روش‌شناسی برنامه‌ریزی انرژی

داود منظور*[۱]، وحید ماجد[۲]

تاریخ دریافت مقاله:
۱۳۹۰/۴/۷
تاریخ پذیرش مقاله:
۱۳۹۰/۷/۱۸

چکیده:

با توجه به نقش انرژی به عنوان یکی از نهاده‌های اصلی تولید، هرگونه تصمیم‌گیری در این زمینه اقتصاد کشورها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بر این مبنا، تصمیم‌گیری در مورد آن نیازمند اطلاع از شرایط عرضه و تقاضای انرژی و پیش‌بینی و برآورد روند آنها در کنار تغییرات تکنولوژیک در عرضه، تبدیل و مصرف انرژی است. این امر یک برنامه‌ریزی جامع،گسترده و پیچیده را نیازمند است که از آن با عنوان برنامه‌ریزی انرژی یاد می‌شود. برنامه‌ریزی انرژی به مجموعه فعالیت هایی اطلاق می‌شود که در سطح کلان مطالعه ارتباط متقابل بین بخش انرژی و سایر بخش‌های اقتصادی اجتماعی با تاکید بر ملاحظات زیست محیطی جهت ایجاد هماهنگی بین عرضه و تقاضا و سیستم های انرژی در مناطق مختلف در سطوح محلی، ملی، منطقه‌ای و جهانی با ارزیابی محدودیت های سیستم انرژی است.گسترش قابل توجه روش‌های ریاضی و تکنیک های محاسبه در کنار سرعت روزافزون پیشرفت های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری رایانه‌ای و گسترش روش‌های جمع‌آوری آمار که به افزایش کمیت و کیفیت آمار و داده های دنیای واقع منجر شده است، ابزارهای مناسبی را در زمینه برنامه ریزی انرژی فراهم آورده و به بهبود آنها کمک شایانی نموده است. با توجه به اینکه ایران سهم بالایی از منابع انرژی دنیا را در اختیار دارد ولی با توجه به روند مصرف حامل‌های انرژی در مقایسه با استانداردهای جهانی و پایین بودن نرخ بازده انرژی در کشور، برنامه‌ریزی انرژی در سطح ملی و محلی از الزامات سیاستگذاری بخش انرژی می‌باشد. در این مقاله ضمن معرفی ابزارها و مفاهیم اساسی در برنامه ریزی انرژی، طبقه بندی مدل های انرژی برحسب رویکرد مدل به لحاظ استقرایی یا قیاسی بودن، افق زمانی، پوشش بخشی، رویکرد مدل به لحاظ استفاده از روش‌های بهینه‌یابی یا شبیه‌سازی، سطح همفزونی و پوشش جغرافیایی مدل ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. از معیارهای دیگر طبقه‌بندی مدل‌ها می‌توان به روش‌های ریاضی مورد استفاده، شدت نیاز به داده‌ها و اطلاعات، درجه پیچیدگی مدل، و انعطاف‌پذیری اشاره کرد.

کلمات کلیدی:
برنامه‌ریزی انرژی، برنامه‌ریزی بالا به پائین، برنامه‌ریزی پائین به بالا، منحنی یادگیری فن آوری، مدل انرژی-اقتصاد-محیط زیست، نظریه بازی‌ها

۱) استادیار دانشکده اقتصاد دانشگاه امام صادق (ع) manzoor@isu.ac.ir
۲) دانشجوی دکتری اقتصاد دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران majed@ut.ac.ir
* نویسندهٔ مسئول

مقدمه

در دهه‌های اخیر با توجه به رشد روز افزون اقتصاد و نقش پیچیده انرژی در این زمینه، نمی‌توان تصمیمات مربوط به انرژی را به سادگی اتخاذ کرد. زیرا به دلیل نقش انرژی به عنوان یکی از نهاده‌های اصلی تولید، هرگونه تصمیم در این زمینه اقتصاد کشورها را تحت تاثیر قرار خواهد داد. در اواخر دهه ۷۰ با بروز بحران نفت در دنیا این مشکل بشدت تشدید شد. در این هنگام، کشورهای توسعه یافته به مطالعه روش‌های کاهش وابستگی اقتصاد به انرژی‌های فسیلی و افزایش امنیت عرضه انرژی خود روی آوردند. با این هدف، مدل‌های بسیاری در زمینه انرژی و تعاملات آن با اقتصاد ساخته شد. به مرور زمان با افزایش مصرف انرژی و اثرات زیست محیطی آن، توجه مدل‌سازان انرژی به اثرات همزمان انرژی، اقتصاد و مسائل زیست محیطی جلب شد. بنابراین، در حال حاضر اغلب مدل‌های ساخته شده به صورت یکپارچه به بررسی مسائل مربوط به انرژی از قبیل عرضه، تقاضا و قیمت‌های انرژی، اقتصاد و اثرات زیست محیطی مصرف انرژی پرداخته‌اند.

