌کند و به قوانینی ضعیف‌تر و نه مطلوب‌تر منجر می‌شود. استدلال متضاد این است که رقابت بر جذابیتِ کل تأکید می‌کند و افراد و صنایعی غیر از معدن‌کاویِ زغال‌سنگ را جذب می‌کند. قوانین تا حد امکان سختگیرانه وضع خواهند شد.

یکی از قوانین ملی، قانون کنترل معدن‌کاوی و احیای اراضی آمریکا به سال ۱۹۷۷[2] در وزارت DOI، اداره معدن‌کاوی روزمینی[3] را تأسیس می‌کند و اصولی برای هدایتِ رویه احیای اراضی تعیین می‌نماید. اداره OSM مسئول نظارت بر توسعه برنامه‌های ایالتی به منظور اجرای قوانین بود یا اگر ایالت تصمیم می‌گرفت که برنامه‌ای را توسعه ندهد، قوانینی برای معدن‌ها در آن ایالت وضع می‌کرد. این قانون، احیای اراضیِ فعال و رهاشده معادن زغال‌سنگ را پوشش می‌داد. تگزاس قوانینی وضع کرد تا معادن روزمینی و زیرزمینیِ زغال‌سنگ برای احیای اراضی معادن رهاشده، تأمین مالی شوند. در بند ٤٠٣ این قانون ذکر شده است که به ترتیب، شش هدف

---

[1] Land disturbance

[2] SMCRA

[3] OSM

عمومی جزء اولویت‌های اصلی این قانون است: اولین هدفِ SMCRA این بود که از سلامت، ایمنی و اموال عمومی در مقابل خطرات شدید ناشی از اثرات معکوسِ اقداماتِ معدن‌کاویِ زغال‌سنگ حفاظت کند. دومین هدف همان اولین هدف بود که در آن «خطرات شدید» از قلم افتاده است. سومین هدف، احیای اراضی و منابع آبی و زیست‌محیطی بود. چهارمین هدف، تحقیق در مورد روش‌های احیای اراضی است. پنجمین هدف، در مورد کارهای عمومی است که تحت تأثیر معدن‌کاوی قرار دارد و ششمین هدف، توسعه زمین‌های مردمی است که تحت تأثیر معدن‌کاوی قرار گرفته است.

در مورد معادن فعال، قانون، صدور مجوزهایی را مجاز می‌داند که طبق آنها حق معدن‌کاوی فقط زمانی اعطا شود که داده‌های گسترده‌ای شامل برنامه‌های معدن‌کاوی و احیای اراضی و همچنین اطلاعاتی در مورد اثراتِ معدن‌کاوی ارائه شده باشد. علاوه بر این، بازرسی‌های معدنی نیز اجباری است.

قانون بندهای پیچیده‌ای مطرح می‌کند که مانع معدن‌کاوی روزمینی در زمین‌هایی خاص می‌شود که «زمین‌های زراعی» یک از آنها هستند. بیش از ۱۰ صفحه اصول احیای اراضی به صورت فهرست بیان می‌شود که از جمله احیا به شرایط تقریبیِ اصلی، احیای اراضی به منظور حمایت از مصرف اصلی‌اش یا مصارف بهتر و تفکیکِ زراعی که بتوان آن را جایگزین کرد.

همچنین، قانون SMCRA دارای بندی است که حقوق بسیاری از مالکانِ زمین را افزایش می‌دهد. کسانی که در آن زمین سکونت دارند یا از آن برای زراعت یا دام‌داری استفاده می‌کنند باید پیش از آنکه زغال‌سنگ اجاره داده شود، اجازه‌نامه کتبی بدهند. بنابراین، قانون پیچیده و مبهم بود و قوانینی کلی بدون توجیه درست مطرح می‌کرد.

لیزینگ زغال‌سنگ و ترس از سودهای بادآورده

نگرانی درباره سود اضافی نیز یکی از عوامل اثرگذارِ عمده بر مدیریت اراضیِ فدرال آمریکا است [۱۱] که الگوی مالکیت زمین در این کشور بسیار پیچیده است. مالکیت زمین در آمریکا بین بخش دولتی و خصوصی تقسیم می‌شود. مالکیت می‌تواند از مالکیتِ تمام‌خصوصیِ روسطحی و زیرسطحیِ زمین تا مالکیت و عملیاتِ تمام‌دولتی، متغیر باشد. تمامی سطوح دولت، مالک اراضی هستند. تجربه انرژی، بخشی از توسعه گسترده‌تر است که تقریباً شامل عدول کل در سیاست‌های اراضیِ دولتی آمریکا می‌شود [۱۲]. دولت آمریکا یکی از مالکانِ عمده زمین است زیرا ایالت‌ها از لحاظ تاریخی مالکیتِ اراضیِ اشغال‌نشده را به دولت فدرال واگذار کردند که پادشاهی بریتانیا به مستعمره‌های منفرد اعطا کرده بود. الحاقات که با خریدِ گسترده سرزمینِ لوئیزیانا آغاز شد، اراضی بیشتری به اموال دولت افزود. به مرور زمان توجه از سمتِ تصاحب زمین، همانند آنچه در

شرق می‌سی‌سی‌پی رخ داد به حفظ اراضی در غرب معطوف شد که در حال حاضر هلدینگ‌ها را در خود جای داده است.

از جمله هلدینگ‌های مهم فدرال می‌توان به منابع دریاییِ نفت و گاز و اراضی فدرال و بخش عمده‌ای از زغال‌سنگِ غرب می‌سی‌سی‌پی اشاره کرد. لیزینگِ زغال‌سنگ نسبت به نفت و گاز مشکلات بیشتری به وجود می‌آورد. مزایده نفت و گاز عملکرد بسیار خوبی دارد چون مخالفتِ کمتری در زمینه جمع‌آوری اجاره ایجاد می‌کند (به مقاله مید و همکارانش، ۱۹۸٤، ۱۹۸۵ مراجعه کنید). اما همچنان، بحث و جدل درباره این مطلب باقی می‌ماند که چقدر از منابع نفت و گاز دریایی باید بسته شوند تا به توسعه زیرساخت‌های زیست‌محیطی توجه کافی شود. با این حال، برنامه لیزینگ زغال‌سنگ بحث برانگیزتر است.

در مناطق سنتیِ تولیدکننده زغال‌سنگ در شرق می‌سی‌سی‌پی، مالکیت خصوصی غالب است. در مناطق غربی که در آنها تولید از اوایل دهه ۷۰ میلادی تاکنون به شدت رشد داشته است، مالکیت دولت فدرال بر اراضی یا حداقل زغال‌سنگِ زیرسطحی به صورت الگوی اصلی باقی مانده است. به ویژه مالکیتِ گسترده زغال‌سنگ در ایالت‌های غربی نظیر وایومینگ، مونتانا، کلورادو، یوتاه، داکوتای شمالی و نیومکزیکو جالب توجه است.

اعطای کاملِ اراضیِ دارای زغال‌سنگ قبل از سال ۱۹۲۰، لیزینگ گسترده و جدا کردنِ زغال‌سنگ از مالکیتِ رو سطحی باعث شد که مصالحه با مالکانِ اراضیِ رو سطحی به ارائه حقوق مالکیتِ چندپاره منجر شود. این یکی از مؤلفه‌های مهم مشوق‌های ساختِ بود که به خطوط راه‌آهن داده می‌شود و اراضیِ بزرگی که خطوط جدید در آنها ساخته می‌شد به این شرکت‌ها داده می‌شد. دیگر اراضیِ دولتی به مصارف غیرمعدنی اختصاص داده شدند، غالباً با انتقال اراضیِ روسطحی به مالکیتِ خصوصی.

تا اواخر دهه ٦۰ میلادی، DOI تحت قوانینِ به ندرت تغییریافته، به کار خود ادامه می‌داد. طبق قانون سال ۱۸۷۲ معدن‌کاوی، هر کسی‌که بتواند ثابت کند مواد معدنیِ ارزشمندی در آن اراضی وجود دارد، می‌تواند در مورد اراضی دارای زغال‌سنگ ادعای مالکیت کند (به لیشی، ۱۹۸۷ مراجعه کنید). در نتیجه برخی از مواد معدنی–به ویژه نفت، گاز و زغال‌سنگ– طبق قانون لیزینگ مواد معدنی، مصوب سال ۱۹۲۰ از این قاعده مستثنا می‌شوند. موارد استیجاره را می‌توان اکتساب نمود اما به شرط آنکه زمین نباشند.

قانون لیزینگ زغال‌سنگ و دستگاه اجراییِ آن اساساً از سال ۱۹۲۰ تا سال ۱۹۷۱ بی تغییر مانده‌اند. استیجاره‌ها طبق تبصره‌های قانون لیزینگ مواد معدنی سال ۱۹۲۰ آزادانه اعطا می‌شدند. این سیاست‌ها رضایت برخی از صنایع برای موارد استیجاره‌ای را جلب نمود. لیزینگ زغال‌سنگ تا اواخر دهه ٦۰ میلادی بدون تلاطم خاصی به کار خود ادامه داد و سپس دچار تغییر و تحولات گسترده‌ای شد. با انتظارِ رشد، کسانی که به تولید

زغال‌سنگ علاقه‌مند بودند با التهاب خاصی از حقوق استیجاره‌ای برای استخراجِ زغال‌سنگی که دولت آمریکا مالک آن بود استفاده کردند که عمدتاً در ایالت‌های غربی متمرکز بودند.

از اواخر دهه ٦٠ میلادی تاکنون، کنگره آمریکا تغییراتِ پیچیده‌ای در قوانینِ حاکم بر مدیریت اراضی فدرال آمریکا اعمال کرده است. قانون سیاست‌های زیست‌محیطیِ ملی سال ١٩٦٩[1] اثرات قابل توجهی در این زمینه داشت. این قانون زمانی تدوینِ اعلامیه‌ای درباره اثراتِ زیست‌محیطی[2] را ملزم می‌داشت که دولت فدرال در حال انجام اقدامات گسترده‌ای بود.

پرسش‌هایی جهت رفع ابهام از معنای این الزامات باعث شد که دادخواهیِ گسترده‌ای در این زمینه به وجود آید. حوزه‌های قضایی تعاریف گسترده‌ای از اجزای تشکیل‌دهنده تصمیماتِ عمده مطرح کردند همچنین تحقیق و تفحص گسترده‌ای را در مورد شناسایی اثرات و نحوه تقلیل آنها خواستار شدند. اندرسون (١٩٧٣) مروری کلی بر تاریخچه NEPA انجام داده است.

قانون SMCRA در مورد زغال‌سنگ فدرال اعمال می‌شود. قانون مدیریت و سیاست‌های اراضی فدرال سال ١٩٧٦[3] تبصره‌ها و موادی در مورد برنامه‌ریزی برای استفاده از تمامی اراضی دولتی داشت. دیگر بندهای این قانون صیانت از محیط زیست، احیای محیط زیست، سکونت و مصارف انسانی در محیط زیست را اهداف اصلی خود معرفی می‌کنند.

اصلاحیه قانون لیزینگ زغال‌سنگ ١٩٧٦ به طور بنیادی سیاست‌های لیزینگ زغال‌سنگ را در آمریکا تغییر داد. این قانون ملزم می‌کرد مزایده‌های رقابتی در تمام لیزینگ‌های زغال‌سنگ فدرال به وجود آید و این مزایده‌ها به «ارزش منصفانه بازاری» منجر شود، مفهومی که ضرورتاً شبیه مفهومِ اقتصادیِ قیمتِ رقابتی است. اثبات این مطلب که ارزش منصفانه در بازار به وجود آمده است زمانی غیرممکن می‌شود که بازارهای گسترده و عمومی وجود نداشته باشد و بعید است که لیزینگ فدرال هم بتواند چنین شرایطی برقرار کند. الزاماتِ بعدی باعث می‌شد که حداقل ١٢/٥ درصد حق امتیاز به تولید معادن روسطحی تعلق بگیرد –که در مورد لیزینگ زغال‌سنگ صدق می‌کرد.

این اصول ساده با ٢١ الزامِ دیگر تکمیل شدند. این موارد از جمله شامل افزایش ٥٠٪ سهم ایالت در درآمد ناخالص و DOI از تمامی انواع پرداخت‌های صاحبان استیجاره‌ای می‌شد –حق امتیاز و هر چه در آغاز برای این استیجاره‌ها پرداخت شده بود. همچنین محدودیت در مورد اندازه استیجاره و مدتِ آن، حفظ اموال

---

[1] NEPA

[2] EIS

[3] FLPMA

استیجاره برای احزاب دولتی و تعاونی‌ها، مصارف زمین، ارزیابی‌های اقتصادی و زیست‌محیطی برای هر مورد استیجاره و مطالعه اثرات از سوی DOI، وزارت دادگستری و دفتر ارزیابی فناوری -که اکنون بازوی مشاوره‌ای منسوخ کنگره آمریکا است- اعمال شد. رئیس‌جمهور فورد این قانون را وتو کرد اما وتو باطل شد.

این اصلاحیه‌ها خطاهای معمولِ موجود در نظریه و شیوه سیاست‌های دولتی را نشان می‌داد. از جمله خطاهای تحلیلیِ عمده، این باور بود که زمانی بهینه برای لیزینگ وجود دارد. اگر بازارها مؤثر باشند تأخیر در لیزینگ می‌تواند فقط باعث ناکارآمدی شود. هر بنگاه تجاری خصوصی که در امر استیجاره یا خرید پیش از بهره‌برداریِ کارآمد از ملک مشارکت دارد تا زمانی منتظر خواهد ماند که تاریخ بهره‌برداریِ مطلوب از لحاظ اجتماعی فرا برسد. استیجاره دیرهنگام نیز ممکن است. تا پیش از آنکه مطلوب‌ترین زمان برای بهره‌برداری فرا برسد هیچ منابعی در اختیار اپراتورهای ذیصلاح قرار داده نمی‌شود.

نگرانی درباره پرداخت‌های کافی به سبب فروشِ زودهنگام ناشی از عدم درک این مطلب است که ارزش بازار رقابتی برمبنای ماهیتِ ماده معدنی تعیین می‌شود نه مالکیتِ آن. فروش زمین یا استیجاره آن باعث می‌شود که کنترل بدون تغییر در منبع انتقال یابد. با وجودِ منطقِ کافی بین اپراتورهای بالقوه و انتظارِ این مطلب که اراضی به موقع تحویل داده می‌شوند، وجود اراضی بر بازارها مستقل از زمانی اثر می‌گذارد که انتقال‌ها انجام شده است و مالکیت منابع متمرکز است، همان طور که هلدینگ‌های معدنیِ فدرال، فروش بیشتر یا لیزینگ می‌توانند بازده را بالا ببرند. همچنین، از سود اضافی که دولت فدرال می‌تواند از طریق محدود کردنِ منابع به دست آورد ممانعت می‌شود. محدودیت براساس تعریف به معنای شکست در استیجاره تمامی اموالی است که می‌توان از آنها سود به دست آورد. دولت فدرال به طور غیرعمدی سودِ انحصارطلبانه را از طریق کاهش تولید تا زیر بهترین سطح اجتماعی به دست می‌آورد.

هیچ راه حلی برای تخطی از الزامات مربوط به بازده وجود ندارد. به طور فرضی، بی‌کفایتی وجود دارد و هر زمان که رخ دهد بر روند مزایده‌ها اثر می‌گذارد. تأخیر در مزایده می‌تواند این حالت را خنثی کند البته اگر بتوان در رقابت بهبودی ایجاد کرد.

