مروری بر مدل‌های انرژی و مدلسازی پویا

منیره زمانی‌فر
دانشجوی کارشناسی ارشد رشته برنامه‌ریزی سیستمهای اقتصادی دانشگاه صنعتی شاهرود
آدرس پست الکترونیک Zamanifm2015@Gmail.Com
محمدعلی مولایی
دانشیار دانشگاه صنعتی شاهرود دانشکده مدیریت و مهندسی صنایع
Malimolaei@Yahoo.Com
حسین رضایی
استادیار دانشگاه پیام نور دامغان
Hrezaee313@Gmail.Com

چکیده

بخش انرژی از جهت اقتصادی، سیاسی، اجتماعی، صنعتی و تولیدی از اهمیت ویژه‌ای در تمامی کشورها برخوردار است. لزوم مدیریت بهینه در عرضه، تقاضا، قیمت و بازار انرژی سبب نیاز به مدل‌سازی و استفاده از روش‌های دقیق ریاضیاتی در این بخش شده است. این پژوهش با هدف مرور مدل‌های بدوی انرژی و سیر تکاملی آنها، مدل‌سازی و ارائه بهترین مدل‌های انرژی در زمینه تولید، تقاضا تدوین شده است. از طرفی برقراری شرایط اقتصاد مقاومتی در ایران و با توجه به مزیت‌های بالای انرژی در کشور و از سوی دیگر بالا بودن سرانه مصرف انرژی در کشور، توجه به روش‌های نوین وجامع مدلسازی در ایران امری ضروری به نظر می‌رسد. لذا در این پژوهش استفاده از روش پویایی سیستمی با فضای آزمایشگاهی مجازی به عنوان یک رویکرد نوین و امکان آزمودن سیاست‌های مختلف و مشاهده نتایج آن با کمترین هزینه، مورد تاکید و توصیه می‌باشد. البته لزوم بومی‌سازی این روش در کشور و ایجاد مدل-هایی که با شرایط داخلی ایران مطابقت داشته باشند، باید مد نظر قرار بگیرد.

کلیدواژگان: مدل‌های انرژی، مدل‌های پویایی سیستمی، مدل‌سازی.

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

درگذشته، بحران‌های انرژی به طور طبیعی و طی مدتی نه چندان طولانی بر اساس عملکرد نیروی‌های بازار مدیریت می‌شدند. برای مثال، در بحران‌های دهه ۱۹۷۰، رکود جهانی متعاقب بحران، تقاضای جهانی برای نفت را کاهش داد و به همراه پیشرفت فن‌آوری، کاهش هزینه و افزایش بهره‌وری در هر دو سوی عرضه و تقاضا، بحران را حل کرد. افسانه وجود ذخایر فراوان و مزایای آن باعث شده بود تا همه چیز به نیروی‌های بازار سپرده شود و ترتیبات، تنظیمات و کنترل‌ها حذف گردد. نقش و تأثیر سیاست بر کشورها و مناطقی که دارای منابع غنی نفت و گاز می‌باشند در دهه‌های اخیر افزایش قابل توجهی پیدا کرده است. اگر چه، رشد تقاضای جهانی برای مصرف انرژی‌های فسیلی در کنار وجود ناامنی و بی‌ثباتی در برخی از کشورهای صادر کننده اینگونه منابع موجب شده است تا امنیت انژری در صدر دستور کار ملی کشورهای صنعتی و در حال توسعه وارد کننده آن قرار گیرد، لیکن گسترش پدیده جهانی شدن مصرف انرژی مانع از آن شده است تا دولت صادر کننده انرژی مستقلاً به تدوین سیاست‌های ملی انرژی خود بپردازند. در حقیقت، اهمیت و جایگاه نفت در توسعه کشورهای صنعتی موجب شد تا انرژی، به مقوله‌ای فرامرزی و جهانی تبدیل شود. انرژی، زیرمجموعه‌ای از نظام اقتصادی و اجتماعی می‌باشد که تأثیر عمده‌ای بر فرآیند توسعه اقتصادی می‌گذارد. اهمیت اقتصادی بخش انرژی بعلت ایجاد اشتغال، افزایش درآمدهای ناشی از مبادلات تجاری انرژی، نقش عمده آن در بخش‌های تولید و خدماتی و ایجاد تعاملات گسترده اقتصادی، سیاسی و ... می‌باشد. بطور کلی منابع تأمین انرژی به دو دسته منابع تجدیدناپذیر و تجدیدپذیر تقسیم می‌گردند. در سیستم‌های انرژی، تعاملات میان بخش‌های مختلف در نظر گرفته شده و عوامل مؤثر بصورت پارامتریک در آن ملحوظ می‌گردند. اهمیت بهینه‌سازی بخش عرضه و تقاضای انرژی، لزوم مدیریت راهبردی انرژی در عصر حاضر را پر رنگ‌تر ساخته است. در حقیقت هدف از این نوشتار، ایجاد درک و شناختی عمیق تر از انواع مدل‌های انرژی، ضرورت مدلسازی در بخش انرژی، شناسایی کاربردهای متنوع و تکنیک های بکارگرفته شده از علم و هنر مدلسازی بخش انرژی می‌باشد (گلچین‌پور، ۱۳۹۰).

در این پژوهش ابتدا مروری بر مدل‌های انرژی خواهیم داشت سپس مدال‌های مرجع انرژی به بحث و نقد گذاشته می‌شوند و در رابطه با کارکر، زمینه و سیاست‌های آنها توضیحاتی ارائه می‌گردد. دورنمای مدلسازی منابع انرژی که شامل پنج مدل FREE, TIME, DICE, SGM و COAL2 می‌باشد بخش بعدی این پژوهش را تشکیل می‌دهند.کاربرد هر یک از مدل‌ها با نمودارها و معادلات مربوط آورده شده است. در میان مدل‌های ذکر شده مدل COAL2 مدلی است که برای تبیین روابط علّت و معلولی ایران و ترسیم نمودارهای علّی –حلقوی از آن استفاده شده است.

۲- مروری بر مدل‌های انرژی

در این قسمت مدل‌های مختلفی که در رابطه با دنیای انرژی و خصوصا بازار جهانی نفت وجود دارند به بحث و تبادل گذاشته می‌شوند که به ترتب زیر هستند:

Archive of SID
www.SID.ir

۲-۱- روش تراز انرژی

بسیاری از تحلیل‌های جزیی، مثل گزارش های WAES، CIA، گزارش OECD، چشم انداز شرکت EXXON و تعداد زیادی شرکت دیگر درستی روش "تراز انرژی" را آزمون می‌کنند. این تحلیل‌ها در رابطه با فروض خود در سیاست، اقتصاد و محیطزیست هستند و ارتباط چندانی با محصول و منطقه ندارند. معمولاً تحلیل‌ها سناریوهای اندکی را در نظر می‌گیرند. هر یک از آنها، فروض به خصوصی در رابطه با عوامل برونزا مانند رشد جهانی اقتصاد، ارتباط نتایج سیاست‌های اقتصادی از دولت‌های مختلف، نقش شرایط محیطزیستی در توسعه زغال‌سنگ و انرژی هسته‌ای و همچنین بخشی از سناریوهای مرتبط با نفت خام دارند.

۲-۲- مدل‌های تعادلی بزرگ مقیاس

الگوی غالب در مدلسازی‌های بزرگ مقیاس انرژی در تلاش است که تعادل عمومی اقتصاد برقرار شود. بسیاری از تلاش ها به صورت "موردی خاص" صورت می‌گیرند تا "کلی". مدل IIES سازمان فدرال انرژی، مدل Hathakar-Kenndy مثال‌هایی از این مدل‌ها در اقتصاد هستند. تعداد دیگری از این مدل‌ها برای تحلیل بازار انرژی آمریکا برای قیمت جهانی نفت طراحی شده‌اند. تعدادی از این مدل ها مانند Hudson-Jorgrnson (۱۹۷۴)، Hnyiliza (۱۹۷۵)، Brookhaven Deson در گزارش‌ها توسط انجمن مدلسازی انرژی (۱۹۷۷) و مؤسسه تحقیقاتی استنفورد (۱۹۷۷) بحث شده‌اند. این مدل‌ها به صورت جزیی مناطق معدنی و تولیدی را تعیین می‌کنند. این تحلیل‌ها مثبت و غیرهنجاری بوده، روابط رفتاری نسبتاً واضح هستند و به صورت اقتصادی تخمین زده شده‌اند. تمرکز این مدل ها بر خصوصیات تعادل بلندمدت است که مجموعه‌ای از قیمت‌های نفت خام خاص بدست آمده‌اند. از آنجایی سال‌های زیادی طول می‌کشد که یک تعادل اجرا شود، اگر اوپک یک قیمت را تنظیم کند، مأمور است آن را برای ظهور تعادل جدید نگه دارد.