گسترش قابل توجه روش‌های ریاضی و تکنیک های محاسبه در کنار سرعت روزافزون پیشرفت های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری رایانه‌ای و گسترش روش‌های جمع‌آوری آمار که به افزایش کمیت و کیفیت آمار و داده های دنیای واقع منجر شده است، ابزارهای مناسبی را در زمینه برنامه ریزی انرژی[۱] فراهم آورده است.

برنامه‌ریزی انرژی، فرایند توسعه سیاست های بلندمدت برای کمک به سیستم انرژی محلی، ملی، منطقه‌ای و یا جهانی و هدایت سیستم مذکور است (*IIASA, 2005*). در واقع، برنامه‌ریزی انرژی به مجموعه فعالیت هایی اطلاق می‌شود که در سطح کلان مطالعه ارتباط متقابل بین بخش انرژی و سایر بخشهای اقتصادی اجتماعی با تاکید بر ملاحظات زیست محیطی جهت ایجاد هماهنگی بین عرضه و تقاضا و سیستم های انرژی در مناطق مختلف در سطوح محلی، ملی، منطقه‌ای و جهانی با ارزیابی محدودیت های سیستم انرژی است و در این راستا، بر ایجاد توازن بین شبکه های تولید، انتقال و توزیع انواع حامل‌های انرژی با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی تاکید دارد. برنامه‌ریزی انرژی، در سطح خرد بر سازماندهی فعالیت‌های عاملین اقتصادی در جهت اهداف برنامه ریزی بخشی با تاکید بر ملاحظات زیست محیطی متمرکز است که در نهایت، به شبیه سازی سیستم انرژی مورد مطالعه (محلی، ملی، منطقه‌ای و یا جهانی) می‌انجامد.

ضرورت برنامه ریزی انرژی

میزان مصرف انرژی در جهان در هر دهه به دو برابر افزایش یافته و پیش بینی شده است که طی سال های ۲۰۰۵ تا سال ۲۰۲۵، روند مصرف انرژی در جهان به میزان ۵۴ درصد افزایش خواهد یافت. جالب توجه اینکه در این چشم انداز، بیشترین میزان مصرف انرژی به کشورهای در حال توسعه‌ای مثل ایران اختصاص دارد.

میزان ذخایر اثبات شده و قابل استحصال نفت ایران ۱۳۷ میلیارد و ۶۰۰ میلیون بشکه می‌باشد[۲] که پس از ذخایر ۲۵۹

---

۱) Energy Planning

۲) گزارش سال ۲۰۱۰ اداره اطلاعات انرژی آمریکا

میلیارد بشکه‌ای عربستان در جایگاه دوم اوپک قرار دارد.مصرف نفت خام ایران در سال ۲۰۰۹ نیز ۲۰هزار بشکه در روز نسبت به سال ۲۰۰۸ کاهش داشته و به ۱,۷۴۱ میلیون بشکه در روز رسیده است. مصرف نفت خام ایران در سال ۲۰۰۸ بالغ بر ۱,۷۶۱ میلیون بشکه در روز بوده است. کل مصرف نفت ایران در سال ۲۰۰۹معادل ۲,۲ درصد کل مصرف جهانی بوده است که بدین ترتیب، ایران به عنوان سیزدهمین مصرف‌کننده نفت خام در جهان شناخته شده است. امریکا با ۱۸,۶۹ میلیون بشکه در روز در رتبه اول و چین با ۸,۶۲ میلیون بشکه در روز در رتبه دوم و ژاپن با ۴,۳۹ میلیون بشکه درروز در رتبه سوم قرار دارند[۱].