الزاماتِ زمان‌بندی نیز به طور مشابه نامطلوب است. چهار خروجی طبق یکی از الزاماتِ احتیاطیِ لازم در مورد زمان‌بندیِ استیجاره ممکن خواهد بود. دو مورد بی‌ضرر است اما دو مورد دیگر زیان‌بار خواهد بود. تاریخ بهینه آغاز می‌تواند پیش از انقضای ضرب‌العجل احتیاطی باشد. پس موارد زاید این الزام، بی‌ضرر بودنِ آن را نشان می‌دهد. به طور مشابه اگر الزام برآورده نشود، استیجاره منتفی است و اگر DOI مورد استیجاره را به سرعت دوباره برای توسعه در زمان بهینه منتشر کند هیچ زیانی وارد نخواهد شد. آسیب و زیان زمانی به وجود می‌آید که توسعه زودهنگام سودآورتر از واگذاری باشد یا بازانتشارِ از سوی DOI در مورد یکی از موارد

استیجاره واگذارشده با تأخیر مواجه شود و از زمان بهینه برای آغاز معدن‌کاوی بگذرد. باور این مطلب که لیزینگ را می‌توان به گونه‌ای کنترل کرد که مانع بروز این ایرادات شود غیرواقع‌بینانه است.

الزاماتِ احتیاطیِ لازم نیز زمانی که مصارفِ مهم‌تر در بخش خصوصی وجود داشته باشد، اثرات نامطلوبی بر رقابت در مزایده‌ها و ممانعت از معدن‌کاوی دارند. اگر طول استیجاره نامحدود باشد، صاحب استیجاره می‌تواند تا هر زمان که بخواهد از معدن‌کاوی خودداری کند. کسانی که معتقدند دیگر مصارف، سودآورتر از معدن‌کاوی هستند می‌توانند از طریق خرید استیجاره و نه معدن‌کاویِ آن، مانع انجام عملیات معدن‌کاوی شوند. این اقدام باعث حذف گزینه برنامه‌ریزی برای مصارف اراضی به جهت مداخله در انتخاب بهترین مصرف خصوصی می‌شود. معنای محدودِ اصطلاحِ استیجاره باعث کاهش اشتیاق به پرداخت به افرادی می‌شود که خواهان دستیابی به زمین برای اهداف دیگر هستند. تنها ارزشِ کنونیِ درآمدِ حاصل از دیگر مصارف طبق اصطلاحِ استیجاره قابل پرداخت خواهد بود. محدودیت‌های طول مدت استیجاره مانع افزایش مزایده می‌شود تا درآمدهای اضافی حاصل از تداوم دیگر فعالیت‌ها حتی پس از انقضای مدت استیجاره پابرجا باشند. به طور مشابه ریسک از دست رفتنِ الزاماتِ احتیاطیِ لازم باعث کاهش اشتیاقِ سفته‌بازان برای مشارکت در این امر می‌شود.

حق امتیاز یا مالیات بر تولید به طور ناکارآمدی از میزانِ ماده معدنی که قابلیت تولید سود داشته باشد می‌کاهد. مالیات باعث دلسردی در امر تولید می‌شود چون تمام منابع مالی که خریداران پرداخته‌اند برای جبران اقداماتِ تولیدکنندگان در دسترس نیست. مالیات مطلق بر فروش به هزینه منابعِ تولید ارتباطی ندارد. بنابراین، هزینه‌های بنگاه تجاری به سطوحی بیش از هزینه‌های منبع منتقل می‌شود. هزینه این منابع معادل اقداماتی است که برای تضمینِ افزایش خروجی انجام شده است، به این ترتیب تنها مواردی هستند که بایستی بر خروجی اثر بگذارند. تمایل سراسری به استفاده از حق امتیازهای انحرافی یا مالیات بر تولید باعث حذف توجیه نظریِ کلاسیک در مورد مالیات و مصارف زمین می‌شود که می‌تواند هزینه‌هایی به شیوه غیرانحرافی بر آنها وضع کرد. با از بین رفتنِ این مزیت، مطلوبیتِ مالیات بر مواد معدنی نسبت به دیگر روش‌های درآمدزایی یا انتقال اجاره اقتصادی در حیطه مواد معدنی زیر سؤال می‌رود.

جایگاه غلطِ کنگره در مورد رقابتِ شدید نیز خود مسئله دیگری است. انواع محدودیت‌ها بر داشتنِ استیجاره، بر مبنای اندازه هلدینگ، نیز به گونه‌ای طراحی می‌شوند که به هیچ‌کدام از شاخصه‌های معنادار اقتصادیِ رقابت شدید مربوط نمی‌شوند. در مورد فقدان شواهد مستدل درباره مشکلاتِ انحصارطلبی در صنعت زغال‌سنگ نگرانی‌هایی وجود دارد که از جمله می‌توان به ناتوانیِ وزارت دادگستری به یافتن مسائلی اشاره کرد که باعث پایان یافتنِ ارزیابی‌های سالانه‌اش شده است. در واقع همه محدودیت‌ها به واسطه محدود کردنِ نقش

شرکت‌های بزرگ، باعث کاهش توانِ جذبِ سرمایه‌گذارانِ بیشتر برای لیزینگ می‌شود. دشواریِ ارائه اثباتی قاطعانه باعث محتاط شدنِ افراد در لیزینگ می‌شود.

احتیاطِ دولت آمریکا در مورد میزانِ استیجاره‌ای که ممکن است عرضه را بیش از میزان مورد نیاز برای بهره‌برداری از قدرتِ انحصارطلبی، محدود سازد یکی از این موارد است. محدودیت‌سازی تا زیر سطوح انحصارطلبی لزوماً استیجاره را تا زیر سطح رقابتیِ کارآمد بازار در مورد لیزینگ نگه می‌دارد. اصلاح اصولی این بود که مقادیر قابل توجهی از زغال‌سنگ پیش از آنکه دچار ترس ناشی از سوءاستفاده از منابع شوند لیزینگ می‌شدند.

اثرات این قوانین با فشارهای پیشین برهمکنش کرد تا به محو شدنِ اساسیِ لیزینگ زغال‌سنگ فدرال منجر شود. در سال ۱۹۷۱، DOI در مورد شتابِ لیزینگ بدون افزایشِ محسوس در خروجی نگران شد. زمانی که DOI فهمید که توسعه در غرب کشور در حال وقوع است، این نهاد با اولین الزامات زیست‌محیطی مواجه شد و سپس قوانین جدیدی برای اثرگذاری در رویه‌های لیزینگ وضع کرد. نتیجه این شد که لیزینگ زغال‌سنگ بین سال‌های ۱۹۷۱ تا ۱۹۸۱ متوقف شد و فقط به طور مختصر در سال ۱۹۸۱ از سرگرفته شد و دوباره در ۱۹۸۳ مجدداً برای مدتی پیش از ظهور آهسته آن متوقف شد. لیزینگ در سال ۱۹۷۱ عمدتاً به این علت متوقف شد که نگرانی‌هایی در مورد کفایتِ رویه‌های حفاظت از محیط زیست در برنامه‌های لیزینگ زغال‌سنگ وجود داشت. طرح‌دعوی‌هایی در EIS ۱۹۷۵ برای برنامه لیزینگ زغال‌سنگ آماده شده بود. در آن زمان، تصمیمِ حیاتیِ دادگاهِ بخش در مورد تبعیتِ NEPA از EIS در سال ۱۹۷۷ ارائه شد. اداره رئیس‌جمهور کارتر تصمیم گرفت تا از تصمیم تبعیت نکند و ترجیح می‌داد تا برنامه را در قالب EIS جدید بازشکل دهد. این کار زمان زیادی گرفت که باعث شد لیزینگ تا زمان ریاست جمهوری ریگان دوباره از سر گرفته نشود.

به نظر می‌رسید که رویکردِ رایج کارساز نیست. تضمینِ پرداخت‌های مطلوب به شیوه‌ای کم‌زحمت‌تر، به تحرک واداشتنِ رقابتِ شدید برای انجام لیزینگ و توانایی اتکا بر مزایده امتیاز ترجیح داشتند. تحلیل و تجربه کاملاً نشان می‌دهد که ترجیح در میان اقتصاددانانِ منابع طبیعی برای لیزینگ یا فروش از طریق مزایده رقابتی با تمامی پرداخت‌های انجام شده به صورت امتیاز استیجاره مطرح می‌شدند.

٦ جمع‌بندی: دورنمای زغال‌سنگ

بازه‌ای گسترده از امکانات برای زغال‌سنگ در مقالات بیان شده است. حامیانِ پروپا قرص نفت گرایش به گزینه‌های جایگزین را مطرح می‌کنند که ممکن است شامل زغال‌سنگ نیز باشد و در عین حال کسانی که در مورد گرمایش جهانی نگران هستند به دنبال کاهش استفاده از زغال‌سنگ هستند. بدون هرگونه فشار، استفاده از

زغال‌سنگ به طور فزاینده‌ای در صنایع تولید برقِ چند کشور ادامه دارد که اکثر آنها از تولیدکنندگان زغال‌سنگ‌اند.

یادداشت‌ها:

۱. این مطلب تا حد زیادی بر مبنای تحقیقات گذشته بیان می‌شود. علاوه بر موارد زیر به این مقالات مراجعه کنید:

Gordon (1970, 1973a, 1973b, 1974a, 1974b, 1975, 1976, 1978a, 1978b, 1978c, 1978d, 1978e 1981b, 1987b, and 1987c).

۲. به طور خاص، من تا به حال هیچ‌کدام از این نوشته‌ها را نخوانده‌ام و در اینجا بسیاری از گزارش‌های او را بیان می‌کنم. از زمان ارائه آخرین بخش پیش‌نویسِ این فصل، سایتِ Hubbertpeak.com را پیدا کردم که می‌توانید نوشته‌های او را از این سایت دانلود کنید. مروری اجمالی نشان می‌دهد که منتقدان به درستی رویکردِ بی‌ذهنیتِ هوبرت را انتقال می‌دهند (برای مطالعه اولین مقاله‌هایش به هوبرت ۱۹۴۹ مراجعه کنید).

۳. کامینگز (۱۹۶۹) نشان می‌دهد که مورد عمومیِ هاتلینگ را می‌توان به گونه‌ای توسعه داد که رفتار گله‌ای به دومین منفعت از صرفه‌جویی انباشتی در هزینه‌ها برسد که ناشی از تأخیرِ اتمام منابع باکیفیت‌تر است. بسیاری به طور مستقل این مورد را توسعه دادند. لوهاری و لیویانتان (۱۹۷۷) نشان می‌دهند که ریاضیاتِ پیشرفته‌ترِ به کاررفته از سوی کامینگز نیازی به اثبات نداشتند. دو اقدام گسترده نشان دادند که رویکرد زمان گسسته تا حد زیادی مشتق‌ها را ساده‌سازی می‌کند:

Baumol and Oates (1975) and Modiano and Shapiro (1980).

۴. چندین تحقیق در ادبیات این حوزه موجود است. تحقیق بائومول و اوتیس درباره اقتصاد زیست‌محیطی شامل تحقیقی مناسب از نظریه اتمام منابع طبیعی است اما فقط در اولین ویراستِ آن مشاهده می‌شود. گوردون (a۱۹۸۱) یک تحقیق ساده‌تر دیگر است. داسگوپتا و هییل (۱۹۷۹) کامل‌ترین مرورِ در دسترس را ارائه کردند اما به طور غیرلازمی پیچیده است.

۵. هاتلینگ این مطلب را روشن نمی‌سازد. هرفیندال می‌گوید که گوردون (۱۹۶۷) این مورد را اثبات می‌کند. سادگیِ این حالت باعث فراوانی استفاده از آن می‌شود اما در عمل باید از مدل عمومی‌تری استفاده شود.

۶. این حالت توسط هاتلینگ بیان می‌شود که کامینگز و دیگران پیش‌تر به توسعه آن در آینده اشاره کرده بودند.

۷. گوردون (a۱۹۸۱) درباره این موضوع بحث می‌کند. رشد سریع مکرر در منابع تجدیدناپذیر موضوع پارادوکس بحث شده در مقالات عمومی مرتبط با سرمایه‌گذاری است که معامله دارایی بیش از استفاده از آن سودآور است. با این حال در مورد منابع تجدیدناپذیر، در جایی که تقاضا در ابتدا به سرعت رشد

می‌کند اما بعد به آهستگی کم می‌شود، رفتار بهینه این است که پیش از کاهش رشدِ تقاضا و تمام شدنِ آن طی دوره رشدِ آهسته، کار را شروع کنید معیارِ سریع بودن، رشدِ بیش از r درصد از سودآوری نهاییِ خروجیِ بهینه در هر زمانی است.

۸. به منظور ساده شدن موضوع، فرض کنید هیچ اثری از صرفه‌جویی در منابع باکیفیت وجود ندارد.

۹. سه منبع مورد استفاده هستند. یکی از مؤسسات تحقیقاتی سوئیس خلاصه‌ای فشرده از داده‌های تولید انرژی از ۱۸۰۰ تا ۱۹۸۵ منتشر کرده است (اتماد و لوسیانی، ۱۹۹۱). یکی از انجمن‌های معامله در آلمان (UnternehmensverbandRuhrbergbau، ۱۹۵۵ و ۱۹۶۱) چند خلاصه فشرده از داده‌های زغال‌سنگ و خدمات گزارش شده زغال‌سنگ آلمان منتشر کرده است – Statistik der Kohlenwirtschaft e. V. annual b– و به طور سالانه در مورد تولید از کشورهای منتخب گزارش ارائه می‌کند.

۱۰. از منابع آلمانی (Statistik der Kohlenwirtschaft e. V. annual a) برای سال‌های ابتدایی استفاده می‌شود. در مورد سال‌های اخیر، این داده‌های آلمانی را با داده‌های حاصل از نهاد بین‌المللی انرژی –سالانه– ترکیب کردیم. به تجزیه زغال‌سنگ کم‌شعله –زغال‌سنگ– ککسازی می‌رسیم، اما مجموع‌هایی بزرگتر از منبع آلمانی تولید می‌کنیم. در مورد آخرین سال –۲۰۰۵– هر دو حجم، ۸٤ میلیون متجاوز از IEA را در گزارشِ Statistikder Kohlenwirschaft (SdK) اعلام کردند و ۳۳ میلیون را برای شوروی سابق و آیتم ایجاد توازن بیان کردند. داده‌های IEA مجموع ۳٦,٦ میلیون تن را از تمام صادرکنندگان غیر OECD نشان می‌دهد؛ نزدیک‌ترین میزان از SdK دیگر ارقام کشور است که منهای ۷,۳ میلیون تن خواهد بود.

۱۱. نگارنده در توصیه به دولت آمریکا، اداره منابع آتی و تولیدکنندگان انرژی درباره مشکلاتِ لیزینگِ زغال‌سنگ بسیار فعال بوده است و از سال ۱۹۸۳ تا ۱۹۸٤ به عنوان عضوی از کمیسیون آمریکا در بخش سیاست‌های ارزش منصفانه بازار برای لیزینگ زغال‌سنگ فدرال (۱۹۸٤) خدمت می‌کرده است. این بخش تا حد زیادی به مطالب گوردون (1981c, 1985.1987a, and1988) متکی بوده است.