۲-۳- مدل سیستم دینامیکی COAL2 از Naill

مدل COAL2 از (R.F Naill) یک مدل سیستمی انرژی آمریکا است که یک بخش تقاضا و سه بخش عرضه برق، زغال سنگ، نفت و گاز را در بر می‌گیرد. برخلاف سایر مدلسازی‌های انرژی، مدل سیستم دینامیکی بر پایه الگوی تعادل عمومی اقتصاد قرار ندارد. تحقیقات وسیعی از این دست مدل‌ها در گزارش‌های مؤسسه تحقیقاتی استنفور وجود دارد. COAL2 به منظور شبیه‌سازی رفتار سیستم انرژی آمریکا برای سی سال آینده تحت فروض محتلف سیاست‌های تقاضا و عرضه مانند تسریع تولید زغال‌سنگ و انرژی هسته‌ای، شبیه‌سازی شده‌اند. در تمامی موارد، تعادل انرژی آمریکا از طریق واردات نفت بدست می‌آمد. نتایج این مدل به طور قابل توجهی بدبینانه‌تر از اکثر تحلیل‌ها است. با هیچ گونه تغییر سیاست خاصی، واردات نفت در سال ۱۹۸۵ سه برابر خواهد شد اما تحت سناریو خوشبینانه، واردات نفت ۲٫۵ برابر سطح فعلی خواهد بود. از آنجا که در مقدار تقاضای بالای آمریکا برای واردات نفت هیچ شکی وجود ندارد، روشن است که افزایش شدید قیمت به وجود خواهد آمد.

۲-۴- مدل Ben- Shahar برای قیمت‌گذاری اوپک

کتاب نفت، قیمت و سرمایه‌های Haim Ben- Shahar مدل نسبتاً ساده‌ای از بازار جهانی نفت ارائه می‌کند که به سؤالات مربوط به سیاست قیمتی اوپک پاسخ می‌دهد. مدل برای شبیه‌سازی سیاست‌های قیمتی و انتخاب قیمت برای قیمت‌گذاری اوپک (با استفاده از الگوی پویا) برای دوره ۱۹۹۰-۱۹۷۶ استفاده می شده تنها ۲ نوع روند قیمت در نظر گرفته شده است: روند قیمت ثابت و قیمتی که با نرخ ثابت افزایش می یابد. قیمت بهینه در حدود کمترین و بالاترین قیمت در نظر گرفته شد. متأسفانه مدل بسیار ساده است و نمی‌تواند مؤثر و یاری رسان باشد. معادلات اختصاصی برای عرضه و تقاضا، هیچ مقدار از قیمت انتظاری یا عرضه‌های بلندمدت برای تعدیل عرضه و تقاضا برای رسیدن به حالت مطلوب را

Archive of SID
www.SID.ir

در نظر نمی‌گیرد. این مدل اساساً یک مدل تعادل‌سازی بلندمدت است که نمی‌تواند دوره کوتاه‌مدت یا عدم تعادل‌های تعدیل شده پویا را در نظر بگیرد.

۲-۵- مدل Eckbo برای رفتار اوپک

شاید یکی از بهترین مدارک، کتاب اخیر اوپک کتاب Paul Eckbo به نام " آینده دنیای نفت" باشد. Eckbo با استفاده از یک مدل شبیه-سازی نسبتاً ساده‌ای بازار جهانی انرژی، فروض مختلف رفتاری و روند قیمتی را آزمود. همچون سایر مدل‌های ساده بازار جهانی نفت، هیچ جداسازی محصول و منطقه ای در این مدل وجود ندارد. اصطلاح Eckbo برای این مدل "خمیردندان" است اما مدل قیمت های انتظاری و عرضه و تقاضا تعدیل شده را با یکدیگر ترکیب می‌کند که موجب جذاب شدن آنها می شود. در هر حال فروض مختلفی درباره رفتار تولیدکننده‌های اوپک و کارتل میان آنها وجود دارد. دو ورژن بنیادی ساده و کارتل برای مدل وجود دارد. طبق استراتژی‌های متفاوت، روشن است که Eckbo رفتارهای مختلف ممکن جذاب را برای اوپک مورد آزمون قرار داد. نتایج او در سطح خوشبینانه قرار دارد. برای اوپک مشکل است که سطح قیمت‌های مختلف جاری را برای سال‌های آینده حفظ نماید.

۲-۶- گزارش Chales River

این گزارش برای آمریکا اداره بین المللی استاندارد " پیامدهای محدودیت عرضه: بازار جهانی انرژی "، هدف آن ارزش‌گذاری هزینه‌ها و سیاست-های متفاوت برای کمک به کاهش وابستگی آمریکا برای واردات نفت است. سیاست‌ها در رابطه با مواردی همچون انباشت، تعرفه و گمرک، یارانه به تولیدکنندگان داخلی نفت، توسعه انرژی هسته‌ای، ترکیب زغال‌سنگ، توسعه نفت شیل، استخراج گاز از زغال‌سنگ آزمون شده‌اند.

۲-۷- مدل‌های قیمت‌گذاری اوپک از Pindyck و Hnyilicza Pindyck

دو مقاله اخیر، Hyilicza- Pindyck(۱۹۷۶) و Pindyck(۱۹۷۶) مدل‌های بهینه‌سازی هنجاری برای سیاست قیمت اوپک را توضیح می-دهند که تئوری کنترل برای انتخاب قیمت بهینه است. مدل‌های مشابه آن در ساختار بازار تفاوت فاحش دارند. Pindyck (۱۹۷۶) در رابطه با روند بهینه برای بازار انحصاری اوپک در مقایسه با روند قیمتی تحقیق می‌کند در حالی که Hyilicza (۱۹۷۶) قیمت بهینه را برای انحصار ۲ جانبه اوپک بررسی می‌کند. عدم تعادل های پویا اجازه تعدیل قیمت را می‌دهد. در مدلی که اوپک انحصارگر است، روند قیمت بهینه برای حداکثر کردن ارزش فعلی خالص سود ۳۰ ساله انتخاب شده است. در مدل انحصار ۲ جانبه برای اوپک، ۲ زیرگروه وجود دارند: کشورهای "پس اندازکننده" (عربستان سعودی، لیبی، عراق، کویت، قطر و امارات متحده عربی) و کشورهای خرج کننده (ایران، ونزوئلا، اندونزی، نیجریه و اکوادور). هنگامی که سهم محصولات ثابت هستند، روند قیمت بهینه، قیمت بهینه انحصاری را تقریب می‌زند. هنگامی که سهم محصولات در قید چانه زنی است مسئله نظریه بازی‌ها، تئوری چانه‌زنی نش (Nash) برای یافتن "مجموعه چانه زنی" و "راه حل Nash" استفاده می شود.

۲-۸- مدل قیمت‌گذاری اوپک Gately- Kyle- Fischer

این مدل از لحاظ ساختاری به سایر مدل‌های جهانی انرژی مشابه است و به سؤالات یکسانی پاسخ می‌دهد. Gately-Kyle-Fischer به سؤالات جالبی پاسخ می دهد. مدل در نوع خودش ساده است و در مقایسه با مدل Pindyck, Eckbo از جهت محصول و منطقه اختلاف دارد. تنها ۲ گروه به بحث کشیده شده‌اند. اوپکی‌ها و غیراوپکی‌ها. تنها محصول، انرژی است که برای آن یک منحنی تقاضا، یک منحنی عرضه غیراوپک و نفت خام باقی وجود دارد. تقاضا توسط تولیدات اوپک تأمین می‌شود. همچون مدل Pindyck, Eckbo این مدل پدیده‌های مهمی را که از آنها در مدل‌های بزرگ غفلت شده ترکیب می‌کند. تعدادی از آنها مثل وقفه‌های تعدیل برای تغییر قیمت در تقاضا و عرضه، نقش انتظارات در قیمت‌های آینده برای تعیین رفتار بلندمدت از سوی مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان، موجودیت تکنولوژی، تخلیه سوخت‌های

Archive of SID
www.SID.ir

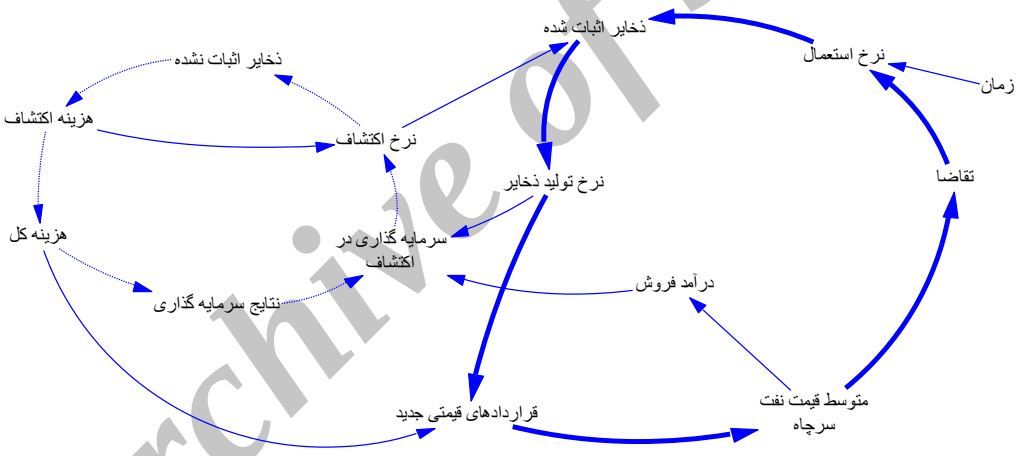
ترکیبی با هزینه پایین توسط تولیدکنندگان غیراوپک تاکنون مشابه نداشته‌اند. با توجه به دلایل ذکر شده، مدل برای ارزش‌گذاری کوتاه مدت و عدم تعادل دینامیکی مناسب است و می‌تواند سیاست‌های قیمتی اوپک را نسبتاً تعدیل کند.