حجم ذخایر گاز طبیعی ایران ۲۹,۶۱ تریلیون مترمکعب طبق آمارهای سال ۲۰۰۹ است که بر این مبنا، در جایگاه دومین کشور دارنده ذخایر گاز طبیعی می‌باشد. روسیه با دارابودن ۴۴,۳۸ تریلیون متر مکعب گاز طبیعی در جایگاه اول جهان قرار دارد. ذخایر گازی روسیه معادل ۲۳,۷ درصد کل ذخایرگازی جهان است. این رقم برای ایران ۱۵,۸ درصد است و قطر با ۲۵,۳۷ تریلیون متر مکعب معادل ۱۳,۵ درصد در جایگاه سوم قرار گرفته است.

ایران چهارمین تولیدکننده بزرگ گاز طبیعی در جهان شناخته می‌شود. میزان تولید گاز طبیعی ایران در سال ۲۰۰۹ با افزایش ۱۳,۱ درصدی نسبت به سال قبل از آن به ۱۳۱,۲ میلیارد متر مکعب رسیده است. این رقم در سال ۲۰۰۸ بالغ بر ۱۱۶,۳ میلیارد متر مکعب اعلام شده بود. سهم ایران در تولید جهانی گاز در سال ۲۰۰۹، ۴/۴ درصد بوده که بدین ترتیب به عنوان چهارمین کشور بزرگ تولید کننده گاز شناخته شده است. آمریکا با ۲۰,۱ درصد، روسیه با ۱۷,۶ درصد و کانادا با ۵,۴ درصد به ترتیب در رتبه های اول تا سوم قرار گرفته اند.

این در حالی است که مصرف گاز طبیعی در ایران از تولید آن پیشی گرفته است. بر اساس گزارش‌های جهانی، میزان مصرف گاز طبیعی ایران در سال ۲۰۰۹ به میزان ۵۰۰ میلیون متر مکعب بیشتر ازتولید این محصول بوده است. مصرف گاز طبیعی ایران در سال ۲۰۰۹ با رشد ۱۰,۷ درصد نسبت به سال قبل از آن به ۱۳۱,۷ میلیارد متر مکعب رسیده است. ایران با سهم ۴,۵ درصدی از کل مصرف جهانی، سومین مصرف کننده گاز طبیعی در جهان است. آمریکا با سهم ۲۲,۲ درصدی در رتبه اول و روسیه با ۱۳,۲ درصد در رتبه دوم قرار دارند.[۲]

ایران در سال ۲۰۰۹ بیشتر از صادرات خود گاز وارد کرده است. گزارش شرکت بریتیش پترولیوم، ایران را واردکننده گاز در سال ۲۰۰۹ معرفی کرده است. بر اساس این گزارش، ایران در سال ۲۰۰۹ حدود ۰,۴۲ میلیارد مترمکعب گاز به جمهوری آذربایجان و ۵,۲۵ میلیارد مترمکعب گاز به ترکیه صادر کرده است و در مقابل ۰,۴ میلیارد مترمکعب گاز از جمهوری آذربایجان و ۵,۷۷ میلیارد مترمکعب گاز از ترکمنستان وارد کرده است. مجموع صادرات گازایران ۵,۶۷ میلیارد مترمکعب و

---

۱) BP Statistical Review of World Energy, 2010

۲) Ibid

مجموع واردات ایران ۶,۱۷ میلیارد مترمکعب بوده است که بدین ترتیب می توان گفت در مجموع ایران ۰,۵ میلیارد مترمکعب واردات خالص گاز در سال۲۰۰۹ داشته است[۱].

با اینکه ایران سهم بالایی از منابع انرژی دنیا را در اختیار دارد ولی روند مصرف حامل‌های انرژی در مقایسه با استانداردهای جهانی و پایین بودن نرخ بازده انرژی در کشور از یک سو و عدم پاسخگویی منابع موجود به نیازهای آتی با روند کنونی از سوی دیگر، کشور را با چالش‌های اساسی در آینده نزدیک روبرو خواهد نمود. جدول شماره (۱) و نمودار شماره (۱) برخی از شاخص‌های مرتبط با تولید و مصرف انرژی در ایران و چند کشور دنیا را به نمایش می‌گذارند.