۱۲. برای مطالعه بحثی متفکرانه و متوازن به کلاسون (۱۹۸۳) مراجعه کنید. یکی از مکمل‌های مفید به نسخه همراهِ مقالات مربوط می‌شود که توسط بروباکر (۱۹۸٤) ویراست شده است. لیشی (۱۹۸۷) تاریخچه اقدامات را برای غلبه بر کمبودهای قانون آمریکا در بخش بهره‌برداری از مواد معدنی در اراضی فدرال مرور می‌کند. او احساس می‌کند که معدن‌کاوی به اندازه کافی مشوق دارد اما در دیگر جهات بیش از حد استدلال می‌کند. گروه‌های لیبرال مقالات گسترده‌ای درباره عیوب این سیاست

دارند. مؤسسه پاسیفیک در این امر پیشگام است. اخیراً مرکز تحقیقاتِ اقتصاد سیاسی را در این زمینه پیشگام دانسته‌اند.

منابع:

Adelman, M.A. (1990), 'Mineral depletion, with special reference to petroleum', *Review of Economics and Statistics*, 72(1), February, 1–10.

Anderson, Frederick R. (1973), *NEPA in the Courts: A Legal Analysis of the National Environmental Policy Act*, Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press for Resources for the Future.

Baumol, William J. and Wallace E. Oates (1975), *The Theory of Environmental Policy: Externalities, Public Outlays, and the Quality of Life*, Englewood Cliff s, NJ: Prentice-Hall.

Brubaker, Sterling (ed.) (1984), *Rethinking the Federal Lands*, Washington, DC: Resources for the Future.

Clawson, Marion (1983), *The Federal Lands Revisited*, Baltimore, MD: Resources for the Future.

Cohen, Linda and Roger Noll (1991), *The Technology Pork Barrel*, Washington, DC: Brookings Institution.

Cummings, Ronald G. (1969), 'Some extensions of the economic theory of exhaustible resources', *Western Economic Journal*, 7(3), September, 201–10.

Dasgupta, Partha and G.M. Heal (1979), *Economic Theory and Exhaustible Resources*, Cambridge: Cambridge University Press.

Etemad, Bouda and Jean Luciani (under the direction of Paul Bairoch and Jean-Claude Toutain) (1991), *World Energy Production 1800–1985* (*Production Mondiale d'Energie*), Geneva: Librairie Droz.

Gordon, Richard L. (1966), 'Conservation and the theory of exhaustible resources', *Canadian Journal of Economics and Political Science*, 32(3), August, 319–26.

Gordon, Richard L. (1967), 'A reinterpretation of the pure theory of exhaustion', *Journal of Political Economy*, 75(3), June, 274–86.

Gordon, Richard L. (1970), *The Evolution of Energy Policy in Western Europe: The Reluctant Retreat from Coal*, New York: Praeger Special Studies in International Economics and Development.

Gordon, Richard L. (1973a), 'Alternatives to oil and natural gas', *The National Energy Problem; Proceedings of the Academy of Political Science*, 31(2), December, 74–86.

Gordon, Richard L. (1973b), 'Coal's role in a national materials policy', in Samuel Ellison, Jr (ed.), *Towards a National Policy on Energy Resources and Mineral Plant Foods*, Austin, TX: University of Texas Bureau of Economic Geology, 84–98.

Gordon, Richard L. (1974a), 'Coal: our limited vast resource', in E.W. Erickson and L. Waverman (eds), *The Energy Question*, vol. 2, Toronto: University of Toronto Press, 49–75.

Gordon, Richard L. (1974b), 'Coal's role in the age of environmental concern', in Michael S. Macrakas (ed.), *Energy: Demand, Conservation, and Institutional Problems*, Proceedings of MIT Conference (February 1973), Cambridge, MA: MIT Press, 225–35.
Gordon, Richard L. (1975), *U.S. Coal and the Electric Power Industry*, Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press for Resources for the Future.
Gordon, Richard L. (1976), 'Coal – the swing fuel', in Robert J. Kalter and William A. Vogely (eds), *Energy Supply and Government Policy*, Ithaca, NY: Cornell University Press, 193–215.
Gordon, Richard L. (1978a), *Coal in the U.S. Energy Market: History and Prospects*, Lexington, MA and Toronto: Lexington Books, D.C. Heath.
Gordon, Richard L. (1978b), 'Coal schizophrenia, or be sure who makes the magic potion', in Bernhard J. Abrahamsson (ed.), *Conservation and the Changing Direction of Economic Growth*, Boulder, CO: Westview Press, 99–116.
Gordon, Richard L. (1978c), 'Coal supply prospects in the United States – an appraisal of current knowledge', in International Energy Agency, *Workshops on Energy Supply and Demand*, Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development, 29–74.
Gordon, Richard L. (1978d), 'The hobbling of coal: policy and regulatory uncertainties', *Science*, 200 (14 April), 153–8. Reprinted in Philip H. Abelson and Allen L. Hammond (eds), *Energy II: Use Conservation and Supply*, a special *Science* compendium, Washington, DC: American Association for the Advancement of Science, 1978.
Gordon, Richard L. (1978e), 'Hobbling coal – or how to serve two masters poorly', *Regulation*, 2(4), July/ August, 36–45.
Gordon, Richard L. (1981a), *An Economic Analysis of World Energy Problems*, Cambridge, MA: MIT Press.
Gordon, Richard L. (1981b), 'Prospects for U.S. coal', *Energy Policy*, 9(4), December, 279–88.
Gordon, Richard L. (1981c), *Federal Coal Leasing Policy, Competition in the Energy Industries*, Washington, DC: American Enterprise Institute for Public Policy Research.
Gordon, Richard L. (1985), 'Levies on U.S. coal production', *The Energy Journal*, 6, Special Tax Issue, 241–54.
Gordon, Richard L. (1987a), 'Coal in U.S. land policy', in John Byrne and Daniel Rich (eds), *Planning for Changing Energy Conditions*, New Brunswick, NJ: Transaction Books, 139–72.
Gordon, Richard L. (1987b), 'Coal policy in perspective', in Richard L. Gordon, Henry D. Jacoby and Martin B. Zimmerman (eds), *Energy: Markets and Regulation*, Cambridge, MA: MIT Press, 59–82.

Gordon, Richard L. (1987c), *World Coal: Economics, Policies and Prospects*, Cambridge: Cambridge University Press.
Gordon, Richard L. (1988), 'Federal coal leasing: an analysis of the economic issues', Discussion Paper EM88-01, Washington, DC: Energy and Materials Division, Resources for the Future, July.
Gray, Lewis C. (1914), 'Rent under the assumption of exhaustibility', *Quarterly Journal of Economics*, 28(2), May, 466–89. Reprinted in Mason Gaffney (ed.) (1967), *Extractive Resources and Taxation*, Madison, WI: University of Wisconsin Press, 423–46.
Herfindahl, Orris C. (1967), 'Depletion and economic theory', in Mason Gaffney (ed.), *Extractive Resources and Taxation*, Madison, WI: University of Wisconsin Press, 63–90.
Holdren, John P. (2002), 'Energy: asking the wrong question', *Scientific American* (January), 65–7.
Hotelling, Harold (1931), 'The economics of exhaustible resources', *Journal of Political Economy*, 39(2), April, 137–75.
Hubbert, M. King (1949), 'Energy from fossil fuels', *Science*, 109(2823), 103–9.
International Energy Agency (IEA) (annual), *Coal Information*, Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.
Koopmans, Tjalling C. (1974), 'Ways of looking at future economic growth, resource and energy use', in Michael S. Macrakis (ed.), *Energy: Demand, Conservation, and Institutional Problems*, Cambridge, MA: MIT Press, 3–15.
Leshy, John D. (1987), *The Mining Law: A Study in Perpetual Motion*, Washington, DC: Resources for the Future.
Levhari, David and Nissan Liviatan (1977), 'Notes on Hotelling's economics of exhaustible resources', *Canadian Journal of Economics*, 10(2), May, 177–92.
Mead, Walter J., Asbjorn Moseidjord, Dennis D. Muraoka and Philip E. Sorensen (1985), *Off shore Lands: Oil and Gas Leasing and Conservation on the Outer Continental Shelf*, San Francisco, CA: Pacific Institute for Public Policy Research.
Mead, Walter J., Asbjorn Moseidjord and Philip E. Sorensen (1984), 'Competitive bidding under asymmetrical information: behavior and performance in Gulf of Mexico drainage lease sales, 1959–69', *Review of Economics and Statistics*, 61(3), August, 505–8.
Modiano, Eduardo M. and Jeremy F. Shapiro (1980), 'A dynamic optimization model of depletable resources', *Bell Journal of Economics*, 11(1), Spring, 212–36.
Scott, Anthony (1967), 'The theory of the mine under conditions of certainty', in Mason Gaffney (ed.), *Extractive Resources and Taxation*, Madison, WI: University of Wisconsin Press, 25–62.

Statistik der Kohlenwirtschaft e. V. (annual a), *Der Kohlenbergbau in der Energiewirtschaft der Bundesrepublik Deutschland*, Essen: Statistik der Kohlenwirtschaft.
Statistik der Kohlenwirtschaft e. V. (annual b), *Zahlen zur Kohlenwirtschaft*, Essen: Statistik der Kohlenwirtschaft.
US Commission on Fair Market Value Policy for Federal Coal Leasing (1984), *Report of the Commission*, Washington, DC: US Government Printing Office.
Unternehmensverband Ruhrbergbau (1955), *Die Kohlenwirtschaft der Welt in Zahlen*, Essen: Verlag Gluckauf.
Unternehmensverband Ruhrbergbau (1961), *Die Kohlenwirtschaft der Welt in Zahlen*, Essen: Verlag Gluckauf.

۲۰ بازار گاز طبیعی و برق

دابلیو. دی. والز

۱ مقدمه

صنایع گاز طبیعی و برق –پس از نمونه‌های انحصارطلبی در منابع طبیعی– به طور فزاینده‌ای در حال گسترش نیروهای بازاری هستند و صرفاً به توسعه خدمات عمومی اکتفا نمی‌کنند. ظهور بازارهای صنعت گاز طبیعی در آمریکای شمالی در اواسط دهه ۸۰ میلادی عمدتاً ناشی از شکست نظارت بود و از جمله پیامدهای این شکست جدایی کالای انرژی از حمل و نقل خود بود. این تغییرِ ساده در سازمان –که طی آن کالای انرژی از شیوه‌های انتقالِ خود مجزا شد– پایه و اساسی برای بازساختاردهی به بازار گاز طبیعی و برق به وجود آورد. صنایع گاز طبیعی و برق در حال تحول هستند تا بتوانند به بازار کالا شباهت بیشتری پیدا کنند تا آنکه جزء تأسیسات عمومی به حساب بیایند که در حال حرکت به سوی سازوکارهای تخصیصِ بازارمحور در مورد تولید، انتقال و توزیع باشند.

۲ ظهور بازارها

بازارهای رقابتی برای گاز طبیعی در آمریکا در دهه ۸۰ میلادی شکل گرفتند. از آن زمان تاکنون، ساختار مقرراتی و نظارتیِ صنایع گاز طبیعی و برق در بسیاری از کشورهای جهان به ساختاری بر مبنای بازارها مبدل شده است که از جمله می‌توان به آرژانتین، استرالیا، کانادا، نیوزیلند، آمریکا و بریتانیا اشاره کرد. در اتحادیه اروپا[1] رویه‌ای برای بازگشایی بازارها در سال ۱۹۹۸ در پیش گرفته شد. با وجود این، تقریباً ۱۰ سال بعد، چندین کشور –از جمله فرانسه، آلمان، اتریش، بلغارستان، قبرس، یونان، لوکزامبورگ، لتونی و اسلوواکی– در مقابلِ جدایی کاملِ تولید و انتقالِ انرژی مقاومت کردند [۱]. برخلافِ اصلاحاتِ بازار انرژی در بین دولت‌های عضو اتحادیه اروپا، ظهور بازارها در صنعت گاز طبیعی آمریکا جزئی آگاهانه از طرحِ بازسازیِ صنعتِ باسابقه‌ای نبود که مدت‌ها نمونه بارزِ انحصارطلبی در منابع طبیعی محسوب می‌شد. در عوض، روشی مصلحت‌آمیز در اصلاحِ اشتباهاتِ مقرراتی تاریخی بود [۲]. بازارها در جایی که اجازه داشتند به سرعت توسعه یافتند و طی چند سال، ده‌ها بازار معاملاتِ نقد برای گاز طبیعی شروع به کار کردند [۳]. مؤسسات بازاری جدید توسط فعالان صنعت به منظور داد و ستدِ گاز توسعه یافتند چون هیچ مؤسسه‌ای که تحت سیستم قدیم

[1] EU

باشد وجود نداشت [٤]. در آمریکای شمالی، تجارت گاز در بازارهای دلالی تمرکززدایی شده بود که جغرافیای بزرگی را به خود اختصاص می‌دادند. اکنون، قیمت‌ها در بازار کشف می‌شود نه دادرسی‌های قانونی.

در اکثر قرن بیستم، صنعت گاز طبیعی به گونه‌ای با محیط زیست رفتار می‌کرد که در قوانین دولتی ذکر شده بود. بازارها سرکوب می‌شدند و بخشی از مؤسسات پایه صنعتی یا شیوه‌های انجام کسب‌وکار نبودند. همه چیز به پرسش در مورد تصویب و تأیید قانونی ختم می‌شد. صنعت، کارکردِ ضعیفی داشت به ویژه در آمریکا (مک‌آوی و پین‌دیک، ۱۹۷۵؛ تاسینگ و بارلو، ۱۹۸٤؛ دی‌وانی و والز، ۱۹۹۵). تا اواخر دهه ۷۰ میلادی، گاز طبیعی بدترین صنعتِ فعال تحت قوانین آمریکا بود. کمبود و محدودیت بسیار رواج داشت و فاجعه‌بار بود. کار صنایع متوقف یا مصرف گازشان سهمیه‌بندی می‌شد. کنترل از دست نظارت و قوانین رفته بود و همین مطلب آسیب‌هایی را به دنبال داشت و هیچ جلسه دادرسی یا مصوبه‌ای از مسائل مقررات فنی نیز نمی‌توانست یکپارچگیِ نظام عرضه گاز را احیا کند.