۳- مدل‌های مرجع

مدل‌های پویایی سیستمی که در سال‌های ۱۹۷۶ و ۱۹۸۰ تحت قرارداد با دولت ایالات متحده توسط Naill بدست آمده است مدل‌های COAL2 (Naill 1977), FOSSIL1 (1977b) و FOSSIL2(1980) هستند. که دو مدل FOSSIL1 و FOSSIL2 ادامه و تکمیل‌کننده یکدیگر هستند. این مدل‌ها یک ساختار و رفتار پایه را به اشتراک می‌گذارند.

۳-۱- مدل انرژی برای اکتشاف و تقاضای گاز طبیعی

نمودار (۱) مهمترین حلقه‌های علّی مدل را نشان می‌دهد. مدل تنها دو متغیر حالت و سطح همبستگی میان ذخایر اثبات نشده (UPR)[1] و ذخایر اثبات شده (PR)[2] را در بر می‌گیرد. حلقه تقاضا یک حلقه منفی یا هدف‌جو می‌باشد که این نسخه برای ایجاد تعادل بین نرخ اکتشاف و میزان مصرف کاربرد دارد. نرخ تولید ذخایر (RPR)[3] مقیاسی برای سطوح نسبی عرضه و تقاضا تولیدکنندگان است که برای تثبیت این نسبت از قیمت‌های قراردادی جدید (NCP)[4] استفاده می‌کنند.



نمودار (۱) مدل سیستمی اکتشاف و تقاضا گاز طبیعی

حلقه یک، حلقه بازخوردی منفی است که ارتباط سطح ذخایر اثبات نشده، هزینه استخراج و نرخ اکتشاف را نشان می‌دهد. با تخلیه ذخایر اثبات نشده، هزینه‌های استخراج به علت کمیاب شدن گاز در هر فوت و اینکه تولیدکنندگان در مناطق کمتری قادر به یافتن این ذخایر هستند، افزایش می‌یابد. این موارد نرخ اکتشاف را کاهش می‌دهند و تخلیه ذخایر اثبات نشده را آهسته می‌کنند. افزایش در هزینه استخراج همچنین هزینه کل واحد تولید را افزایش می‌دهد که بازدهی سرمایه‌گذاری در اکتشاف را می‌کاهد. تاخیرهایی که سیستم شامل آنها می‌شوند در شکل

1 Unproven Reserves
2 Proven Reserves
3 Reserve Production Ratio
4 New Contract Price

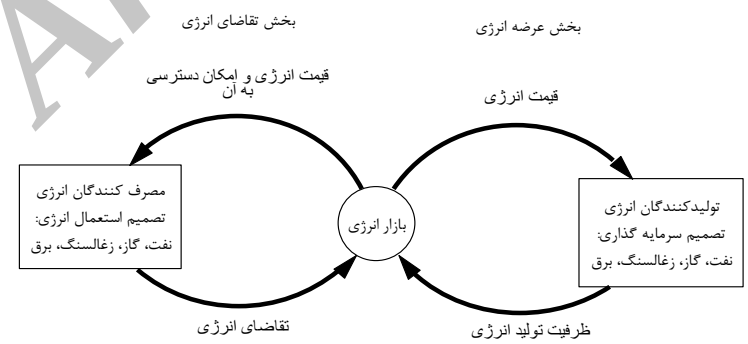
Archive of SID
www.SID.ir

حلقه‌های علّی بیان نشده‌اند. آنها عوامل اثرگذار در انتقاد از رفتار سیستم هستند. حلقه دو حلقه تقاضای مرتبط با سطح ذخایر اثبات شده، قیمت، تقاضا و نرخ استفاده است. یک افزایش در ذخایر اثبات شده؛ نسبت تولید ذخایر را به دلیل کاهش قیمت‌های جدید قراردادی، افزایش می‌دهد. نتایج کاهش قیمت در افزایش تقاضا، افزایش نرخ استعمال نمود می‌یابد که از ذخایر اثبات شده می‌کاهد. همچنین افزایش نرخ مصرف موجب افزایش درآمدهای فروش می‌شود که این قضیه موجب افزایش سرمایه‌گذاری در استخراج می‌شود. به همین منظور فرض شده که سرمایه‌گذاری در صنایع با توجه به درآمدهای آنها اختصاص می‌دهند. هنگامی که نسبت ذخایر تولید گسترش و توسعه می‌یابند، از میزان سرمایه‌گذاری در استخراج کاسته می‌شوند زیرا نیاز به اکتشافات بیشتر به صورت موقتی کاهش یافته است.

۳-۲- مدل FOSSIL2

ابزار اصلی تجزیه و تحلیل این مطالعه یک مدل سیستم دینامیکی بزرگ مقیاس برای سیستم انرژی آمریکا است که FOSSIL2 نامیده می‌شود. FOSSIL2 یک مدل شبیه‌سازی تکنولوژی است که پروژه‌های تولید انرژی، واردات، مصرف و قیمت‌های دوره ۴۰ ساله را شبیه‌سازی می‌کند. این مدل توسط سازمان انرژی آمریکا به منظور تجزیه و تحلیل بلندمدت سیاست‌های انرژی و آینده انرژی‌های جایگزین استفاده شده است. این مدل می‌تواند مانند یک مدل تعادلی بازار انرژی همچون بازارهای انرژی در طول زمان از طریق بازخوردهای میان‌مدت، تقاضا و ظرفیت تولید ایفای نقش کند. این مدل از روش تحلیلی حداقل هزینه برای مدل تقاضای انرژی آمریکا استفاده کرده است. با دنبال کردن مدل در می‌یابیم که ابتدا تقاضا برای خدمات انرژی (مثل گرما، روشنایی، بخار) و سپس سهم اختصاصی بازار مصرف نهایی را با استفاده از تکنولوژی مصرف سوخت محاسبه می‌کند.