با توجه به آمار جدول شماره (۱) و روند نشان داده شده در نمودار شماره (۱) مشخص می‌شود که مصرف انرژی در ایران بسیار بالاتر از متوسط های جهانی است و اگر میزان انرژی صرف شده برای تولید هر واحد GDP که در جدول شماره (۱) آورده شده است را مد نظر قرار دهیم، مشخص می‌شود که کارایی انرژی در ایران بسیار پایین بوده و از طرف دیگر با توجه به روند نمودار شماره (۱) مشاهده می‌شود که تقاضای انرژی در کشور با نرخ فزاینده‌ای در سال‌های اخیر در حال رشد بوده است که این شواهد، ضرورت برنامه ریزی انرژی در کشور را بیش از پیش آشکارتر می‌نماید. برنامه ریزی انرژی در کنار سایر ابزارهای اقتصادی و فنی و مهندسی می‌تواند در برقراری تعادل بین عرضه و تقاضای انرژی در کنار مدیریت تقاضای انرژی به استفاده بهینه از منابع و تامین انرژی بلندمدت کشور کمک نماید.

علاوه بر موارد اشاره شده، آمارها حاکی از آن است که مصرف فرآورده های نفتی در ایران در کمتر از دو دهه به ۳ برابر افزایش پیدا کرده و متوسط مصرف سالانه انرژی در ایران از رشدی حدود ۱۰ درصد برخوردار است. از سوی دیگر، مصرف نادرست و اتلاف غیرمنطقی و نامعقول انرژی، هزینه های میلیاردی برای کشور در پی داشته است. لذا این امر نیز به نوبه خود لزوم برنامه ریزی انرژی در کشور را آشکارتر می‌سازد. در این راستا، باید شناخت جامعی از برنامه‌ریزی انرژی، روش‌ها و ابزار آن حاصل شود تا کارشناسان حوزه برنامه‌ریزی و نهادهای مرتبط با آشنایی کامل و جامع، روش صحیح و اصولی که هم با ساختار بخش انرژی کشور و هم با وضعیت اقتصادی و اجتماعی و هم با میزان در دسترس بودن اطلاعات و داده‌های لازم باشد، به انتخاب مدل برنامه‌ریزی کشور بپردازند. بر همین مبنا، در ادامه به روش‌شناسی برنامه‌ریزی انرژی و ابزارهای آن به صورت اجمالی پرداخته می‌شود.

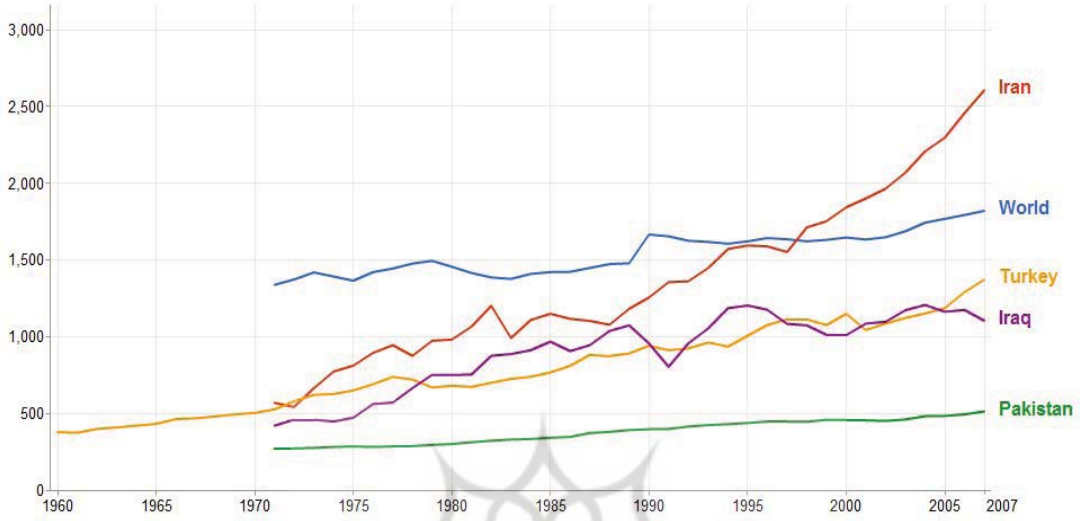
---

۱) Ibid

جدول شماره ۱) تولید ناخالص داخلی، جمعیت، عرضه انرژی اولیه و مصرف نهایی انرژی در کشورها و مناطق مختلف جهان در سال ۲۰۰۷