قراردادهای بلندمدتی که صنعت گاز طبیعی را سازمان داده بود ناپایدار بودند. شوک‌های قیمتی و نظارت بر قیمت‌ها در کنار یکدیگر باعث می‌شدند که روابطِ قراردادی سست شوند. قانونگذاران و ناظران قصد داشتند کمبودهایی را که خود عامل ایجادشان بودند تقلیل دهند اما این اقدام به مشکلات دیگری منجر شد. فروپاشیِ آهسته صنعت و کمبود بسیار جدیِ گاز، کنگره را مجبور کرد تا اتکای صنعت بر بازار را افزایش دهد و چشم‌انداز و آسیب قوانین را کاهش دهد اما تغییر در قوانینِ وصله‌وپینه‌ای، که طی ۵۰ تا ۷۰ سال کنترل دولت بر ساختار و عملیاتِ صنعت وضع شده بودند، به تدریج تمام رشته‌ها را از یکدیگر گسسته کرد [۵]. پس از آنکه قراردادهای کنونی و مقررات در سال ۱۹۸۳ ناپایدار شدند برخی از خطوط لوله عمده براساسِ تعهداتِ خرید قراردادی‌شان در شرف ورشکستگی قرار گرفتند. آنها مجبور بودند گاز بفروشند و برای انجام این کار نیز بایستی آن را به مشتری تحویل می‌دادند. همین موضوع آغاز قرارداد یا چیزی شد که به «حمل و نقل با دسترسی باز» معروف شد. قیودِ انباشتیِ حملِ محموله و قوانینِ پرمسئولیت ناپایدار شدند و در نتیجه، اعمال تغییرات در تمامی نقاط لازم شد. این کار را نمی‌توان با افزایش قوانین موجود انجام داد. صنعت در مواجهه با بحرانِ نهایی، خود را بازسازی کرد. ابزارهای این بازسازی چه بودند؟ بازارهای رقابتی، واسطه‌ها و کارگزاران، قراردادهای آتی و بازارها، برنامه‌های انبار کردن و ذخیره‌سازی، تنزیل تعرفه‌ها، interconnectها، سفته‌بازی و معامله به سود، قیمت‌های کمتر، قیمت‌های منصفانه‌تر، قیمت‌هایی که اطلاعات ارزشمندی داشتند –نه ترکیبِ نرخ قدیمی و منسوخ و داستان شنیدن– و قیمت‌هایی که هدایتگر تصمیمات بودند، مراکز فعالیت و دادوستد و ظهورِ شبکه‌های خطوط لوله بین‌ایالتیِ منسجم.

برخلاف صنعت گاز طبیعی، ظهور بازارهای گسترده در صنعت برق یکی از فرآیندهای متمرکزتر به حساب می‌آمد. البته بازارهای تمرکززدایی‌شده همریخت –ایزومورف– با بازارهایی که در صنعت گاز طبیعی شکل گرفته بودند سال‌ها بود که در آمریکا وجود داشتند. در این بازارها، تأسیسات تولید برق در شبکه‌های انتقال خود، به صورت عمده‌فروشی انرژی را به فروش می‌رساندند، گاهی اوقات برقِ تولیدی را در شبکه‌های خود از یک تأسیسات به تأسیسات دیگر «به صورت چرخشی» تغییر می‌دادند (جاسکوف و اشمالنس، ۱۹۸۳). در آمریکا، قانون سیاست انرژی ۱۹۹۲ به نهادهای غیرتأسیساتی اجازه دسترسی به شبکه انتقال را داد و همین مسئله از دادوستدِ کل‌فروشیِ افزایش‌یافته در بخش برق و انرژی حمایت می‌کند. در نتیجه، رقابت برای عمده‌فروشیِ برق در صنعتی که به صورت انحصارطلبی‌های یکپارچه عمودی شکل گرفته بود افزایش یافت (دی‌وانی و والز، ۱۹۹۹b). همانند مشتریانی که در پشت دروازه‌های شهرِ توزیع‌کننده گاز مستقر شده‌اند، مشتریانِ مستقر در داخل منطقه خدمات‌رسانیِ تأسیساتِ برق نمی‌توانستند برق بخرند، مگر اینکه قادر بودند به چرخه برق از طریق شبکه‌های محلی دسترسی داشته باشند. این نکته در مورد مراوده انرژی نیز صدق می‌کند که شامل تأسیساتِ مستقر در سمتِ مخالفِ ناحیه مداخله‌کننده تأسیسات است. آنها برای مراوده مجبور بودند برق را از طریق شبکه‌های تأسیساتیِ مداخله‌کننده به صورت توزیع چرخشی در بیاورند. از طریق تشکیل ائتلافات و توزیع چرخشی، صنعت آمریکا به تدریج به مرزهای مختلفی تبدیل شد که تحت قانون شرکت‌های هلدینگِ تأسیسات عمومی فعالیت می‌کردند و در ادامه نیز قوانینی از سوی دولت فدرال و نهادهای ایالتی مطرح شد که آن نواحی را واردِ قیومیتِ قضاییِ خود می‌کرد. همانند صنعت گاز طبیعی، دسترسی باعث ارتقای شبکه‌های برق یکپارچه شد.

بازارهای گاز طبیعی به شیوه‌ای خود به خود در آمریکا شکل گرفتند اما اولین بازار کاملاً بازسازی‌شده برق –که ساختار انحصاریِ یکپارچه عمودی را از میان برد– در انگلستان و ولز مستقر شد. با آنکه برداشتن محدودیت از گاز طبیعی در پاسخ به مجموعه‌ای از بحران‌های مقرراتی در این صنعت رخ داد، انگیزه برای برداشتنِ محدودیت از صنعت برق ناشی از حلقه‌های سیاسی بود که با قواعدِ بازاری ترکیب شده بودند و شبکه‌های انتقال برق را شکل داده بودند. قواعد بازار که سیستم انتقال را باز می‌کرد، در سطح ملی آمریکا قرار داشت اما هر ایالت اجازه وضع محدودیت و قوانین بر تأسیسات برقی در مرزهای جغرافیایی خود را داشت. در نتیجه، ایالت‌های منفرد وارد برنامه‌های برداشتنِ محدودیت در آمریکا شدند و این برنامه‌ها، به طور معمول شامل تفکیکِ عمودیِ تولید، انتقال و توزیع می‌شد. بازارهای بازسازی‌شده برق در آمریکا تا پیش از دهه ۹۰ میلادی کار خود را آغاز نکردند [٦]. بازسازیِ بازار برق همچنان در اروپا در حال انجام است، گرچه باز کردنِ سیستم‌های انتقال برق مسئله‌ای پر دردسر است (سرالس، ۲۰۰٦). بازارهای برق نیز در چندین کشور دیگر در

حال بازسازی هستند. برای مثال بازار برق در اندونزی (پینتز و کورن، ۲۰۰۵)، تایوان (سو و چن، ۱۹۹۷آ؛ وانگ، ۲۰۰۶)، تایلند (چیراراتانانون و نیروکاناپرن، ۲۰۰۶؛ مولوگتا و همکارانش، ۲۰۰۷؛ ناکاویرو و بهاتاچاریا، ۲۰۰۷)، ژاپن (آسانو، ۲۰۰۶)، سنگاپور (چانگ و تای، ۲۰۰۶)، روسیه (پیت‌من، ۲۰۰۷)، هند (بالاچاندرا، ۲۰۰۶؛ سینگ، ۲۰۰۶)، چین (ژو و چن، ۲۰۰۶)، رژیم اشغالگر قدس (تیشلر و همکارانش، ۲۰۰۶) و سایر موارد.

۳ بازارها در برابر نظارت

صنایع برق و گاز طبیعی از جمله انحصارهای منابع طبیعی به حساب می‌آمدند و به گونه‌ای بر آنها نظارت می‌شد که در نظریه ذکر می‌شد (شرر، ۱۹۸۰؛ کاهن، ۱۹۸۸). این نتیجه که چنین صنایعی انحصاری هستند بر مبنای اقتصاد مقیاس‌ها در اندازه و خروجیِ بنگاه‌های تجاری بود و اینکه تکثیرِ زیرساخت‌ها سودی ندارد و نیاز به برنامه‌ریزی در مورد تأسیس زیرساخت‌ها و هماهنگ کردنِ عملیاتش وجود دارد تا به نوعی صرفه‌جویی که ذاتاً در شبکه وجود دارد برسیم. حامیانِ نظارت و مقررات اینگونه استدلال می‌کردند که تصمیمات و اقدامات در بهترین حالت توسط یک سازمان اتخاذ خواهد شد و انحصار تحت قوانین و نظارت از جمله مؤلفه‌های بنیادی در این استدلال به حساب می‌آمد. در همین بافت، ایالت در مرکز هماهنگی‌ها و برنامه‌ریزی‌ها قرار دارد و انحصارِ تحت قوانین و نظارت نماینده آن به حساب می‌آید. تصور بر این بود که سازمان‌های مرکب که ترکیبی از دولت و انحصار بودند، گستره کنترلیِ بهینه‌ای برای حل مشکل هماهنگی و اندازه درستِ واحد تولید به وجود آورند تا بدین صورت، اقتصاد مقیاس‌ها محقق شود. نیمه دیگرِ استدلال در مورد نظارت و مقررات این است که رقابت –با وجودِ عاملانِ غیرمتمرکز و فردگرا– نمی‌تواند به طور مؤثر تمامی تصمیماتِ لازم را هماهنگ کند.

به نظر می‌رسد بازارهای رقابتیِ غیرمتمرکز هیچ نقطه متمرکزی برای جمع‌آوری اطلاعاتِ مورد نیاز جهت هماهنگ‌سازی ندارند و هیچ سازوکاری نیز برای یکپارچه‌سازیِ آن به منظور برنامه‌ریزی و به کاراندازیِ سیستم ندارند. گفته می‌شود که رقابت بیش از اندازه‌ای پدیدار خواهد شد و در نبودِ عاملی که به صورت برنامه‌ریزِ مرکزی عمل کند، تکثیرِ تأسیسات بیهوده است. در نتیجه هماهنگیِ ناکافی به وجود می‌آید، ورودی و خروجیِ اضافی و قیمت‌های فرّار خواهیم داشت. عقیده بر این بود که «انتقال» یکی از انحصارهای طبیعی باشد چون اقتصاد مقیاس‌ها در ساخت و عملیات تا حدی وجود دارد که برای خدمات‌رسانی به بزرگترین بازارها کافی است. هزینه‌ها به صورت sub-additive هستند و یک بنگاه تجاری برای خدمات‌رسانی به بازار با کمترین هزینه کافی است البته اگر میانگین هزینه برای خروجی نزولی باشد و برای رفع تقاضا در قیمتی که از میانگین هزینه تجاوز کند نیز کافی باشد. دو یا چند بنگاه تجاری که دارای همان هزینه‌ها هستند باعث افزایش هزینه کل از طریق تکثیر تأسیسات می‌شوند. علاوه بر این آنها خروجی یکدیگر را کم می‌کنند که در مقابل، هزینه میانگین

را بالا می‌برند. افزایش بازده به منظور همگامی با نیازها از جمله توجیهاتِ نظارت و مقررات از دو جنبه است که در نظریه مربوطه بررسی می‌کنیم: به منظور جلوگیری یا کنترل انحصار قدرت و به منظور جلوگیری از تکثیرِ سرمایه و زیانِ اقتصاد مقیاس‌ها. به منظور دستیابی به این اهداف، گفته می‌شود که باید به گونه‌ای بر قیمت‌ها نظارت داشت که مانع قیمت‌گذاری انحصاری و خروجی ناکارآمد شود. علاوه بر این باید از ورودی اضافی جلوگیری کرد تا مانع تکثیر و بخش‌بندیِ خروجی شویم که اقتصاد مقیاس‌ها را از دست می‌دهد.

همچنین تفکر بر این است که مقررات باعث بهبود هماهنگی در صنعتی می‌شود که دارای عوامل بیرونی است. صنایع بر پایه شبکه، حوزه انتقال گاز و برق، در صورتی که هر درگاه انتقال دارای مالک و اپراتور مستقل باشد، نمی‌توانند اقتصاد هماهنگ‌سازی را محقق کنند. طبق این نظریه گفته می‌شود که رقابت نمی‌تواند به هماهنگیِ لازم برای به کار انداختنِ کارآمدِ شبکه برسد چون هر بنگاه تجاری فقط بخش کوچکی از آن را کنترل می‌کند و نمی‌تواند بهره‌های هماهنگ‌سازی را در سهمِ خود از شبکه –جایی که رخ می‌دهند– نهادینه کند. هماهنگیِ کامل می‌تواند باعث شود که تمام بخش‌ها توسط یک بنگاهِ مستقل راه‌اندازی شوند و تحت تملکِ آن باشند بنابراین، همه عوامل بیرونی در داخل بنگاه تجاری نهادینه می‌شوند. از آنجا که این مطلب به معنایِ آن است که بنگاه‌های تجاری انحصاری خواهند شد نظریه، مقرراتی را پیشنهاد می‌دهد تا از قیمت‌گذاریِ انحصاریِ ناکارآمد جلوگیری شود. استنباط این است که برنامه‌ریزیِ پیکربندیِ شبکه در بهترین حالت با یک نهاد قابلِ انجام است چه شرکت باشد چه قانونگذار و ناظر.

تعهد و فرصت‌طلبی نیز از جمله عناصر مهم در نظریه هنجاری نظارت و مقررات هستند. برای مثال یک خط لوله جزء دارایی‌های ثابت به حساب می‌آید. بنابراین، خوراک‌دهیِ گاز به سیستم جمع‌آوری از سمت چاه‌های تولید و سیستم توزیع که گاز را از خطوط لوله به مشترکان می‌فرستد نیز جزء دارایی‌های ثابت به حساب می‌آید. هیچ بخشی از سیستم نمی‌تواند بدون دیگری کار کند و ارزش دارایی‌ها در هر مورد به کارکرد تمامی بخش‌ها وابسته است. چون این دارایی‌ها تخصصی هستند و ارزش کمی مستقل از دیگر مؤلفه‌ها دارند، ظرفیتی برای هر کدام وجود دارد تا از دیگر موارد حمایت کنند. اگر پس از آنکه تمامی دارایی‌ها مستقر شدند، یک بخش به طور فرصت‌طلبانه‌ای از رویدادی غیرمنتظره بهره ببرد یا از ابهامی در توافقات برای حمایت از دیگران استفاده کند، نمی‌توانند موردِ مصرفِ دارایی‌هایشان را تغییر دهند. امکان نوشتن قراردادی که زمینه را برای اقدامات فرصت‌طلبان از میان بردارد وجود ندارد. طبق این نظریه، به منظور جلوگیری از فرصت‌طلبی می‌توان مؤلفه‌ها را ادغام کرد اما این قضیه به بنگاه‌های تجاری قدرتِ بیش از اندازه می‌دهد.

بخش نظارت و مقررات می‌تواند با کمک گرفتن از دیوان محاکمات برای حل و فصل این نزاع‌ها و ارائه قوانینِ رفتاری، مانع فرصت‌طلبی شود که در قراردادهای خصوصی احتمال مشاهده آن وجود دارد. در این

نظریه می‌خوانیم که مقررات می‌توانند گونه‌ای امن‌تر و گسترده‌تر از قرارداد بستن را نسبت به بازارها انجام دهند. با کاهش چشم‌اندازِ رفتارِ فرصت‌طلبانه، مقررات قادرند نرخ بازده لازم را برای دارایی‌های تخصصی کاهش دهند و پروژه‌ای ارزشمند از لحاظ اجتماعی را آغاز کنند. ولی چون قانونگذار هیچ سهمی در بنگاه تجاری مورد نظر ندارد، هیچ هزینه‌ای برای مقابله با اقدامات فرصت‌طلبانه متقبل نخواهد شد. شرطی که در اینجا پابرجاست به زمانی مربوط می‌شود که بنگاه تجاری از کسب‌وکار خارج شود. نظریه قرارداد در صورتی منطقی‌تر به نظر می‌رسد که قانونگذار برای محدود کردنِ فرصت‌طلبی‌اش قدرت داشته باشد.