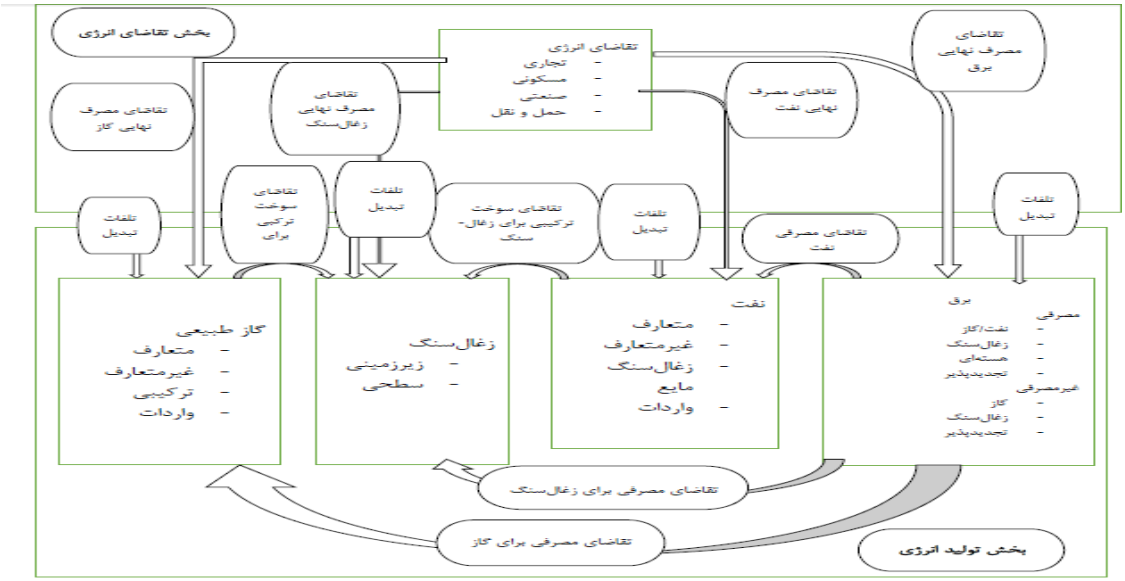
بر اساس نمودار (۲) در بخش تقاضا، مصرف‌کنندگان انرژی به منظور استفاده از نفت، گاز، زغال‌سنگ و برق بر اساس قیمت و در دسترس بودن آن سوخت تصمیم می‌گیرند. در همین راستا تولیدکنندگان انرژی نیز در رابطه با سرمایه‌گذاری در تکنولوژی تولید که نرخ بازدهی صنعت را حداکثر (یا هزینه متوسط تولید را حداقل) می‌کند، با توجه به قیود مختلفی مثل قیود زیست‌محیطی (محدودیت SO2 یا در دسترس بودن آب) یا محدودیت‌های بازار تصمیم‌گیری می‌کنند. هردو تصمیمات مربوط به مصرف نهایی یا سرمایه‌گذاری در تولید انرژی، در طول زمان به دلیل جایگیری در سرمایه و تجهیزات اتفاق می‌افتد و موجودی سرمایه فعلی، تقاضای خالص و ظرفیت برای هر سوخت را نشان می‌دهد. اگر عدم تعادلی میان تقاضا و ظرفیت تولید ایجاد شود، آنگاه قیمت‌های انرژی با استفاده از فشارهای بازار برای بازیابی تعادل، تعدیل می‌شوند. (منبع:Naill, 1992).



نمودار (۲) شمای کلی مکانیسم بازار و فعل و انفعالات میان تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان انرژی در مدل FOSSIL2

Archive of SID
www.SID.ir

سوخت تنها جزء ضروری در ارائه خدمات انرژی می‌باشد. بخش تقاضا از الگوریتم حداقل هزینه برای پیش‌بینی تصمیم‌های مصرف‌کننده در خرید تجهیزات مصرفی استفاده می‌کند.



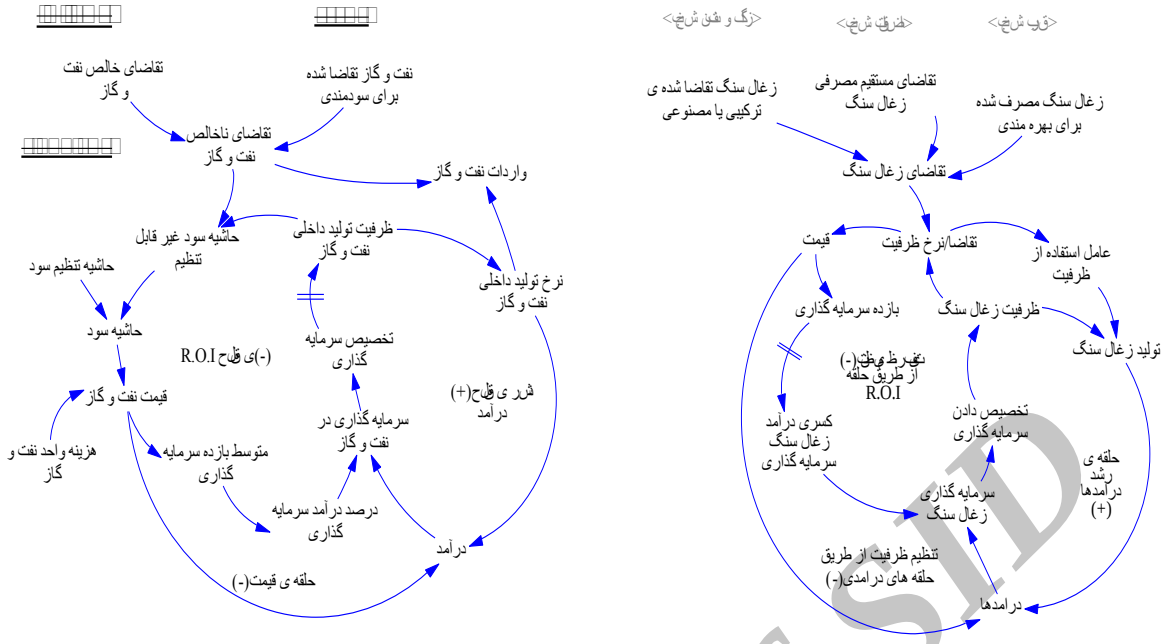
نمودار (۳) ساختار بنیادی مدل انرژی FOSSIL2

۳-۳- مدل COAL2

نمودار (۴) تقاضا را در بخش نفت و گاز، برق و زغال‌سنگ نشان می‌دهد که یک نمودار علّی - حلقوی نسبتا پیچیده است که ارتباط بین تخلیه منابع و بهره وری در مدل COAL2 (Naill, 1997) را نشان می‌دهد. برای هر دو بخش نفت و گاز و زغال سنگ؛ افزایش سود موجب افزایش درآمد و بازدهی سرمایه‌گذاری می‌شود. لذا هر دوی این عوامل موجب افزایش سرمایه‌گذاری در نفت و گاز و تجهیزات تولید زغال‌سنگ می‌شوند. نمودار (۴) از دو بخش تشکیل شده است که هر یک از این دو قسمت دارای سه حلقه‌ی مختلف هستند. نمودار سمت راست یک حلقه ی رشد درآمدی مثبت و دو حلقه ی منفی تنظیم ظرفیت دارد. نمودار سمت چپ نیز یک حلقه‌ی مثبت درآمد و دو حلقه‌ی منفی تنظیم ظرفیت و قیمت دارد.

Archive of

www.SID.ir



نمودار (۴) تقاضا در بخش نفت و گاز، برق و زغال‌سنگ

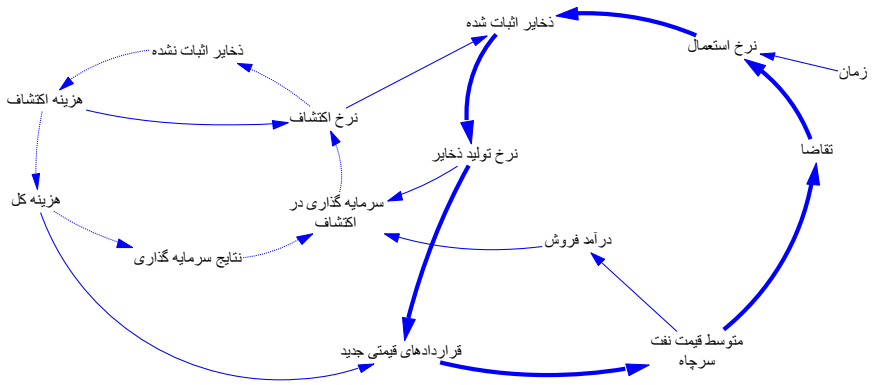
پس از طی یک تأخیر در ساخت و ساز، تجهیزات جدیدی ایجاد می‌شود که از این پس بخشی از کل ظرفیت تولید می‌باشند. طبق قانون پایه‌ی علم اقتصاد اگر ظرفیت تولید و عرضه بیش از تقاضا باشد، قیمت منابع کاهش می‌یابد که به عبارتی مازاد عرضه رخ داده است و شکاف ایجاد شده در این قسمت خود موجب نزول سرمایه‌گذاری از طریق کاهش درآمدها و بازدهی سرمایه‌گذاری می‌شود. در نهایت کاهش سرمایه‌گذاری در زغال‌سنگ، به ترتیب ذکر شده ظرفیت تولید را با تقاضا تعدیل می‌نماید. بنابراین پاسخ قیمتی بخشی از دو حلقه بازخوردی منفی است. به علاوه مکانیسم تعدیل قیمت، تغییرات در مقادیر تولید منابع، سرمایه‌گذاری را به شکل حلقه بازخوردی مثبت تحت تأثیر قرار می‌دهد. به این گونه که تولید افزایش یافته، درآمد بیشتری تولید می‌کند که به نوبه‌ی خود سبب افزایش در سرمایه‌گذاری و ظرفیت تولید خواهد شد.