نام کشور	تولید ناخالص داخلی براساس (میلیارد دلار)[1]		جمعیت (میلیون نفر)	عرضه انرژی اولیه(میلیون تن معادل نفت خام)	مصرف نهایی انرژی (میلیون تن معادل نفت خام)	سرانه (تن معادل نفت خام / نفر)		میزان انرژی لازم برای هر واحد تولید ناخالص داخلی (میلیارد دلار/میلیون تن معادل نفت خام)	
	نرخ ارز	برابری قدرت خرید				عرضه انرژی اولیه	مصرف نهایی انرژی	نرخ ارز	برابری قدرت خرید
OECD	۳۰۱۰۹٫۶	۳۲۳۶۰٫۹	۲۲۸۵٫۳	۵۴۹۷٫۱	۳۳۸۰٫۹	۲٫۴	۱٫۵	۰٫۱۱۲	۰٫۱۰۴
آمریکای شمالی	۱۳۰۹۲٫۴	۱۳۶۸۴٫۱	۴۴۰٫۷	۲۷۹۳٫۶	۱۷۱۷٫۱	۶٫۳	۳٫۹	۰٫۱۳۱	۰٫۱۲۵
ژاپن	۵۲۰۵	۳۶۲۰٫۲	۱۲۷٫۸	۵۱۳٫۵	۲۹۹٫۴	۴	۲٫۳	۰٫۰۵۸	۰٫۰۸۳
کره	۷۰۵٫۷	۱۰۶۵٫۸	۴۸٫۵	۲۲۲٫۲	۱۱۲٫۲	۴٫۶	۲٫۳	۰٫۱۵۹	۰٫۱۰۵
ترکیه	۳۷۱٫۸	۸۲۱	۷۳٫۹	۱۰۰	۷۰٫۶	۱٫۴	۱	۰٫۱۹۰	۰٫۰۸۶
نروژ	۱۹۸٫۱	۱۹۰٫۸	۴٫۷	۲۶٫۹	۱۸٫۴	۵٫۷	۳٫۹	۰٫۰۹۳	۰٫۰۹۶
آسیا (بدون چین)	۲۳۰۷٫۸	۸۲۹۱٫۷	۲۱۴۷٫۹	۱۳۷۶٫۶	۸۵۶٫۸	۰٫۶	۰٫۴	۰٫۳۷۱	۰٫۱۰۳
آفریقا	۸۳۰٫۳	۲۳۷۲٫۵	۹۵۸٫۴	۶۲۹	۴۴۸٫۵	۰٫۷	۰٫۵	۰٫۵۴۰	۰٫۱۸۹
خاورمیانه	۸۹۱	۱۵۵۲٫۲	۱۹۳٫۲	۵۵۱٫۶	۳۰۷٫۳	۲٫۹	۱٫۶	۰٫۳۴۵	۰٫۱۹۸
کشورهای مشترک‌المنافع	۶۱۹٫۷	۲۴۷۱٫۶	۲۸۳٫۸	۱۰۱۸٫۵	۵۹۲٫۷	۳٫۶	۲٫۱	۰٫۹۵۶	۰٫۲۴۰
چین و هنگ کنگ	۲۶۲۳٫۴	۱۰۱۵۵٫۸	۱۳۲۶٫۹	۱۹۶۹٫۵	۱۱۴۸٫۵	۱٫۵	۰٫۹	۰٫۴۳۸	۰٫۱۱۳
هند	۷۷۱٫۱	۴۰۲۴٫۹	۱۱۲۳٫۳	۵۹۴٫۹	۳۵۴	۰٫۵	۰٫۳	۰٫۴۵۹	۰٫۰۸۸
پاکستان	۱۰۶٫۲	۳۷۶٫۲	۱۶۲٫۴	۸۳٫۳	۶۵٫۵	۰٫۵	۰٫۴	۰٫۶۱۷	۰٫۱۷۴
عربستان سعودی	۲۴۲	۳۶۰٫۷	۲۴٫۲	۱۵۰٫۳	۵۸٫۲	۶٫۲	۲٫۴	۰٫۲۴۰	۰٫۱۶۱
ونزوئلا	۱۵۹	۱۹۰	۲۷٫۵	۶۳٫۷	۳۹٫۴	۲٫۳	۱٫۴	۰٫۲۴۸	۰٫۲۰۷
ایران	۱۵۱٫۸	۵۵۴	۷۱	۱۸۴٫۹	۱۳۴٫۴	۲٫۶	۱٫۹	۰٫۸۸۵	۰٫۲۴۳
جهان	۳۹۴۹۳٫۳	۶۱۴۲۸	۶۶۰۹٫۳	۱۲۰۲۹٫۳	۷۵۱۶٫۱	۱٫۸	۱٫۱	۰٫۱۹۰	۰٫۱۲۲