در نظریه ساده اقتصاد مقیاس‌ها، به ویژگی‌های مهم صنعت توجه نمی‌شود. تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان گوناگون هستند. موارد مصرف آنها بر حسب نوع انتقال، زمان، فصل و مکان با یکدیگر فرق می‌کند. منابع عرضه نیز بسیار متنوع و متغیر هستند. عدم قطعیت و تنوع می‌تواند تصویرِ ساده ارائه شده براساسِ نظریه اقتصاد مقیاس‌ها را دستخوش تغییر کند، در جایی که فرض می‌شود خروجی، هزینه و تقاضا معلوم و معین باشد. در این حالت، الگویی پراکنده‌تر از خطوط انتقال و منابع انرژی می‌تواند مؤثرتر از تک منبعِ بزرگِ عرضه باشد. شبکه‌ای از خطوط کوچکتر قادرند مسیرهای بیشتری بین نقاط به وجود آورند و امکان تغییر مسیرها به منظور جلوگیری از رویارویی با گلوگاه‌های ظرفیت را فراهم می‌آورند.

پس از آنکه سیستم بزرگ و پیچیده می‌شود، کنترل متمرکز کارآمدتر از کنترل غیرمتمرکز نخواهد بود. در بحث انحصار طبیعی بین هماهنگ‌سازی و تخصیص، سردرگمی وجود دارد. اعطای مجوز هماهنگ‌سازیِ انتقالات در خطوط لوله به معنای اعطال مجوز برای تخصیص حمل و نقل بین مشترکان نیست. این دو وظیفه مجزا از یکدیگر هستند. مثالی مناسب در این زمینه، رویه‌ای است که خطوط لوله و مشتریان از آن برای هماهنگ نمودنِ حجم انتقالاتِ ماهانه استفاده می‌کنند. مشتریان خط لوله –حمل‌کنندگان– حجمی که قصد دارند از طریق خطوط لوله منتقل کنند تعیین می‌نمایند. آنها باید طبق قواعدِ عملیاتِ خطوط لوله و در تطابق با میزانی که مشخص کرده‌اند گاز را به خطوط لوله وارد و از آن خارج کنند. این اقدام به معنای هماهنگ‌سازیِ حمل و عملیات‌های خطوط لوله است.

نظارت اقتصادی بر ساختار ویژه سازمانی متکی است که نظریه انحصار طبیعی در مورد بنگاه‌های تجاری فرض می‌کند. نظارت و مقررات، مالکیتِ متمرکز و کنترل خطوط لوله را ترویج می‌کند یا الزامی می‌داند. از اشتیاق یکپارچه‌سازیِ عمودی خط لوله با تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان گاز می‌کاهد. در آمریکا قوانین فدرال، به ویژه در مورد قانون شرکت‌های هلدینگِ تأسیسات عمومی، باعث محدود شدن فعالیت شرکت‌های هلدینگ شد. این شرکت‌ها بخش‌های مختلفِ شبکه خطوط لوله را به طور افقی یکپارچه ساختند و مناطق جغرافیاییِ گسترده‌ای را در بر گرفتند. همچنین آنها جزء رقبای کارآمدِ تأسیساتِ گازی انحصاری بودند. همین قوانین

باعث تجزیه صنعت برق آمریکا شد و احتمالاً باعث بروز ناکارآمدی‌های گسترده در این فرآیند شده باشد (شرید و والز، ۲۰۰۶).

مسئله انحصار از جمله مسائل سازمانی است که پیامدِ ترکیب و متمرکز کردنِ صلاحیت برای هماهنگ کردن و تخصیصِ خروجی در دست یک عامل یا نهاد به حساب می‌آید. وقتی بنگاه تجاری تمام ظرفیتِ حمل و نقل خود را نگه می‌دارد، اثرِ هر واحدِ حاشیه‌ایِ خروجی را بر قیمتی که از تمامی واحدهای خروجی دریافت می‌کند در نظر می‌گیرد. متمرکزسازیِ تصمیم در مورد خروجی باعث می‌شود معمولاً ناکارآمدی به انحصار نسبت داده شود اما وقتی افرادی مجزا مالکِ واحدهای ظرفیت باشند با یکدیگر رقابت می‌کنند تا حمل و نقل تأمین شود. ساختارِ غیرمتمرکزِ مالکیت که برخاسته از مالکیتِ مجزا است، مسئله انحصار را حذف می‌کند چون هر مالک به نحوه تأثیرِ اقداماتِ خود بر قیمت‌های دریافتی از سوی دیگر ظرفیت‌داران توجه نمی‌کند.

ادعای دیگری که در مورد انحصار طبیعیِ تحت نظارت و مقررات بیان می‌شود این است که در مقام یک سازمان، برنامه‌ریزِ رده‌بالا در رقابت به حساب می‌آید. این مطلب می‌گوید که انحصارِ طبیعی توسط قانونگذاری هدایت می‌شود که تمامی پروژه‌ها و قیمت‌گذاری‌ها را تأیید می‌کند. چون قانونگذار نگاهی کلی به تمام پروژه‌ها می‌کند، ممکن است بتواند به گونه‌ای برای سیستم برنامه‌ریزی کند که نسبت به انحصارِ بدونِ محدودیت یا رقابت، برتر باشد. برنامه‌ریزی یعنی اثری که روی کل شبکه دارد در نظر گرفته شود و آینده نیز نقشی در تأیید پروژه‌ها ایفا کند. این نظریه به حقایق کاری ندارد. شبکه خط لوله هرگز شکل نمی‌گیرد مگر اینکه برداشتنِ محدودیت‌ها رخ دهد و بازار نوظهورِ گاز آن را دگرگون سازد. پیش از آن، خطوط لوله جدا و مجزا بودند چون مقررات مانع شکل‌گیریِ شبکه‌ای متصل به هم می‌شد. همانند آینده‌نگریِ برترِ قانونگذاران، فقط به نقطه‌ای نیاز داریم که آشفتگی و بحران در آنجا باعث حرکت به سوی برداشتنِ محدودیت‌ها از قیمت‌های سرچاه شود و در همه بخش‌های صنعت –از سرچاه تا مشترکان– را طی کند.

یکی دیگر از ادعاها در مورد مقررات این است که مانع اتلاف و ضایعات می‌شود. جنبه کنایه‌ای بحث مذکور به این مطلب ربط دارد که تحت نظام کنونی مقررات، ما با تحقق منافع فرضی در جلوگیری از تکثیر، به میزان زیادی فاصله داریم. خطوط لوله بین ایالتی و درون ایالتی یکدیگر را تا میزان زیادی تکثیر می‌کنند، همان طور که خطوط برق چنین رفتاری دارند. این حالت تا حدی ناشی از مرزهای قضاییِ ساختگی است که مناطق مختلف را به نواحی تحت‌الحمایه منفرد تقسیم می‌کند.

تقریباً در تمام مناطق توزیع محلی، سیستم‌های توزیع خصوصی وجود دارد که به موازاتِ تأسیساتِ شرکت‌های توزیع عمومی فعالیت می‌کنند. یکی از دلایلی که آنها چنین اقدامی می‌کنند آن است که نسبت به توزیع‌کنندگان محلی به شرایط و اطمینان‌پذیریِ بهتری برسند. دلیل دیگر این است که آن بخش‌هایی از منطقه

را پوشش دهند که سیستم توزیع‌کننده پوشش نداده است. علتِ دیگر به افزایش پوشش در نقاطی مربوط می‌شود که پوششِ توزیع‌کننده ناکافی است.

در سیستمی پیچیده و دنیایی پویا، مقررات و نظارت قادرند نظامی از قیمت‌ها و خدمات بسازند که ناپایدار باشد. این مورد را چندین بار در بخش گاز طبیعی دیده‌ایم. توافق‌نامه‌ها و قراردادهایی باید منعقد شود، مقررات قیمتی پنج طرح را پشت سر می‌گذارد و از مصرف‌کننده تا تولیدکننده را در برمی‌گیرد سپس جدا می‌شود. همانند هر ائتلافِ پایداری که به کنترلِ سیاسیِ صنعتی خاص می‌رسد، ادعاهای ترکیبیِ اعضا، که بازتابی از آنچه آنان قادرند در خارج ائتلاف به دست بیاورند است، نباید از ارزش کلِ منابع در دسترسِ ائتلاف تجاوز کند. وقتی آنها چنین کنند، ممکن است سیستم دچار فروپاشی شود. سپس می‌توان آن را روی مجموعه‌ای از ادعاهای جدید و کاهش‌یافته مجدداً ساخت و شاید اعضای متفاوتی نیز در آن حضور پیدا کنند. با مسدود کردنِ خروج و تغییرِ قیدوبندها، می‌توان سیستمی ساخت که برای مدتی کار کند اما پیچیدگیِ قیودِ به هم‌تنیده بدان معناست که گاهی باید از آنها تخطی کرد. پس به راهکاری برای این معضل نیاز است، همان طور که تغییرات بسیاری در طرح مقرراتی در مورد گاز طبیعی اعمال شد. با این حال، آیا قانونگذاران می‌دانند که چه کار می‌کنند؟ در این مسئله پیچیده، مقررات همانند جستجویی کورکورانه برای ائتلافی پایدار است نه برای بازده.

٤ بازارهای فعال

در این بخش نشان خواهیم داد که شواهد مربوط به عملکردِ بازارها در بخش گاز طبیعی و برق گوناگون است. در جایی که بازار موفق شود، عمدتاً به سبب حمل و نقل با دسترسی آزاد است که چشم‌انداز فعالیت را برای آنها مشخص می‌کند. در جایی که بازار شکست بخورد، معمولاً به سبب نامتناسب بودنِ طرح نامنعطف و متمرکز بازار است که باعث ناهمراستاییِ طرح‌های تشویقی می‌شود. مؤسساتی که بازرگانی و حمل و نقل را از یکدیگر جدا می‌کنند به معامله‌گرانِ جدید اجازه ورود به بازار را می‌دهند و ابزارهایی را برای انجام معاملات در بسیاری از حیطه‌ها در اختیار این معامله‌گران قرار می‌دهند. وقتی طرح بازار کارساز باشد، معامله دسترسی آزاد و حمل و نقل امکان خلق شبکه‌ای منسجم‌تر با مسیرهای منعطف را فراهم می‌سازد و همین شبکه به هم متصل‌تر باعث می‌شود که قدرتِ سفته‌بازی برای نظم‌دهی به قیمت‌ها در مناطقِ عرضه و مصرف انرژی گسترش یابد.

در آمریکا، مستثنا کردن حمل و نقل گاز از حالتِ کالا باعث شد که کارکردِ این صنعت به طور کامل تغییر کند. خطوط لوله، تقاضای انتقال مشتریانِ خود را طی «هفته مزایده» هماهنگ می‌سازد [۷]. طی هفته مزایده – معمولاً سومین هفته از هر ماه– مشتریانِ خطوط لوله حجم گازی را که قصد دارند در ماه بعد انتقال دهند مشخص می‌کنند. این حجم‌ها نقطه تزریق، نقطه تخلیه و حجمِ گازی را معین می‌کند که قرار است حمل شود.

مشتریان می‌توانند حجم‌ها را تا حدِ حق‌وحقوقی که برای انتقال از طریق بنگاه تجاری‌شان مشخص شده در نظر بگیرند. مشتریان خط لوله که ظرفیت انتقال خود را به گروه ثالث انتقال می‌دهند مسئول تعیین حجم و پرداخت آن هستند. همزمانیِ بازارهای گاز و حمل و نقل وقفه‌دار، طی هفته مزایده باعث می‌شود که خرید گاز و حمل و نقل هماهنگ شود. قراردادهای معامله نقد برای حجم‌هایی هستند که قرار است به نقاط تزریق خاصی در سیستم خط لوله انتقال یابند. از نقطه تزریق، گاز طبق حقوق انتقالِ وقفه‌دار که در بازار تخته بولتن –تابلوی اعلانات– خریداری کردند به مقصد مورد نظر جریان می‌یابد.

صاحبانِ قراردادهای حمل در بنگاه‌های تجاری می‌توانند با یکدیگر معامله کنند یا حقوقِ خود را به کارگزار و دیگر گروه‌ها انتقال دهند. با این حال قانونگذار فدرال اجازه نداده است که حمل و نقل به حقوق مالکانه کاملاً قابل‌انتقالی تبدیل شود [۸]. ظرفیت‌های استفاده‌نشده بنگاه‌های تجاریِ حمل و نقل به خطوط لوله باز می‌گردد که بعداً آن را به صورت حمل و نقل وقفه‌دار می‌فروشند. کارگزاران، گاز را از طریق شبکه خطوط لوله می‌خرند و می‌فروشند حتی اگر حق انتقال بدون‌وقفه از خودشان نداشته باشند. آنها عرضه‌های تولیدکنندگان و تقاضای گاز مشترکان را جمع می‌کنند. با خرید انتقالِ وقفه‌دار از خط لوله، قادرند گاز را از تولیدکننده به مصرف‌کننده انتقال دهند. ضرورتاً، کارگزاران سبدی از مراوداتِ بازار گاز را نگه می‌دارند که با آنها تطابق دارند. برخی از کارگزاران به صورت نماینده خرید برای شرکت‌های توزیعِ محلیِ *در جهت جریان* عمل می‌کنند. این کارگزاران از ظرفیتِ انتقال مشتری برای تحویل گازی استفاده می‌کنند که به مشتری می‌فروشند. ادغام‌گرانِ خط لوله شبکه‌های گسترده‌ای ساخته‌اند. فناوریِ اتصالِ خطوط لوله پس از سال ۱۹۸۵ به سرعت توسعه یافت بنابراین، اکنون این امکان وجود دارد که خطوط را با فشارهای مختلف به یکدیگر وصل کرد و جریان را بین آنها تغییر داد [۹]. بازارها به سرعت شکل گرفتند چون خطوط لوله از شیوه دسترسی باز استفاده می‌کردند. چند سال پس از نهادینه‌سازیِ اولیه دسترسی باز از سوی قانونگذارانِ فدرال، نشریه صنعتِ گاز با عنوانِ *گس دیلی*[1] قیمت‌های نقد در بیش از ۵۰ نقطه بازار را گزارش کرد.

تا سال ۱۹۸۹، تقریباً تمام خطوط لوله آمریکا دارای دسترسی باز بودند و تا سال ۱۹۹۱، بیش از ٦٥ درصد از بازار منطقه‌ای، یکپارچه شده بود (دی‌وانی و والز، ۱۹۹۳). این یافته‌ها از سوی دیگر پژوهشگران نیز گزارش شد که متوجه افزایشی در بافت جغرافیاییِ بازار پس از سال ۱۹۸۵ شدند و در پایان به این نتیجه رسیدند که دسترسی آزاد باعث ایجادِ بازارِ گاز رقابتیِ ملی شده است (دوآن و اسپولبر، ۱۹۹٤). کلیت (۱۹۹۸) با استفاده از رویکردِ هزینه سفته‌بازی، شواهد ضعیف‌تری درباره یکپارچه‌سازی بازار یافت. کوک و کینگ (۱۹۹٦) نیز متوجه

[1] Gas Daily

وجودِ افزایش در یکپارچه‌سازی بازار در بازار گاز طبیعی آمریکای شمالی شدند و در عین حال، به جدایی در شرق و غرب بازارهای گاز طبیعی آمریکای شمالی پی بردند. با این حال سرلتیس (۱۹۹۷) با بررسی‌های بیشتر متوجه شد که بازارها یکپارچه‌اند و هیچ جدایی بین شرق–غرب وجود ندارد. یکپارچه‌سازیِ قویِ بازار در سطح میدانی به طور کامل در بازار شهرهای در جهت جریان مشاهده نمی‌شد (والز، ۱۹۹٤).