یک تأخیر ساخت و ساز در بخش نفت و گاز، به مدت زمانی حدود ۵-۳ سال برای بازگشایی یک معدن جدید یا میدان نفتی (چاه) نیازمند است. در بخش زغال‌سنگ دو تأخیر وجود دارد. سرمایه‌گذاری در زغال سنگ -کسر از درآمد سرمایه‌گذاری ضربدر درآمد کل زغال‌سنگ- به صورت یکباره به افزایش نرخ بازدهی واکنش نشان نمی‌دهد، لذا یک تأخیر به وجود می‌آید. دلیلی که (Naill, ۱۹۹۷) آن را بیان می‌نماید دلیلی رفتاری است به این صورت که سرمایه‌گذاران تمایل دارند رفتار گذشته خود را با توجه به عدم اطمینان از شرایط آینده (آیین‌نامه جدید زیست‌محیطی و تغییرات جهانی قیمت سوخت) تغییر دهند؛ یعنی احتمال نادیده گرفتن افزایش نرخ بازدهی و عدم ورود سرمایه‌ی جدید به این بخش، احتمال بی‌اساسی نیست.

نمودار (۵) حلقه‌های تقاضا برای سوخت‌های فسیلی را به نمایش می‌گذارد. این نمودار دارای دو حلقه اصلی است که به دو صورت با خطوط پررنگ و نقطه‌چین مشخص شده‌اند (Naill, 1972)

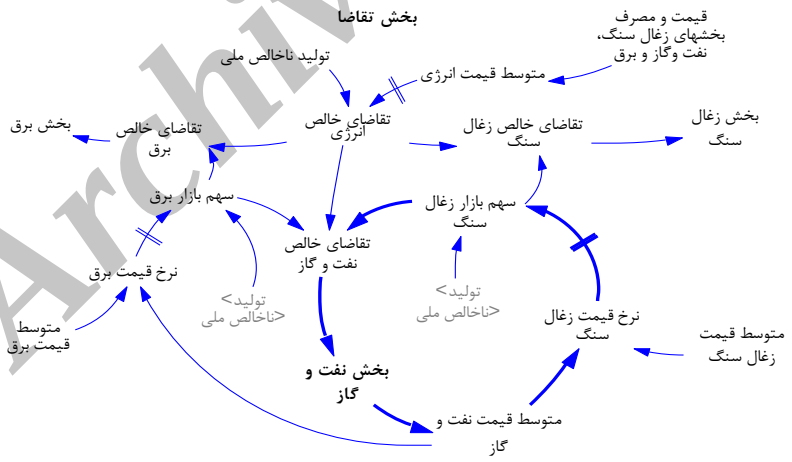
.

Archive of SID
www.SID.ir



نمودار (۵) حلقه‌های تقاضا در مدل Naill

ابزار اصلی تجزیه و تحلیل این مطالعه یک مدل سیستم دینامیکی بزرگ مقیاس برای سیستم انرژی آمریکا است که FOSSIL2 نامیده می‌شود. FOSSIL2 یک مدل شبیه‌سازی تکنولوژی است که پروژه‌های تولید انرژی، واردات، مصرف و قیمت‌های دوره ۴۰ ساله را شبیه‌سازی می‌کند. این مدل توسط سازمان انرژی آمریکا به منظور تجزیه و تحلیل بلندمدت سیاست‌های انرژی و آینده انرژی‌های جایگزین استفاده شده است. این مدل می‌تواند مانند یک مدل تعادلی بازار انرژی همچون بازارهای انرژی در طول زمان از طریق بازخوردهای میان‌مدت، تقاضا و ظرفیت تولید ایفای نقش کند. این مدل از روش تحلیلی حداقل هزینه برای مدل تقاضای انرژی آمریکا استفاده کرده است. با دنبال کردن مدل در می‌یابیم که ابتدا تقاضا برای خدمات انرژی (مثل گرما، روشنایی، بخار) و سپس سهم اختصاصی بازار مصرف نهایی را با استفاده از تکنولوژی مصرف سوخت محاسبه می‌کند. سوخت تنها جزء ضروری در ارائه خدمات انرژی می‌باشد. بخش تقاضا از الگوریتم حداقل هزینه برای پیش‌بینی تصمیم‌های مصرف‌کننده در خرید تجهیزات مصرفی استفاده می‌کند.



نمودار (۶) ساختار علّی استفاده شده برای تعیین تغییرات تقاضا

«تقاضای خالص انرژی» در اینجا متغیر کلیدی است. این متغیر، کل مصرف انرژی در اقتصاد را ارائه می‌دهد و با تقاضای انرژی ناخالص متمایز و بیشتر از آن است؛ زیرا تولید انرژی به صورت صد درصدی کارا نیست. به طور مشخص تقاضای انرژی خالص از طریق تولید ناخالص ملی (GNP) و متوسط قیمت انرژی مشخص می‌شود. تولید ناخالص ملی در مدل یک متغیر برونزاست و قیمت که وزن نفت و گاز، برق و زغال‌سنگ به همراه نرخ استفاده‌شان می‌باشد، محاسبه شده است. قیمت‌هایی که در بخش انرژی محاسبه شده است درونزا هستند. اثرگذاری قیمت

Archive of SID
www.SID.ir

انرژی بر تقاضای خالص آن با تاخیر همراه است. یعنی ممکن است مصرف‌کننده نهایی یا بنگاه‌هایی که از انرژی به عنوان کالای واسطه استفاده می‌کنند با فاصله‌ی زمانی از این تغییر قیمت‌ها مطلع گردند و تقاضای انرژی خود را تغییر دهند. تقاضای خالص انرژی تحت تاثیر اثرات درآمدی و قیمتی قرار دارد. همانگونه که از روابط درون مدل هویداست، تمامی قیمت‌ها به صورت میانگین اورده شده است و همچنین میانگین قیمت-های هر بخش از انرژی طی سال‌های مختلف به طور جداگانه برنرخ قیمت انرژی آن سال اثر می‌گذارد و رویکردی عقب‌نگر در این مورد وجود دارد. نرخ‌های قیمتی با تاخیر بر سهم بازار هر بخش انرژی اثر می‌گذارد. علاوه بر متوسط قیمت بخش برق و زغال سنگ، متوسط قیمت نفت و گاز نیز بر نرخ قیمت این دو بخش اثر دارد که می‌تواند بیانگر تاثیر مستقیم ان باشد. در واقع بین این بخش‌های انرژی در کشور رابطه جانشینی وجود دارد و طبق قوانین اقتصاد افزایش نرخ قیمتی یک کالا موجب کاهش مصرف آن و افزایش توجه بیشتری به سایر منابع انرژی می‌گردد؛ که این همان اثر جانشینی کالاهاست. در اینجا کالاهای موجود خود نهاده‌ی اولیه‌ی بخش دیگری محسوب می‌شوند و اگر سیستم دیگر، قابلیت استفاده از سوخت جایگزین را در نیروگاه یا پالایشگاه خود برای تولید انرژی نهایی داشته باشد، بحث جایگزینی انرژی‌ها مطرح می‌شود.

۴- دورنمای مدلسازی منابع انرژی

در این قسمت تعدادی از مدل‌سازی‌های شناخته شده انرژی – اقتصادی شامل FREE, COAL2, TIME(R), DICE And SGM. توضیح داده می‌شوند.

۴-۱- مدل FREE

بخش انرژی برای تولید سایر بخش‌ها تولید می‌کند در واقع به نوعی تولید واسطه‌ای دارد. سرمایه تولید انرژی در کوتاه‌مدت ثابت است و بخش انرژی تولیدش را از طریق تعدیل نرخ متغیرهای ورودی برای استفاده از ظرفیت، و در بلندمدت از طریق تغییر موجودی سرمایه ظرفیت را تعدیل می‌نماید. تمامی سوخت‌های تجدیدناپذیر این محدودیت را دارند که با تخلیه ذخایر، هزینه‌های تولیدشان افزایش می‌یابد و نرخ تخلیه ذخایر باقی‌مانده بالاتر می‌رود. تولید منابع انرژی در مدل FREE با استفاده از تابع تولید CES تبیین می‌شود.

$$EP_i = EP_{i,\cdot} * \left(\alpha_{i,r} \left(\frac{R_r}{R_{i,\cdot}} \right)^{\rho_{i,r}} + (1 - \alpha_{i,r}) EII_i^{\rho_{i,r}} \right)^{\left(\frac{1}{\rho_{i,r}}\right)} \quad (1)$$

جدول (۱) شرح متغیرهای مدل FREE

متغیر	توضیح
EP_i	تولید فعلی انرژی
$EP_{i,0}$	تولید اولیه انرژی
R_r	منابع باقی‌مانده فعلی
$R_{i,0}$	منابع باقی‌مانده اولیه
Eii_i	حجم ورودی کارا (فرم تابع کاب – داگلاس)
$\alpha_{i,r}$	سهم منبع، بالاترین حد تولید از منبع که کمترین زمان برای تخلیه تمام منابع باقی‌مانده است.
$\rho_{i,r}$	ضریب مشارکت منبع

۴-۲- مدل TIME(R)