شاید در حالتی‌که شبکه خطوط لوله چندان نامتراکم باشد، منافع حاصل از دسترسی آزاد بزرگ نباشد چون خطوط لوله فاقد انگیزه و مشوقی برای قیمت‌گذاریِ مؤثر روی ظرفیت‌های وقفه‌دار خود هستند (لاوری، ۱۹۹۸). در نبودِ شبکه خط لوله تثبیت‌شده، که در بسیاری بازارها مشاهده می‌شود، خطوط لوله می‌توانند انگیزه کمی برای قیمت‌گذاریِ مؤثرِ ظرفیتِ اضافی خود داشته باشند. در این حالت بعید است اقدامات مربوط به ترویج خروجیِ تخصیصیِ مؤثر از طریق خصوصی‌سازی و دسترسی آزاد به موفقیتی که در آمریکای شمالی دیده شد دست یابد. این نگاه با کارهای نظریِ اخیر همخوانی دارد که درمی‌یابند ساختِ ظرفیتِ انتقالِ اضافی به افزایشِ یکپارچگیِ بازار از طریق تقلیلِ قدرت بازار منجر می‌شود (کرمر و لافونت، ۲۰۰۲).

طی سال‌های اخیر، تأسیسات گاز طبیعی با افزایش تقاضا، رشد آهسته‌تر تولید و ظرفیت خطوط لوله و چندین رویدادِ افزایش قیمت ناگهانی مواجه بوده است که دو موردِ اخیر، چندین ماه به طول انجامیده است. اکثر گازِ فروخته‌شده به مشترکانِ مسکونی تحت شروطی به فروش رفته است که از هزینه‌های کالاییِ اکتساب گاز نیز تجاوز می‌کند. علاوه بر این، چند گزینه کارآمد برای این مصرف‌کنندگان وجود دارد تا تغییر در قیمت نقد گاز را به طور بلادرنگ مشاهده کنند یا به سوخت‌های جایگزین در کوتاه‌مدت و میان‌مدت روی بیاورند. شواهدِ تحقیقات اخیر نابرابری را در روش‌های تأسیسات تولید انرژی با توجه به پوشش ریسکِ خریدِ گاز طبیعی‌شان نشان می‌دهد. این نابرابری در روش‌های خریدِ تأسیساتِ تولیدی به مشکلی اصولی اشاره دارد که فضای قانونی باعث نمی‌شود قانونگذاران استفاده مناسبِ ابزارهای پوشش ریسک را بپذیرند (لودویگسون و همکارانش، ۲۰۰٦).

بازسازیِ گاز طبیعی در بریتانیا با خصوصی‌سازیِ گاز بریتانیا و خلق قانونگذاری جدید[1] در سال ۱۹۸٦ آغاز شد. به سبب ساختار به شدت متمرکزِ صنعت و چیرگیِ شرکت گاز بریتانیا، بازارهای نقد فعال تا پیش از دهه ۹۰ میلادی تحول نیافتند (اشی و همکارانش، ۲۰۰٦). بازسازیِ صنعت گاز طبیعی اروپا، با آنکه به طور متمرکز توسط اتحادیه اروپا هدایت می‌شد، با همان سرعتی که در فرآیند برداشتنِ محدودیت‌ها در آمریکا و بریتانیا شاهد بودیم اجرا نشد (هیرن، ۱۹۹۹؛ پرسبیوس، ۱۹۹۹؛ رادتزکی، ۱۹۹۹). لی و همکارانش (۱۹۹۹)

[1] Ofgas

عملکرد بازارِ تأسیسات گازی را در بین کشورهایی که ساختار مقرراتی و نظارتی متفاوتی داشتند مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که بازار آمریکای شمالی، با ساختار بازار غیرمتمرکزِ خود و رقابتِ شدیدی که دارد خروجی بازاریِ مطلوب‌تری را نسبت به ساختار به شدت مقرراتی و متمرکز اروپا تضمین نمی‌کند. با آنکه رویکردهای مختلف در مورد اصلاحات قوانین در بازارهای گاز طبیعی وجود داشته است، شواهد قیمتی حاکی از همگرایی به سوی یک تک‌بازار است. اشی و همکارانش (۲۰۰۲، ۲۰۰۶) و سیلوراستوز و همکارانش (۲۰۰۵) شواهدی درباره یکپارچه‌سازی بازار در بازارهای گاز طبیعی اروپا یافتند.

در صنعت گاز آمریکا شکل‌گیری نهادها و روش مدتی زمان برد تا بعد از ظهور و تکامل به سطحی از کارآمدی برسند که عملکردِ مطلوب بازارها را در پی داشته باشند. چندین سال نیاز بود تا در بازارهای گاز به کارکردِ قوی برسیم، حتی پس از آنکه دسترسی آزاد به یکی از اموالِ تکمیل‌شده شبکه خطوط لوله مبدل شد. برخلاف خطوط لوله گاز، از مفهومِ ظرفیت انتقالی مشترک در برق برای مدتی استفاده شد [۱۰]. چون ابزارهای قدرت، رویکردِ چرخشی و معاملاتِ انرژی، تاریخچه‌ای طولانی در صنعت برق دارند، نهادها و روش‌های لازم برای پاسخگویی به افزایشِ معاملاتِ عمده‌فروشی پس از باز شدنِ شبکه‌های انتقال، در جای خود مستقر شدند. پیش از معرفیِ جامعِ زیرساخت‌های بازار در بخش برق، معاملاتِ متمرکزِ عمده‌فروشی برق به افزایش یکپارچگیِ بازارها منجر شد، هرچند چشم‌اندازِ معاملاتیِ آن محدود بود (دی ونی و والز، ۱۹۹۹a، ۱۹۹۹b). مزایای شبکه برق به هم متصل بسیار زیاد است. تولید منابع می‌تواند به صورت دسته‌ای انجام شود، تغییر بار را می‌توان در بسیاری از بازارها و برای بسیاری از مشترکانِ شبکه یکنواخت کرد، می‌توان مشتریان مختلف را در دسته‌های مختلف جای داد تا برحسب زمان و جهتِ جریان، توازن بار را برقرار کرد و برق می‌تواند از ژنراتورهای کم‌هزینه تا ژنراتورهای پرهزینه جریان داشته باشد. یکی از شبکه‌های فعال بازار که قیمت‌ها را به صورت ساعتی یا روزانه مشخص می‌کند، اطلاعاتِ مورد نیاز در مورد هدایت جریان انرژی در شبکه منابع و مصرف‌کنندگان را ارائه می‌کند تا هزینه کلی برق را کاهش دهد. همچون صنعت گاز، دسترسی به معنای آن است که خریدار و فروشنده بتوانند مستقیماً معامله کنند [۱۱]. همچنین، بدان معناست که آنها قادرند روی شبکه برای یافتن بهترین قیمت جستجو نمایند. این قابلیتِ جستجو باعث افزایش فشار رقابتی بر تأسیسات محلی در جهت عرضه برقِ ارزان‌تر می‌شود.

ایجاد توازن بین عرضه و تقاضا برای برق پیچیده‌تر از دیگر کالاها است. به سبب نبودِ مقرون به صرفه‌ترین شیوه ذخیره‌سازی و این حقیقت که تجهیزاتِ برقی نسبت به تغییر ولتاژ و فرکانس حساس هستند، عرضه و تقاضای برق باید در تمام مواقع به طور لحظه‌ای در نزدیکیِ نقطه تعادل حفظ شود. این مطلب بیش از پیش به واسطه این حقیقت پیچیده می‌شود که مصرف‌کنندگان برق به سبب عرف و وضعیتِ فناوری‌های نصب‌شده

نمی‌توانند از مصرف برق صرف نظر کنند. بنابراین، باید همواره برق کافی در شبکه در همه مواقع وجود داشته باشد تا تقاضا را رفع کند. از میان دیگر موارد، این مورد به وجودِ نوعی کنترلِ متمرکز بر عملیاتِ کل شبکه برق اشاره می‌کند. اپراتور شبکه باید کنترل کافی بر عملیاتِ ژنراتورها داشته باشد تا بتواند در واکنش به تغییرات برنامه‌ریزی نشده در تقاضا، تنظیماتِ آنی در عرضه را انجام دهد. تحمیلِ بازارهای رقابتی برای عمده‌فروشی برق بر این سیستم‌ها چالش‌برانگیز است (جاسکوف و تیرول، ۲۰۰۵).

نتایج حاصل از تحلیلِ قیمت نقد عمده‌فروشی برق در شبکه انتقال برق غرب آمریکا از ۱۹۹٤ تا ۱۹۹٦ به سطح بالایی از یکپارچه‌سازی بازار اشاره دارد (دی ونی و والز، a۱۹۹۹، b۱۹۹۹). در این زمان، بازار برق هنوز به طور کامل بازسازی نشده بود اما در عوض معاملاتِ غیرمتمرکز در برق عمده‌فروشی داشت که با معرفیِ انتقالِ دسترسی آزاد در خطوط لوله گاز همراستا بود. فرآیند بازسازی در صنعت برق به کُندی توسعه یافت و معامله عمده‌فروشیِ برق روشی منطقی برای تکامل این صنعت بود اما چون هیچ نهاد ملی مسئولِ شبکه‌های برق آمریکا نبود، ایالت‌ها و مناطق مختلف صنایع خود را به گونه‌ای متفاوت بازسازی کردند. با این حال در هر ناحیه قضایی، یک سازوکارِ متمرکز بازار پیاده‌سازی شده بود تا پیچیدگیِ ایجاد توازن بین عرضه و تقاضا برای برق به گونه‌ای محاسبه شود که با فیزیکِ شبکه انتقال متناسب باشد. از مدل‌های مختلفِ بسیاری استفاده شد اما اختلاف اصلی بین بازارهای برق و گاز به غیرمتمرکزسازیِ بازار گاز و متمرکزسازیِ بازار برق مربوط می‌شود. در بازار انرژی به طور معمول مزایده‌ای برای برق در ترکیب با انتقال متمرکزِ برق وجود دارد که قیدوبندهای سیستم انتقال را در نظر می‌گیرد [۱۲].

عملکرد بازارهای برق که به طور گسترده‌ای بازسازی شده‌اند، متفاوت است. اکثر بازارها به شیوه‌ای پایدار کار می‌کنند گرچه برخی از بازارها که دچار مشکلاتی شده‌اند –نظیر اونتاریو و کالیفرنیا– ضرورتاً برنامه‌های بازسازیِ خود را متوقف کرده‌اند. فاجعه بازار برق کالیفرنیا و تجربه بازار برق عمده‌فروشی در این ایالت از جمله موارد مستند است که در اینجا نمی‌توان کاملاً درباره آنها بحث کرد [۱۳]. در اواسط دهه ۹۰ میلادی کالیفرنیا صنعت برق خود را بازسازی کرد. هدف آنها افزایش رقابتِ عمده‌فروشی و سپس ورود تدریجیِ رقابتِ خرده‌فروشی بود. دو ایرادِ عمده در طراحیِ بازار برق کالیفرنیا وجود داشت که در آپریل ۱۹۹۸ عملیات خود را آغاز کرد. اولین مشکل، ساختار نرخ برای سه تأسیساتِ سرمایه‌گذار–مالک –IOUها– بود که تقریباً به طور کامل زمینه توسعه رقابتِ خرده‌فروشی را از میان برداشت که می‌توانست حدی از تقاضا را در واکنش به بازار معرفی کند. نرخ برای مشترکانِ این سه تأسیسات حدود ۱۰٪ کم شد و در آن رقم حفظ شد که به طور همزمان از حاشیه‌ای که ممکن بود باعث تشویقِ رقابتِ خرده‌فروشی شود کم کرد و گزینه افزایش نرخ را برای حالتی از میان برد که ممکن بود قیمت‌های عمده‌فروشی افزایش یابند. دوم اینکه، همان سه تأسیسات IOU

تشویق شدند –برخی می‌گویند که ملزم شدند– تا خود را از تأسیساتِ تولید سوخت فسیلی‌شان محروم سازند بدون آنکه قراردادی بلندمدت برای بازخریدِ برق از این ژنراتورها یا ژنراتورهای دیگر منعقد کنند. در نتیجه IOUها در جایگاه خرید بخش عمده‌ای از برق قرار داشتند تا بارِ مورد نیاز در بازارهای فردایی و ساعتی را از طریق بورس انرژی کالیفرنیا تأمین کنند. عموماً اتفاق نظر بر این است که در آن زمان محرومیت‌هایی انجام شد، برق مازاد در منطقه وجود داشت و می‌شد قراردادهای بلندمدت برای تأمین برق را نیز ارزان خرید. در واقع طی دو سال، ظرفیت مازاد در منطقه باعث شد که قیمتِ بازارِ عمده‌فروشی نسبت به هزینه‌های پیش از وضعِ نرخِ برق بسیار پایین بماند و براساسِ طراحی، نرخ ثابتِ مشتریانِ IOU بدان معنا بود که IOUها در حال بازیابیِ مقادیر زیادی از هزینه‌های سرگردان مذاکره‌شده خود بودند.

طرح بازارِ کالیفرنیا به اجرای قواعد و نهادهایی منجر شد که تقریباً تضمین شده بودند که حتی در وضعیتِ بحرانیِ عرضه نیز بازار برق ایجاد کنند. تبادل برق در بازارهای فردایی و ساعتی انجام می‌شد و این سه IOU تشویق شدند –ملزم شدند– پس از رها کردنِ بخش عمده‌ای از ظرفیتِ تولیدیِ خود، کل برق خود را در این بازار بخرند. دیگر تأمین‌کنندگانِ برق با قیدوبندهای مشابه مواجه نبودند.

علت اصلیِ بحران سال‌های ۲۰۰۰–۲۰۰۱ عرضه محدودِ ناشی از ظرفیت تولید حرارتیِ استاتیک بود که طی چند سال با افزایش تقاضا و کاهش توان آبی –در نتیجه کاهش بارندگی‌ها– همراه شده بود. کمیابیِ برق در بهار و اوایل تابستان ۲۰۰۰ باعث شد که قیمت‌ها افزایش یابد و ورودِ منفرد به بازار برق را برای تأمین‌کنندگان مستقل امکان‌پذیر کرد. با این حال،– واکنشِ اپراتور سیستم در تعیینِ سقف برای قیمت‌ها –به طور غیرمستقیم– در بازارهای فردایی و ساعتی باعث شد که تأمین‌کنندگان از این بازارها خارج شوند. این تأمین‌کنندگان یا برق را به خارج از ایالت می‌فروختند –صادرات و واردات برق طی این دوره افزایش یافت– یا منتظر می‌ماندند تا آن را به طور مستقیم به اپراتور سیستمِ نزدیک‌تر در حالت بلادرنگ بفروشند. در حالت دوم، اپراتور سیستم انتقال دارای اراده سیاسی کافی برای متعهد ماندن به بارِ ریزشی نبود البته اگر قیمت‌ها بیش از حد بالا می‌رفت و آنها در جایگاهی قرار می‌گرفتند که مجبور می‌شدند مذاکراتِ دوجانبه چندگانه‌ای تحت فشار زمانیِ شدید انجام دهند و در جایی که حامیانِ چانه‌زنی می‌دانستند این اپراتور سیستم است که باید اول از مواضعِ خود پایین بیاید [۱٤]. این مشکل زمانی بدتر شد که سقف قیمت پایین آمد چون باعث خروج هرچه بیشترِ تأمین‌کنندگان به خارج از بازارهای فردایی و ساعتی می‌شد و به حالتِ بلادرنگ نزدیک‌تر می‌گشت. چون اپراتور سیستم مجبور می‌شد مقادیر زیادی انرژی را در نزدیکی حالتِ بلادرنگ بخرد، توانایی آنها در مذاکره و یافتنِ جایگزینی برای پیشنهاد قیمتی بالا به مسئله‌ای پیچیده‌تر مبدل می‌شد. با کاهش سقف مجاز قیمت‌ها، عدم‌توازن بین تقاضا –کل بار سه IOU– و عرضه – ظرفیت باقی مانده –هسته‌ای و آبی– به علاوه برق حاصل

از آن تأمین‌کنندگانی که وارد حالتِ بلادرنگ نشده بودند– بزرگتر شد. در نتیجه، قیمت‌ها در ساعاتِ بیشتری به سمت سقف مجاز رشد کرد در حالی که سقف مجاز کاهش می‌یافت و همین حالت باعث افزایش میانگین قیمت‌ها در این بازارها شد.

یکی دیگر از مسائل خاص و مهم تغییرِ شیوه بازسازی صنعت برق و مشوق‌ها برای تأمین ظرفیت تولید اضافی است. یکی از ویژگی‌های کلیدیِ بازسازی، حرکت از سمتِ برنامه‌ریزیِ متمرکز بود که در آن، تأسیسات برنامه‌ای برای توسعه ظرفیت‌های جدید تولیدی داشتند و انتقال نیز بروزرسانی می‌شد تا افزایش مورد انتظار در تقاضای آینده را رفع کند. در آن شرایط، فرآیند غیرمتمرکزِ توسعه و تصمیماتِ سرمایه‌گذاری –عمدتاً از سوی شرکت‌های غیرانرژی– در حال تکامل بود. برخلاف طرح نرخ‌های قانونی در گذشته، توسعه و برنامه‌های سرمایه‌گذاری در این شرکت‌ها در معرضِ تأییدِ کمیسیون‌های تأسیسات دولتی قرار نگرفتند یا به طور متمرکز هماهنگ نشدند. حتی تحت سازمانِ بازاری، نهادهای دولتی از طریق اعطای مجوز و امتیازِ فرآیندها، از طریق شروط توافق‌نامه‌های مربوط به انتقالاتِ به هم متصل، بر سرمایه‌گذاری‌ها اثر می‌گذارند. تغییرات قابل توجهی در مناطق مختلف و هزینه‌ها به نامِ فرآیند توسعه صورت گرفت که توسعه‌دهندگان بایستی برای دستیابی به تأییداتِ نهادهای دولتی متحمل شوند. علاوه بر هزینه‌های توسعه مرتبط با اکتساب تأییدیه‌های قانونی، نیروگاه‌های جدید برق بایستی با شبکه‌های انتقال در تماس می‌بودند و به طور منظم، نیازمند بروزرسانی‌های پرهزینه در سیستم می‌شدند تا بتوانند قابلیت اطمینان خود را حفظ کنند.

نتایج یک مطالعه درباره سرمایه‌گذاری در بخش نیروگاه‌های برق آمریکا نشان می‌دهد که افزودنِ نیروگاه‌های برق جدید در ایالت‌ها رواج بیشتری دارد که یا بازارهای برق خرده‌فروشی خود را بازسازی کردند یا نشانه‌هایی مبنی بر قصد انجام این کار از خود نشان داده‌اند که نسبت به ایالت‌هایی که هیچ اقدام بازسازی انجام نداده‌اند قابل مقایسه‌اند (والز و همکارانش، ۲۰۰۷). همچنین این نوع توسعه در مناطقی از کشور با زیرساخت‌های بازار عمده‌فروشی منسجم رواج دارد. شرکت‌های غیرانرژی بخش عمده‌ای از اکثر نیروگاه‌های تولید برق جدید را در ایالت‌هایی به خود اختصاص می‌دهند که اقدام به بازسازی کرده‌اند در حالی که تأسیسات انرژی همچنان در ایالت‌هایی که اقدام به بازسازی نکرده‌اند نقشی پررنگ ایفا می‌کند. ایالت‌هایی که رقابتِ خرده‌فروشی انجام می‌دهند دارای سرمایه‌گذاری بیشتری در بخش نیروگاه‌های جدید برق هستند. این الگوها حاکی از آن است که اقداماتِ قانونی از جمله عوامل تعیین‌کننده مهم میزان کارآمدیِ نهاییِ رویه‌های بازسازی است. بخش عمده‌ای از منافع بالقوه بازسازیِ صنعت، حاصل بهبود در بازده تولید و فروشِ برق به صورت عمده‌فروشی است و این قضیه اساساً به توانایی شرکت‌های جدید در ورود و خروج به این بازار

بستگی دارد. با وجود این، شرکت‌های غیرانرژی به احتمالِ کمتری برای دستیابی به این منافع در حیطه‌های قضایی که تعهدی به توسعه محیطِ رقابتی ندارند سرمایه‌گذاری‌های لازم را انجام دهند.

۵ حرکت رو به جلو

حمل و نقل با دسترسی آزاد، نمایی اجمالی از ظاهرِ واقعیِ رقابت در بازارِ گاز طبیعی به ما ارائه کرده است، اولین نمایی که به واقع قادر است ما را از نحوه کارکرد احتمالیِ بازارها در این صنعت آگاه کند. آنچه ما دیده‌ایم با آنچه نظریه انحصارِ تحت نظارت بر وقوع آن تأکید دارد بسیار فرق دارد. طبق این نظریه –رقابت در حیطه گاز طبیعی نامتناسب است– منجر به تکثیر ضایعات و اتلاف می‌شود و استفاده از شبکه‌های خط لوله را به طور کارآمد هماهنگ نمی‌سازد و رفتار قیمتیِ اشتباهی ایجاد می‌کند. شواهد در آمریکای شمالی –جایی که حمل و نقل با دسترسی آزاد وجود دارد– حاکی از آن است که رقابت به همپوشانیِ قیمت گاز در شبکه، حذف قیمت‌های احتمالاً انحصارطلبانه و غیرواکنشی و یکپارچه‌سازی بازارها منجر می‌شود. بازار گاز به طور کارکردی رقابتی است. حرکت به سمت تخصیصِ بازاریِ برق مشکلاتِ بیشتری به همراه داشته است.

رقابت‌پذیریِ کارکردی چه چیزی درباره اعتبارِ معیارهای ساختاریِ انحصارطلبی و رقابتی که بازار آن را رصد می‌کند و قانونگذاران از آن استفاده می‌کنند به ما می‌گوید؟ مسیرهای به هم متصل و راه‌های هموار در شبکه‌های انتقال از جمله عناصر بنیادیِ ساختاری در تعیین قیمت هستند. دسترسی باز و انتقال منعطف مسیرهای کارکردی در این ساختار ایجاد می‌کند و آنها در واکنش به فرصت‌های سفته‌بازی و قیمتی با یکدیگر مشترک هستند. بازار در صورتی از لحاظ کارکردی رقابتی است که توزیع مکانیِ قیمت در شبکه به بروزِ نوع درستی از همپوشانی و دینامیک منجر شود [۱۵]. شواهد قیمتی نسبت به شواهد ساختاری بسیار مجاب‌کننده‌تر و کارکردی است، گرچه ممکن است برای میزانِ سهولتِ اتصال به یکی از خطوط انتقالِ مجاور و فعلاً نامتصل، و عواملی از این دست حدود مجازی در نظر گرفته شود.

هر سازمانِ ساختاری در بازار انرژی که بتواند قیمتی رقابتی ارائه کند از لحاظ کارکردی رقابتی است و ساختارِ آن اصلاً اهمیت ندارد. رقابت کامل و ایدئال از لحاظ محتوا کاملاً ساختاری است و مدلی از کارکرد نیست. وضعیت‌هایی که این مدل فرض می‌کند برای قیمت‌گذاریِ رقابتی نه لازم و نه کافی است. بازارهای گاز شمال آمریکا این مطلب را به وضوح نشان می‌دهد چون اساساً هیچ‌کدام از این وضعیت‌ها برآورده نمی‌شود ولی همچنان بازار گاز از لحاظ کارکردی رقابتی است و بر مبنای شواهد قیمتی خواهد بود. آنچه رقابتِ کامل گفته و ایدئال در نظر گرفته می‌شود و مقررات نیز باید از آن الگو بگیرد در واقع ساختار بازاری بسیار ضعیف است. تغییر شرایط ناهنجار است. محصولی با تنوع تولید نمی‌کند که برای خدمت‌رسانی به مشتریان گوناگون مناسب باشد. غیرنوآورانه است. در حقیقت صرفاً فرض می‌کند که محصولی وجود دارد که مشتریان خواهان آن

هستند بدون اینکه چیزی درباره نحوه کشف آن بگویند. بی‌دقتی و آشفتگی را از بین نمی‌برد که هر بازارِ اقتباسی بایستی داشته باشد و هر بازار واقعی نیز از خود نشان می‌دهد.

بازارهای کاملاً رقابتی، چندان کامل نیستند و کارکرد خوبی ندارند چون خصوصیاتِ معینی در برنامه‌ریزی خود نشان می‌دهند. در برنامه‌ریزی، تمام معادلاتِ سیستم توسط اداره برنامه‌ریزی حل می‌شود که سپس در مورد تخصیص‌ها یا قیمت‌ها به مدیرانی هشدار می‌دهد که قواعدِ رفتاری‌شان به آنها می‌گوید هزینه نهایی را معادلِ قیمت در نظر بگیرند. مدلِ رقابتِ کامل این‌طور است که بازارها مسئله محاسبه بردار قیمت را حل می‌کنند و مدیرانی که خواهان به حداکثر رساندن سود هستند باقی امور را انجام می‌دهند. هیچ وظیفه‌ای قابل انجام نیست و راهکارهایی که ارائه می‌کنند نشدنی و محدود هستند البته اگر بتوانند راه حلی پیدا کنند. زمان آن رسیده است که پوزش خواستن را برای رقابت کنار بگذاریم چون رقابت کامل نیست. رقابت کامل، مانند هر فرآیند عاری از خطا و همگنی، در تکامل ناتوان است و کامل بودنِ ساختارش بزرگترین نقطه ضعفش به حساب می‌آید.

قیمت‌هایی که به طور روزانه یا ساعتی یا حتی در فواصل ۱۰ دقیقه در بازار معاملات نقد در نظر گرفته می‌شوند در شبکه‌ای پراکنده‌اند که می‌تواند اطلاعات مورد نیاز برای هدایت جریان برق از طریق شبکه را تأمین کند، آن را در کم‌هزینه‌ترین ژنراتورها تولید کند و آن را در بازارهایی بفروشد که بالاترین قیمت را برای آن می‌پردازند. با وجود قیمت‌هایی که باعث تداوم کار شبکه‌ای از بازارها شده‌اند، جریان انرژی می‌تواند تقریباً به طور بلادرنگ رخ دهد. علاوه بر این، قیمت‌ها بازتابی از وضعیتِ شبکه‌ها در هر فاصله معاملاتی هستند و قادرند اطلاعات وضعیت را مشخص کنند تا جریان در شبکه هدایت شود. همان طور که در صنعت گاز دیدیم، سیگنال اینکه فرآیند کار می‌کند همان همپوشانیِ قیمت‌ها در شبکه است. بنابراین، ما باید به قیمت‌ها در شبکه برق نگاه کنیم تا شواهدی از رقابت‌پذیری را بیابیم –قیمت خرده‌فروشی تأسیسات و قراردادی و معاملات نقد. ویژگی‌های ساختاری نظیر تعداد خطوط در داخل یا خارج ناحیه فقط در صورتی مهم هستند که قیمت‌ها خارج از بازه باشد. اما همچنان، شواهد قیمتی عامل تعیین‌کننده است. همان طور که در بازار گاز طبیعی آمریکا دیدیم، قیمت‌ها احتمالاً از رویه سفته‌بازیِ رقابتی تبعیت کنند البته اگر شبکه برق باز باشد و نهادهای بازار رقابتی نیز در جای خود مستقر باشند.

٦ جمع‌بندی

در حرکت به سمت مکانیزم‌های تخصیص بازارمحور، صنعت گاز طبیعی و برق به طور فزاینده‌ای از سوی نیروهای بازار در حالت نظارت و وضع قوانین هستند به گونه‌ای که به تدریج در حال شبیه شدن به بازار کالا هستند تا بازار تأسیسات انرژی عمومیِ تحت نظارت. تفکیکِ کالای انرژی از حمل و نقل، خود پایه و اساسی

برای بازسازی بازارهای برق و گاز طبیعی ایجاد کرده است. رقابت در بازارهای برق و گاز بیشتر شبیه تکامل بوده است تا حل مسئله ریاضی خوش‌تعریف. تکامل بسیار منسجم و فرصت‌طلبانه است: تکامل به دنبال چشم‌اندازی وسیع است و تنوع را ترویج می‌کند. فرآیند گزینش باعث حذف راهکارهای ضعیف می‌شود و نوآوری‌های تصادفی در مقامِ گزینه‌های جایگزین جدید برای گزینش در امر اثرگذاری عمل می‌کنند. این مطلب دقیقاً همان چیزی است که در بازارهای برق و گاز دیدیم چون طی دو دهه گذشته به سبب عدم تغییر مقررات تکامل یافته‌اند. بازارها تحت حمل و نقل گاز با دسترسی آزاد موفق عمل کرده‌اند چون فعالان بازار، نهادهای کارآمدی برای کنترل معاملاتِ خود در بخش گاز و حمل و نقل ساخته‌اند. تحت این نهادها، بازارها به سطح بالایی از هماهنگی بین معامله کالا و حمل و نقل دست یافته‌اند. حرکت انتقالی از صنعتِ برنامه‌ریزی‌شده به بازارهای گاز طبیعی در آمریکا آسان‌تر از آن چیزی بود که ممکن بود کسی تصور کند. کسانی که به ادعاهای نظریه نظارت و مقررات معتقد بودند برای آنچه اتفاق افتاد آماده نبودند. فعالان بازار نهادهایی را به وجود آوردند که ملزم به حمایت از تبادلِ رقابتی در بازار گاز در میان شبکه‌های انتقال شدند. دسترسی به انتقال مسیرهایی را در شبکه باز کرد و به نیروی سفته‌بازیِ قیمت گاز اجازه داد تا به توزیع مکانی همگرایی یابد که رقابتی است. هیچ‌کدام از پیش‌بینی‌های شوم نظریه انحصار طبیعی تحت نظارت و مقررات در مورد رقابت و بازارها صحت پیدا نکردند. با این حال، به سبب پیچیدگیِ ایجاد توازن در عرضه و تقاضای برق، مشخص شد که استفاده از مکانیزم‌های تخصیص بازارمحور برای بخش برق دشوارتر از بخش گاز طبیعی باشد. در این موارد، شکست‌های نظارتی و مقرراتی در طراحی زمانی به وجود آمده است که قواعد و نهادهای اجباری به طور مناسب بازتابی از قیود و مشوق‌های بازار تحت نظارت نباشد. در هیچ جایی به اندازه بازارهای برق بازسازی‌شده این مورد مشهودتر نبوده است.

یادداشت‌ها:

۱. تجزیه سخت است: اقداماتی در جهت اصلاح بازارهای انرژی اروپا به سبب سیاست‌های حمایت‌گرایی در حال شکست است، نشریه ایکانمیست، سیزدهم سپتامبر ۲۰۰۷.