Archive of SID
www.SID.ir

در مدل TIME(R) که توسط (De Vries And Janssen, 1977) ایجاد شده است منابع با دو اثر متضاد مدیریت می‌شوند یکی تخلیه منابع و دیگری از راه نوآوری و یادگیری. نتایج تخلیه منابع، افزایش هزینه‌های اکتشاف و استخراج منابع جدید (مثل افزایش تولید تجمعی) می‌باشد. نوآوری تکنولوژیکی که همان آموزش و یادگیری عملی است از طریق کاهش نرخ سرمایه – خروجی مورد نیاز یک اثر متضاد ایجاد می‌کند. این مدل به بخش حفاری سطحی و زیرزمینی زغال‌سنگف معدنکاری و جزئیات آن مربوط است. سرمایه‌گذاری در زغال‌سنگ بر اساس هزینه‌های نسبی نیروی کار و اثرات یادگیری تکنولوژی است. بر اساس تقاضای پیش‌بینی شده شرکت‌های زغال‌سنگ در رابطه با سرمایه‌گذاری در ظرفیت تولید تصمیم می‌گیرند. این برنامه‌ریزی بر اساس تولید مطلوب زغال‌سنگ است که تجارت خالص و تقاضای داخلی را با یکدیگر برابر می‌کند و شامل عوامل بالادستی و استنتاج با توجه به نرخ رشد سالانه برای افق زمانی ۵-۱۰ سال می‌باشد. معادله زیر ظرفیت تولید زغال‌سنگ را نشان می‌دهد.

$$CP_{cap} = \{(۱ + \theta) * CP_{demand} + CP_{trade}\} * (۱ + z)^{\tau_H} \quad (۲)$$

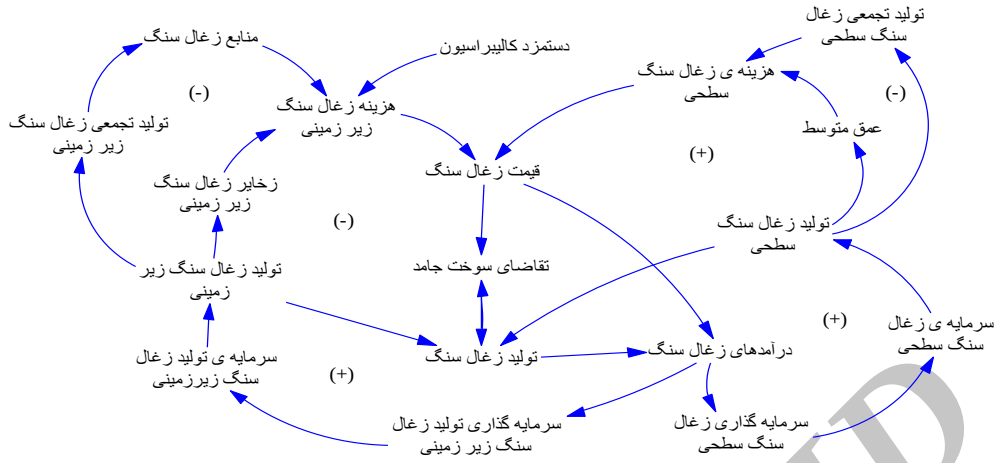
جدول (۲) شرح متغیرهای مدل TIME(R)

متغیر	شرح
CP_{cap}	ظرفیت تولید زغال‌سنگ ($GJ\ Yr^{-1}$)
θ	عوامل بالادستی
CP_{demand}	تقاضای زغال‌سنگ ($GJ\ Yr^{-1}$)
CP_{trade}	مقدار زغال‌سنگ تجارت شده ($GJ\ Yr^{-1}$)
z	نرخ رشد سالانه
τ_H	محور زمانی (۱۰-۵ سال)

نمودار (۷) حلقه‌های تقاضا – سرمایه‌گذاری – تولید – قیمت را در مدل TIME(R) نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir



نمودار (۷) ساختار بازخوردی تولید زغال سنگ در مدل TIME(R)

مهم‌ترین حلقه کوتاه‌مدت در نمودار (۷) حلقه تقاضا – سرمایه گذاری – تولید – قیمت است. تقاضاهایی که برای سوخت جامد ایجاد می‌شوند، برای ظرفیت‌های تولیدی جدید نیز ایجاد تقاضا می‌کنند. در حقیقت تقاضا برای سوخت موجب می‌شود که واحدهای تولیدی جدید ایجاد شوند و ظرفیت‌های تولید در روند افزایش تقاضا، گسترش یابند به نحوی می‌توان گفت که تقاضا موجب ایجاد عرضه شده است. سرمایه‌گذاری‌ها کسری از درآمد را که به نرخ قیمت – هزینه بستگی دارد و بین هرینه تولید پایه‌ای نرخ معدن‌کاری زیر زمینی و سطحی توزیع شده است را تشکیل می‌دهد (Vries And Janssen, 1997). تخلیه منابع و قیمت سوخت از طریق حلقه‌های بلندمدت و قیمتی که بر تقاضای بلندمدت اثر می‌گذارند، قرار دارد. Undcoal زغال سنگ زیر زمینی، Surfcoal زغال سنگ سطحی و SF سوخت جامد می‌باشد.

۴-۳- مدل DICE

مدل اولیه آن در سال ۲۰۰۰ توسط Nordhaus And Boyer ایجاد شد که بخش انرژی را شامل نمی‌شود اما در عوض انتشار گازهای آلاینده ناشی از تولیدات سوخت‌های فسیلی را به عنوان تابع خروجی اقتصاد و مالیات‌های کاهنده انتشارات را شامل می‌شود. یک تابع کاب – داگلاس نیز به همین ترتیب خروجی‌های کل اقتصاد را ارائه می‌کند. جدیدترین صورت این مدل در سال ۲۰۰۷ معرفی شد که انرژی و خروجی‌های اقتصاد را به عنوان تابعی از سرمایه، نیروی کار و انرژی مدلسازی می‌کند که تابع آن در زیر نشان داده می‌شود:

$$Q(t) = \vartheta(t)[1 - \omega(t)]K(t)^{\gamma} L(t)^{1-\gamma} A(t) \quad (۳)$$

$$E_{Ind}(t) = \sigma(t)[1 - \mu(t)]A(t)K(t)^{\gamma} L(t)^{1-\gamma} \quad (۴)$$

مدل DICE (2007) شامل دو حد انرژی محدوده فناوری و فرسایش منابع است. تکنولوژی مورد نظر در این مدل می‌تواند جایگزین تمام سوخت‌های فسیلی شود. همچنین می‌تواند به حذف کربن از اتمسفر وسازگار نمودن با محیط‌زیست یاری دهد. این تکنولوژی می‌تواند انرژی

Archive of SID
www.SID.ir

خورشیدی، هسته‌ای، برقابی، زمین‌گرمایی یا سایر چیزهایی که هنوز کشف نشده یا توسعه نیافته‌اند، باشد. مدل DICE(2007) بـرای تخلیـه کل منابع سوخت فسیلی معادله زیر را ارئه می‌کند:

$$CCum \leq \sum_{t=.}^{T_{max}} E_{Ind}(t) \qquad (۵)$$

کل منابع اقتصادی قابل دسترسی سوخت‌های فسیلی حدود ۶ تریلیون متر تن برآورد شده است (Nordhaus, 2008). این مئل فرض مـی-کند که افزایش هزینه‌های استخراج صفر است و اینکه سوخت کربن به طور مطلوب در طول زمان توسط بازار اختصاص داده می‌شود.

جدول (۳) شرح متغیرهای مدل DICE

متغیر	شرح
$\vartheta(t)$	دوره آسیب آب و هوایی
$\omega(t)$	هزینه‌های جلوگیری
$K(t)$	سرمایه جهانی
$L(t)$	نیروی کار جهانی
$A(t)$	تغییرات فنی
$\sigma(t)$	سطح غلظت کربن
$\mu(t)$	نرخ کاهش انتشارها

۴-۴- مدل SGM[۵]

این مدل‌ها که به نسل دوم مدل‌ها مشهور هستند مدل‌های تعادل عمومی قابل محاسبه می‌باشند که برای تجزیه و تحلیل مسائل انرژی، اقتصاد و انتشار گازهای گلخانه‌ای کاربرد دارند. این مدل تولید انرژی و استفاده از جزئیات قابل توجه را مدل می‌کند. از انجایی که CO_2 مهمتـرین گـاز گلخانه‌ای است، مدل برای بهبود تولید ، حمل و نقل و استفاده انرژی موثر است (Edmonds Et Al, 2004). مجموعه‌ای از توابع تولید کـل تولید را در مدل معین می‌کنند و ستانده Y در فعالیت تولید به نهاده X_i بستگی دارد.

$$Y = F(X_1, X_2, X_3, \ldots, X_n) \qquad (۶)$$

X_i تمامی متغیرهایی که از ۲۱ بخش اقتصادی در مدل، می‌آیند. تابع F() برای هر ستانده متفاوت است و Y احتمالا تابع ساده ای از توابع کاب – داگلاس یا پیچیده، فرمول سلسه مراتبی – توابع تولید، سرمایه، سودها از منابع و تولید کالاها و مکانیسم تخلیه مـی‌باشـد کـه در فصـل ۶ از مطالعه Brenkert Et Al (2004) آمده است. مدل نسل دوم تولید ذخایر انرژی را نشان می‌دهد و تغییرات تابع تولید کاب – داگـلاس را در طول زمان تعیین می‌کند. مکانیسم تخلیه از ذخایر نسبتا ساده است و در Brenkert Et Al (2004) آمده است که به صورت تخلیه منابع در دوره زمانی فعلی برای اهداف مصرفی هست بنابراین تخلیه = مصرف اینجا وجود دارد. بر اساس محاسبات، مصرف بر اساس تقاضای پـیش‌بینـی

5 Second Generation Model

Archive of SID
www.SID.ir

شده در پنج سال آینده است. یک بررسی تضمین می‌کند که مصرف پیش‌بینی شده از تولید موجود تجاوز نمی‌کند و اگر چنین شد تقاضا به منظور هماهنگی با ظرفیت تولید، کاهش می‌یابد. نهایتا سطوح منابع انرژی برای تطبیق با انرژی مصرف شده کاهش یافته است. سرمایه‌گذاری در سرمایه به دوران پیشین وابسته است که روابط پیچیده ریاضی را در مدل SGM ایجاد می‌کند. سرمایه‌گذاری در سرمایه تولید انرژی در Brenkert Et Al (2004)آورده شده است و محاسبات آن به صورت استادانه‌ای درست شده است. بهرحال دو معادله مهمترین انها در سرمایه‌گذاری تولید سوخت فسیلی هستند:

$$Eqdep_j = xnp_j * \alpha_{.,j,jj,v} * Z_{j,jj,v} * \alpha_{i=۲۶,j,jj,v}^{\frac{۱}{۱-\rho}} * KA_{j,jj,t} \quad (۷)$$

$$I_j = \tau_{K\,j} * Tech_{j,v} * Z_{j,v} * KA_{j,t} \quad (۸)$$

جدول (۴) شرح متغیرهای مدل SGM

متغیر	شرح
I_j	سرمایه‌گذاری کل در بخش J
τ_{Kj}	طول عمر سرمایه
$Tech_{j,v}$	تغییرات تکنولوژیکی
$KA_{j,t}$	سرمایه پیشین V نصب شده کنونی
$Z_{j,v}$	مشارکت عوامل متغیر

مدل با قیمت‌های انتظاری در معادله انتظاری سود و در کشش بلندمدت محاسبه شده است.

۴-۵- مدل COAL2

مدل COAL2 یک مدل اقتصاد - انرژی - سیستم دینامیکی است که یک بخش تقاضا و سه بخش عرضه را شامل می‌شود. عرضه شامل عرضه نفت و گاز، زغال‌سنگ و برق می‌باشد.این مدل به طور صریح به شبیه‌سازی قواعد گوناگون در اقتصاد آمریکا می‌پردازد و برای خروج اقتصاد این کشور از وابستگی به واردات نفت ایجاد شده است. این مدل دارای فروض پایه برای عرضه منابع انرژی است که به آنها اشاره می‌شود:

۱. تولید داخلی انرژی توسط ظرفیت خروجی امکانات تولید و ظرفیت مصرف تخمین زده می‌شود.

۲. ظرفیت تولید به موارد زیر وابسته است:

- قرارداد نفت و گاز - سرمایه، منافع
- نفت و گاز ترکیبی - سرمایه R&D، زغال‌سنگ در دسترس
- برق - سرمایه، تعدیلات زیست‌محیطی، در دسترس بودن سوخت

Archive of SID
www.SID.ir

- زغال‌سنگ - سرمایه، نیروی کار، منابع، محیط‌زیست و استانداردهای ایمنی.

۳. توانایی نفت و گاز، برق و زغال‌سنگ برای ایجاد سرمایه‌گذاری سرمایه جدید از منابع داخلی و خارجی محدود است.

۴. موجودی محدودی از منابع نفت، گاز و زغال‌سنگ در ایالات متحده وجود دارد. با تخلیه منابع، بهره‌وری موجودی سرمایه کاهش می‌یابد (نسبت سرمایه به محصول افزایش می‌یابد).

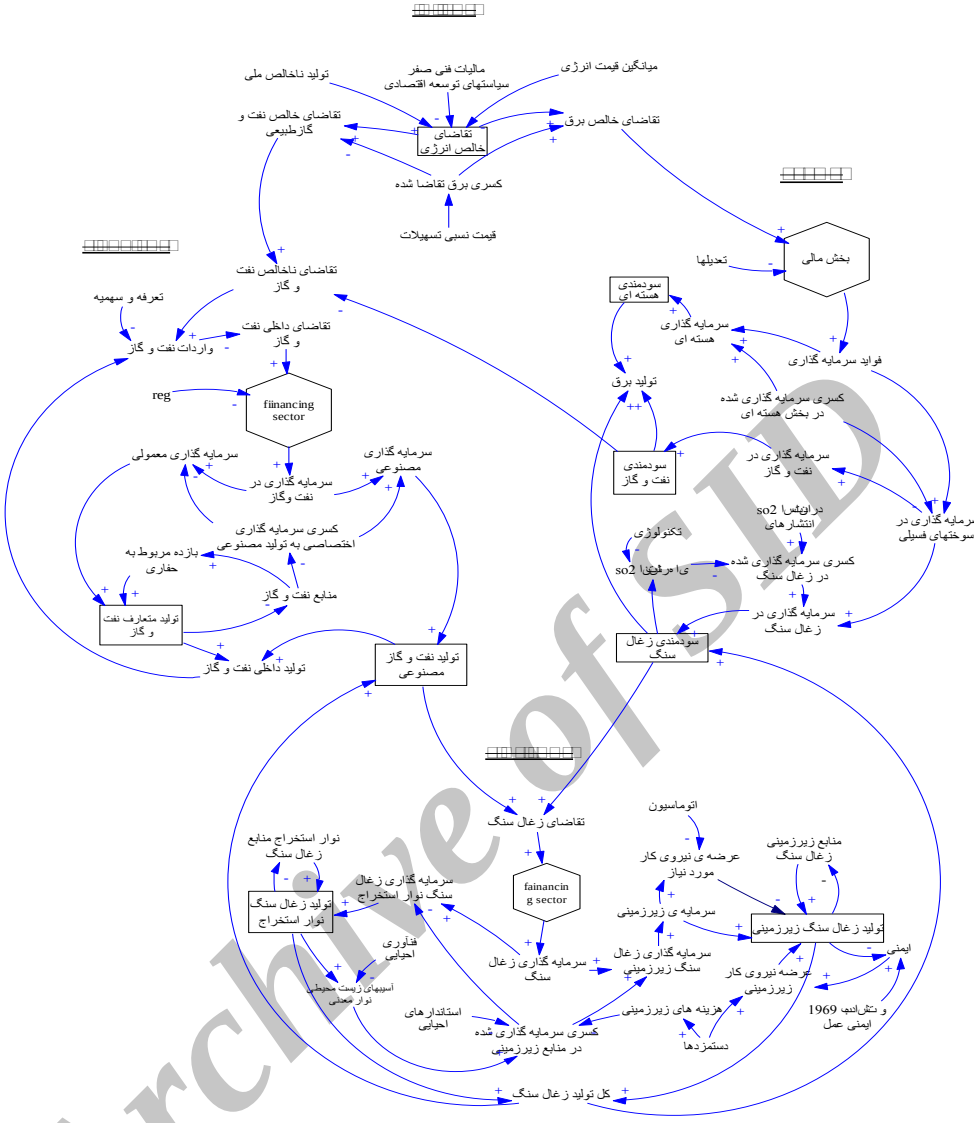
۵. تاخیرهای غیرقابل اجتناب، پاسخ‌گویی عرضه انرژی را محدود می‌سازند: به عنوان مثال تاخیرهای ساخت و ساز ۳ تا ۱۰ سال، تاخیرهای R&D، استخدام نیروی کار زغال‌سنگ زیرزمینی و تاخیرهای موجود در زیر بخش سرمایه‌گذاری.

۶. همانگونه که ظرفیت تولید نفت و گاز از تقاضا عقب می‌افتد، کمبود با استفاده از واردات نفت جبران می‌شود.