۲. برای مثال جهت مطالعه تحلیل اقتصادی و تاریخی مقررات قیمت گاز طبیعی به این مقالات مراجعه کنید:

MacAvoy and Pindyck (1975) and Tussing and Barlow (1984)

در پژوهش‌های مایکلز (۱۹۹۳) و دی ونی و والز (۱۹۹۵) اشارات مختصری شده است.

۳. پیش از این زمان، تقریباً تمامی گاز تحت قراردادهای بلندمدت فروخته شده بود که به طور کامل در مقالات اقتصادی تحلیل شده است. برای مثال به این مقالات مراجعه کنید:

Masten and Crocker (1985), Mulherin (1986a, 1986b), Hubbard and Weiner (1986, 1991), Masten (1988), and De Canio and Frech (1993).

۴. سیستمِ حقوق مالکیتِ قابل معامله که در مقاله اسمیت (۱۹۸۸) پیشنهاد شده است نمونه‌ای از این نوع نهاد است که می‌توان به واسطه فعالان بازار آن را ایجاد کرد. در این حالت، انجمنی از تأمین‌کنندگان گاز طبیعی خواهد بود.

۵. برای مطالعه بیشتر درباره انتقال از حمل محموله به حمل قرارداد به این مقالات مراجعه کنید:

US Energy Information Administration (1989), Cramer (1991), and De Vany and Walls (1994a, 1994b)

۶. تا پیش از دهه ۹۰ میلادی بازسازی جامع در عمل رخ نداد اما مدل‌های اقتصادی از قیمت‌گذاری نقد مکانی/ فضایی که شامل فیزیکِ جریان‌های متناوب می‌شد، خیلی قبل‌تر از آن منتشر شده بودند. برای مثال به مقاله شوپپی و همکارانش (۱۹۸۸) مراجعه کنید. همچنین در چندین مرجع در مورد کار شوپپی و همکارانش در آنجا گزارش شده است.

۷. بحث درباره نهادهای بازار تقریباً طبق تحقیقات دی ونی و والز (a۱۹۹٤) انجام شد.

۸. برای مطالعه بیشتر درباره اصلاح مقرراتِ خطوط لوله گاز به این مقالات مراجعه کنید:

Smith et al. (1988, 1990), Alger and Toman (1990) and De Vany and Walls (1994a)

۹. به ژورنال نفت و گاز مراجعه کنید (۱۹۹۰، صفحات ۸-٤۱).

۱۰. برای مثال به بحث جاسکوف و اشمالنسن (۱۹۸۳).

۱۱. بازار برق به طور معمول یک نهاد مزایده‌ای است اما این حالت مانع انجام سایر مراودات می شود. برای مثال، به نمونه‌های متعددِ ذکرشده در پژوهش استافت (۲۰۰۲) مراجعه کنید.

۱۲. معماری‌های اجراشده متفاوت و بحث شده عمقی در مقاله استافت (۲۰۰۲). ویلسون (۲۰۰۲) بحثی نظری‌تر درباره ویژگی‌های تشویقیِ انواع معماری‌ها برای طراحی بازار برق مطرح کرده است.

۱۳. برای مثال به این مقالات و بسیاری دیگر مراجعه کنید:

Faruqui et al. (2001), Borenstein et al. (2002), Joskow and Kahn (2002), Wolak (2003), US General Accounting Office (2002a, 2002b)

بحث درباره بازار برق اونتاریو در مقاله تربیل‌کاک و هراب (۲۰۰۵) مطرح شده است.

۱۴. طبق طراحی بازار برق کالیفرنیا، اپراتور سیستم اجازه گسترده‌ای برای تقلیل برق بازار همانند اپراتورهای سیستم در دیگر بازارهای ساختاریافته ندارد. در بسیاری موارد، اپراتور سیستم چنین اجازه‌ای را از FERC -کمیسیون مقررات و نظارت بر انرژی فدرال- کسب می‌ند و همچنین از این نهاد خواسته شد تا وارد روند تقلیل قیمت‌ها شود که بسیار فراتر از هزینه‌های تولید است. نهاد مذکور در مراحل اولیه بحران از ورود به این قضیه امتناع می‌کند و فقط ابزاری که CAISO -اپراتور مستقل سیستم کالیفرنیا- در دست داشت سقف قیمتی بود.

۱۵. برخی از بازارهای برق حتی به گونه‌ای مشخصه‌یابی می‌شوند که از لحاظ اطلاعاتی کارآمد هستند؛ برای مثال به مقاله سرلیتیس و بیانچی (۲۰۰۷) در مورد تحلیل قیمت معاملات نقد برق آلبرتا مراجعه کنید.

منابع:

Alger, D. and Toman, M. (1990), 'Market-based regulation of natural gas pipelines', *Journal of Regulatory Economics*, 2(3): 262–80.

Asano, H. (2006), 'Regulatory reform of the electricity industry in Japan: what is the next step of deregulation?', *Energy Policy*, 34(16): 2491–7.

Asche, F., Osmundsen, P. and Sandsmark, M. (2006), 'The UK market for natural gas, oil and electricity: are the prices decoupled?', *The Energy Journal*, 27: 27–40.

Asche, F., Osmundsen, P. and Tveteras, R. (2002), 'European market integration for gas? Volume flexibility and political risk', *Energy Economics*, 24: 249–65.

Balachandra, P. (2006), 'Implications of private sector participation in power generation – a case study from India', *Energy Policy*, 34(16): 2466–79.

Borenstein, S., Bushnell, J. and Wolak, F. (2002), 'Measuring market inefficiencies in California's restructured wholesale electricity market', *American Economic Review*, 92(5): 1376–405.

Chang, Y. and Tay, T.H. (2006), 'Efficiency and deregulation of the electricity market in Singapore', *Energy Policy*, 34(16): 2498–508.

Chirarattananon, S. and Nirukkanaporn, S. (2006), 'Deregulation of ESI and privatization of state electric utilities in Thailand', *Energy Policy*, 34(16): 2521–31.

Cramer, C. (1991), 'The economic effects of unbundled transportation services in the natural gas pipeline industry', *Transportation Journal*, 31(2): 24–32.

Cremer, H. and Laffont, J.J. (2002), 'Competition in gas markets', *European Economic Review*, 46: 928–35.

Cuc, M. and King, M. (1996), 'Price convergence in North American natural gas spot markets', *The Energy Journal*, 17(2): 17–42.

De Canio, S.J. and Frech, H.E. (1993), 'Vertical contracts: a natural experiment in gas pipeline regulation', *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, 149(2): 370–72.

De Vany, A.S. and Walls, W.D. (1993), 'Pipeline access and market integration in the natural gas industry: evidence from cointegration tests', *The Energy Journal*, 14(4): 1–19.

De Vany, A.S. and Walls, W.D. (1994a), 'Natural gas industry transformation, competitive institutions and the role of regulation: lessons from open access in U.S. natural gas markets', *Energy Policy*, 22(9): 755–63.

De Vany, A.S. and Walls, W.D. (1994b), 'Open access and the emergence of a competitive natural gas market', *Contemporary Economic Policy*, 12(2): 77–96.

De Vany, A.S. and Walls, W.D. (1995), *The Emerging New Order in Natural Gas: Markets versus Regulation*, Quorum Books, Westport, CT.

De Vany, A.S. and Walls, W.D. (1999a), 'Cointegration analysis of spot electricity prices: insights on transmission efficiency in the western US', *Energy Economics*, 21(5): 435–48.
De Vany, A.S. and Walls, W.D. (1999b), 'Price dynamics in a network of decentralized power markets', *Journal of Regulatory Economics*, 15(2): 123–40.
Doane, M.J. and Spulber, D.F. (1994), 'Open access and the evolution of the U.S. spot market for gas', *Journal of Law and Economics*, 37: 477–515.
Faruqui, A., Chao, H.P., Niemeyer, V., Platt, J. and Stahlkopf, K. (2001), 'Analyzing California's power crisis', *The Energy Journal*, 22: 29–52.
Heren, P. (1999), 'Removing the government from European gas', *Energy Policy*, 27: 3–8.
Hsu, G.J.Y. and Chen, T.Y. (1997), 'The reform of the electric power industry in Taiwan', *Energy Policy*, 25: 951–7.
Hubbard, R.G. and Weiner, R.J. (1986), 'Regulation and long-term contracting in the U.S. natural gas market', *Journal of Industrial Economics*, 35: 71–9.
Hubbard, R.G. and Weiner, R.J. (1991), 'Efficient contracting and market power: evidence from the U.S. natural gas industry', *Journal of Law and Economics*, 34: 25–68.
Joskow, P.L. and Kahn, E. (2002), 'A quantitative analysis of pricing behaviour in California's wholesale electricity market during summer 2000', *The Energy Journal*, 23(4): 1–35.
Joskow, P.L. and Schmalensee, R. (1983), *Markets for Power: An Analysis of Electric Utility Deregulation*, MIT Press, Cambridge, MA.
Joskow, P. and Tirole, J. (2005), 'Merchant transmission investment', *Journal of Industrial Economics*, 53: 233–64.
Kahn, A. (1988), *The Economics of Regulation*, MIT Press, Cambridge, MA.
Kleit, A. (1998), 'Did open access integrate natural gas markets? An arbitrage cost approach', *Journal of Regulatory Economics*, 14: 19–33.
Lawrey, R. (1998), 'Pricing and access under national competition policy: the case of the natural gas pipeline sector', *Australian Economic Review*, 31: 91–106.
Lee, J.D., Park, S.B. and Kim, T.Y. (1999), 'Profit, productivity, and price differential: an international performance comparison of the natural gas transportation industry', *Energy Policy*, 27: 679–89.
Ludwigson, J., Rusco, F.W. and Walls, W.D. (2006), 'A case for integrating the regulation for natural gas utilities', in *Proceedings of the 26th Annual IAEE North American Conference*, International Association for Energy Economics, Cleveland, OH, pp. 1–7.
MacAvoy, P.A. and Pindyck, R.S. (1975), *The Economics of the Natural Gas Shortage (1960–1980)*, North-Holland, Amsterdam and New York.

Masten, S.E. (1988), 'Minimum bill contracts: theory and policy', *Journal of Industrial Economics*, 37: 85–97.
Masten, S.E. and Crocker, K.J. (1985), 'Efficient adaptation in long term contracts: take or pay for natural gas', *American Economic Review*, 75(5): 1083–93.
Michaels, R.J. (1993), 'The new age of natural gas: how regulators brought competition', *Regulation*, 16(1): 68–79.
Mulherin, J. (1986a), 'Complexity in long term natural gas contracts: an analysis of natural gas contractual provisions', *Journal of Law and Economic Organization*, 2: 105–17.
Mulherin, J. (1986b), 'Specialized assets, governmental regulation, and organizational structure in the natural gas industry', *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, 142: 528–41.
Mulugettaa, Y., Mantajitb, N. and Jackson, T. (2007), 'Power sector scenarios for Thailand: an exploratory analysis 2002–2022', *Energy Policy*, 35: 3256–69.
Nakawiro, T. and Bhattacharyya, S.C. (2007), 'High gas dependence for power generation in Thailand: the vulnerability analysis', *Energy Policy*, 35: 3335–46.
Oil & Gas Journal (1990), August 6 edition, 41–8.
Percebois, J. (1999), 'The gas deregulation process in Europe: economic and political approach', *Energy Policy*, 27: 9–15.
Pintz, P. and Korn, A. (2005), 'Development of a competitive electricity market in Indonesia', *Energy Studies Review*, 13: 56–70.
Pittman, R. (2007), 'Restructuring the Russian electricity sector: re-creating California?', *Energy Policy*, 35: 1872–83.
Radetzki, M. (1999), 'European natural gas: market forces will bring about competition in any case', *Energy Policy*, 27: 17–24.
Scherer, F.M. (1980), *Industrial Market Structure and Economic Performance*, 2nd edn, Houghton Miffl in, Boston, MA.
Schrade, W.R. and Walls, W.D. (2006), 'Holding companies, market liquidity, and the development of the electric power industry', *Journal of Energy and Development*, 32(1): 1–18.
Schweppe, F.C., Caramanis, M.C., Tabors, R.D. and Bohn, R.E. (1988), *Spot Pricing of Electricity*, International Series in Engineering and Computer Science, Kluwer, Boston, MA.
Serletis, A. (1997), 'Is there an east–west split in North American natural gas markets?', *The Energy Journal*, 18: 47–62.
Serletis, A. and Bianchi, M. (2007), 'Informational efficiency and interchange transactions in Alberta's electricity market', *The Energy Journal*, 28: 121–43.
Serralles, R.J. (2006), 'Electric energy restructuring in the European Union: integration, subsidiarity and the challenge of harmonization', *Energy Policy*, 34: 2542–51.

Siliverstovs, B., L'Hegaret, G., Neumann, A. and von Hirschhausen, C. (2005), 'International market integration for natural gas? A cointegration analysis of prices in Europe, North America and Japan', *Energy Economics*, 27: 603–15.
Singh, A. (2006), 'Power sector reform in India: current issues and prospects', *Energy Policy*, 34(16): 2480–90.
Smith, R.T., De Vany, A.S. and Michaels, R.J. (1988), 'An open access rights system for natural gas pipelines', in *Interstate Natural Gas Pipeline Rate Design Studies*, Natural Gas Supply Association, Washington, DC, pp. 155–225.
Smith, R.T., De Vany, A.S. and Michaels, R.J. (1990), 'Defining a right of access to interstate natural gas pipelines', *Contemporary Policy Issues*, 8: 142–58.
Stoft, S. (2002), *Power System Economics: Designing Markets for Electricity*, IEEE/Wiley Press, Piscataway, NJ.
Tishler, A., Newman, J., Spekterman, I. and Woo, C. (2006), 'Cost–benefit analysis of reforming Israel's electricity industry', *Energy Policy*, 34(16): 2442–54.
Trebilcock, M.J. and Hrab, R. (2005), 'Electricity restructuring in Ontario', *The Energy Journal*, 26(1): 123–46.
Tussing, A.R. and Barlow, C.C. (1984), *The Natural Gas Industry: Evolution, Structure and Economics*, Ballinger, Cambridge, MA.
US Energy Information Administration (1989), *Growth in Unbundled Natural Gas Transportation Services: 1982–1987*, US GPO, Washington, DC.
US General Accounting Office (2002a), 'Lessons learned from restructuring: transition to competitive markets underway, but full benefits will take time and eff ort to achieve', Technical Report GAO-03-271, GAO, Washington, DC.
US General Accounting Office (2002b), 'Restructured electricity markets: California market design enabled exercise of market power', Technical Report GAO-02-828, GAO, Washington, DC.
Walls, W.D. (1994), 'Price convergence across natural gas production fi elds and city markets', *The Energy Journal*, 15(4): 37–48.
Walls, W.D., Rusco, F.W. and Ludwigson, J. (2007), 'Power plant investment in restructured markets', *ENERGY – The International Journal*, 8: 1403–13.
Wang, K.M. (2006), 'The deregulation of Taiwan electricity supply industry', *Energy Policy*, 34(16): 2509–20.
Wilson, R. (2002), 'Architecture of power markets', *Econometrica*, 70: 1299–340.
Wolak, F. (2003), 'Measuring unilateral market power in wholesale electricity markets: the California market 1998 to 2000', *American Economic Review (Papers and Proceedings)*, 93(2): 425–30.
Xu, S. and Chen, W. (2006), 'The reform of electricity power sector in the PR of China', *Energy Policy*, 34(16): 2455–65.