معادلات مربوط به مدل COAL2 در زبان DYNAMO نوشته شده‌اند و در ضمیمه Naill (1977) وجود دارند. منابع نفت و گاز آمریکا رو به اتمام هستند ولی در عین حال ذخایر زغال‌سنگ خوبی در این کشور وجود دارد، لذا مدل COAL2 در تلاش است سیاست‌هایی را برای انتقال این کشور از واردات نفت و گاز به سمت منابع داخلی زغال‌سنگ طراحی کند. سیاست‌های در نظر گرفته شده شامل طرحی برای تسریع ساخت نیروگاه‌های انرژی هسته‌ای، افزایش وابستگی به ذخایر زغال‌سنگ، تحمیل سهمیه‌بندی واردات نفت، مقررات‌زدایی قیمت نفت، اصلاح نرخ استفاده از برق، تسریع بخشیدن به تحقیق و توسعه سوخت مصنوعی یا کاهش مصرف انرژی و غیره است. بخش تقاضا در بالا و بخش‌های عرضه در زیر قرار دارند که از یک جهت منابع فیزیکی و از جهت دیگر کشف و تخلیه، ظرفیت تولید یا استخراج داخلی و تصمیمات مالی برای تخصیص بودجه داخلی برای تولیدات جدید را (از طریق تبدیل زغال‌سنگ به سوخت‌های ترکیبی) نشان می‌دهند. بخش نفت و گاز در این نمودار به صورت یک بخش واحد در نظر گرفته شده‌اند زیرا اولا هردو جزء اقلام وارداتی هستند و از سوی دیگر هردو نیز در داخل کشور تولید می‌شوند. بخش مالی تصمیماتی مثل هزینه‌های سرمایه، هزینه‌های سوخت و تعدیلات محیط‌زیستی را در پی دارد. تولید انرژی منجر به تخلیه منابع باقی‌مانده و همچنین کاهش بهره‌وری سرمایه می‌شود. Naill (1977: 57) مشاهداتی که کاهش بهره‌وری سرمایه را به صورت تولید کمتر نفت و گاز، مخازن با بهره‌وری پایین‌تر و کاهش میادین قابل حفاری منجر می‌شوند، مدلسازی کرد. ظرفیت‌های تولید منابع حداکثر تولید را تعیین می‌کنند.

Archive of SID

www.SID.ir



نمودار (۸) ساختار علّی مدل COAL2

۵- نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر تلاش های زیادی برای فرموله کردن و بکارگیری استراتژی‌های برنامه‌ریزی انرژی در کشورهای در حال توسعه صورت گرفته است. از جمله مسائل گریبانگیر این کشورها می‌توان به وابستگی شدید آنها به منابع سنتی انرژی اشاره نمود که این امر خود باعث بروز مشکلاتی از قبیل تخریب سریع جنگل‌ها و غیره گردیده است. از این رو حجم وسیعی از اطلاعات برای توصیف روابط بین پارامترها و ابزار گوناگونی برای تحلیل موارد مختلف مورد نیاز می‌باشد تا بتوان به کمک آنها به نتایج متعددی دست یافت که بتوانند محققین را در انجام فرآیند طراحی یاری رسانند. شاخص میزان مصرف سرانه انرژی بعنوان یکی از شاخص‌های مهم در کیفیت زندگی، در دهه‌های اخیر روند روبه رشدی را داشته است، که نتیجه اصلی این پدیده، افزایش تقاضای انرژی است. ولی استفاده از تکنولوژی‌های ناکارآمد سنتی و اکتفا نمودن به منابع محلی محدود نمی‌تواند پاسخگوی این میزان تقاضای انرژی باشد. استفاده از مدل‌های انرژی منجر به توسعه برنامه‌ریزی‌های مربوط به عرضه و

Archive of SID
www.SID.ir

انتقال انرژی و پیش‌بینی و بهینه‌سازی منابع انرژی می‌شود. روش‌های مناسبی برای انجام نمونه گیری‌های آماری صورت گرفته که به کمک آنها می‌توان نیازمندی‌ها را بطور بخشی تخمین و برنامه‌ریزی نمود. در این نوشتار به مقوله مدلسازی انرژی و معرفی برخی از مهم‌ترین مدل‌ها در زمینه عرضه و تقاضای انرژی پرداخته شده است. در این مقاله مدل‌های گوناگون انرژی که در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته اند، مرور گردیدند. مطابق با مطالب ذکر شده استفاده از نسل سوم مدل‌ها و روش‌های پویایی سیستمی که قابلیت در نظر گرفتن ابعاد مختلف، چندین بخش، عرضه و تقاضا و تولید انواع انرژی را به صور همزمان دارا هستند، نسبت به بقیه روش‌ها دارای مزیت بوده و استفاده از این روش‌های مدل-سازی می‌تواند نگاهی جامع در رابطه با تمامی حامل‌های انرژی، بخش‌های مصرفی، تولیدی و سیاست‌های کاربردی برای کشور را فراهم کند.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

۱. مونا گلچین‌پور (۱۳۹۰)، مدیریت موثر بخش انرژی کشور با بکارگیری مدل‌های انرژی، معاونت برنامه‌ریزی وزارت نفت، ماهنامه اکتشاف و تولید، شماره ۸۰، صص ۱۶-۱۱.

۲. سازمان کشورهای صادرکننده نفت با نام اختصاری «اوپک» www.opec.org

۳. شرکت ملی گاز ایران www.nigc.ir/portal

۴. وزارت نیرو http://www.moe.gov.ir/

5. Ben – Shahar, H. Oil: Prices And Capital. Lexington Books, Lexington, Mass., 1976.
6. Eckbo, P. L. The Future Of World Oil. Ballinger Publishing Co., Cambridge, Mass., 1976.
7. Exxon Corporation, Public Affairs Department. "World Energy Outlook." January 1977.
8. Fischer, D. "A Dynamic Model To Calculate Optimal Price Strategies For Association Of Raw Material Exporting Countries With Special Reference To Opec." Unpublished Ph.D. Dissertation, New York University, 1975 (Available From University Microfilms, Ann Arbor, Michigan).
9. Fischer, D. Gately And J.F. Kyle. "The Prospects For Opec: A Critical Survey Of Models Of The Worls Oil Market." Journal Of Development Economics 2 (1975), 86-363.
10. Gately, D. And J.F. Kyle In Association With D. Fixcher. "Strategies For Opec's Pricing Decisions."European Economic Review. December, 1977.
11. Nail R.F. (1972) "Managing The Discovery Life Cycle Of A Finite Resxource: A Case Study Of U.S. Natural Gas" Submitted In Partial Fulfilment Of The Requirements For The Degree Of Master Of Science At The Massachusetts Institute Of Technology.
12. Nail R.F., Belenger Sh., Klinger A., And Petersen E., (1992) "An Analysis Of The Cost Effectiveness Of U.S. Energy Policies To Mitigate Global Warming" System Ddynamics Review, 8, 111-128.
13. Nail R.F. (1992) "A System Dynamics Model For National Energy Policy Planning" System Dynamics Review, 8, Pp1-19.
14. Sterman John D, (2000), Business Dynamics Systems Thinking And Modeling For A Complex World, Massachusetts Institute Of Technology Sloan School Of Management.
15. De Vries, B. J. M. Et Al. (2001). The Targets Image Energy Regional (TIMER) Model: Technical Documentation. The IMAGE Project, Department Of International Environmental Assessment, National Institute Of Public Health And The Environment (RIVM), Bilthoven, The Netherlands.
16. Edmonds, J., Pitcher, H., and Sands, R. (2004). Second Generation Model 2004 (SGM): An Overview. Joint Global Change Research Institute, Pacific Northwest National Laboratory, College Park, MD.
17. Davies, E. G. R. and Simonovic, S. P. (2008). An Integrated System Dynamics Model for Analyzing Behaviour of the Social-Economic-Climatic System: Model Description and Model Use Guide. Facility for Intelligent Decision Support, Department of Civil and Environmental Engineering, the University of Western Ontario, London, Ontario, Canada.
18. Randers, J. (1980). Elements of the System Dynamics Method. The MIT Press, Cambridge, MA.
19. Sterman, J. D. (2000). Business Dynamics Systems: Thinking and modeling for a complex world. McGraw-Hill.
20. Fiddaman, T. S. (1997). Feedback complexity in integrated climate-economy models. Doctoral Thesis.
21. Alfred P. Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology, Boston, Massachusetts.
22. Forrester, J. W. (1961). Industrial Dynamics. John Wiley and Sons, Inc., New York, N.Y. 464 pages.

Archive of SID

www.SID.ir

23. Nordhaus William D. (1994), **Managing the global commons: The economics of climate change,** MIT Press, Cambridge, MA.
24. Popp David, (2004), ENTICE: endogenous technological change in the DICE model of global warming. Journal of Environmental Economics and Management 48. PP742–768.

Archive of SID

www.SID.ir