Source: IEA (2010), International Energy Agency, Energy Balances ofOECD Countries, and (2010)International Energy Agency, Energy Balances ofnon- OECD Countries,IEA



نمودار ۱) روند مصرف سرانه انرژی اولیه در ایران و کشورهای همسایه (کیلوگرم معادل نفت خام)

ابزارها و مفاهیم اساسی در برنامه ریزی انرژی

در برنامه‌ریزی انرژی از روش های مختلفی استفاده می شود. یکی ار روش های پایه برای برنامه ریزی انرژی، به تصویر کشیدن سیستم انرژی مورد نظر در یک سال مشخص است. ابزار معمول در این رابطه *تراز انرژی*[۱] است. تراز انرژی بر پایه سیستم مرجع انرژی بنا می‌شود و از آن تبعیت می‌کند ولی به جزئیات فناوری‌های تبدیل انرژی نمی‌پردازد.

دومین روش پایه، *تحلیل هزینه- فایده*[۲] است که به ارزیابی هزینه ها و منافع یک گزینه معین می‌پردازد. هر چند به لحاظ مفهومی این تکنیک روشن و شناخته شده است ولی در دنیای واقعی کاربرد آن به دلیل این واقعیت که هزینه‌ها و فایده ها در زمان‌های مختلف، برای افراد مختلف و واحدهای مختلف رخ می‌دهد که مقایسه آنها با یکدیگر دشوار است، بعضاً پیچیده به نظر می‌رسد. علاوه بر این، وجود عدم اطمینان در دنیای واقعی کاربرد این روش را پیچیده‌تر می‌نماید.

سومین روش، *تحلیل اثر بخشی هزینه‌ها*[۳] می‌باشد که به ارزیابی مقایسه ای هزینه‌های گزینه‌های مختلف برای رسیدن به یک هدف یا انجام یک ماموریت می‌پردازد. این ابزار، به ویژه زمانی که هزینه‌ها و فایده‌ها نتوانند با یک واحد اندازه‌گیری مشترک باهم مقایسه گردند، ابزار مفیدی خواهد بود. یکی از کاربردهای عمومی تحلیل اثربخشی هزینه‌ها

---

۱) Energy Balance
۲) Cost-Benefit Analysis
۳) Cost-Effectiveness

ارزیابی گزینه‌های مختلف برای حفظ جان انسان‌هاست. به کمک تحلیل اثربخشی هزینه‌ها، گزینه‌های حفظ جان افراد می‌توانند بر مبنای هزینه پولی سرانه جان حفظ شده رتبه بندی شوند، بدون اینکه لازم باشد ارزش پولی برای زنده بودن افراد تعیین شود.

روش مورد استفاده دیگر در برنامه ریزی انرژی، روش پیش بینی به ویژه پیش بینی تقاضاست. در ساده‌ترین حالت، تقاضای انرژی به صورت تابعی از سطح فعالیت اقتصادی در نظر گرفته می شود. گاهی تقاضای انرژی علاوه بر سطح فعالیت اقتصادی تابعی از قیمت های انرژی نیز فرض می‌شود. عموماً تابع تقاضا به صورت لگاریتم خطی[1] است که در آن x درصد تغییر در سطح یک متغیر توضیحی (مستقل) مثل تولید ناخالص داخلی(GDP) یا قیمت باعث kx درصد تغییر در میزان تقاضای انرژی به عنوان متغیر وابسته می‌شود. عامل k به عنوان *کشش*[2] تقاضا نسبت به متغیر مورد بررسی می‌باشد. به عنوان مثال، کشش درآمدی برابر با ۰/۸ نشان دهنده آن است که با فرض عدم تغییر دیگر متغیرهای تاثیرگذار، افزایش یک درصدی تولید ناخالص داخلی(GDP) باعث افزایش ۰/۸ درصدی تقاضای انرژی می‌شود. تغییر مزبور در تقاضای انرژی به واسطه تغییر در درآمد، اثر تغییر قیمت را در نظر نگرفته است؛ به عبارت دیگر، این ضریب با فرض ثابت بودن سایر عوامل تفسیر می‌شود. برای محاسبه اثر تغییر قیمت از کشش قیمتی تقاضای انرژی استفاده می‌شود که عموماً نشان دهنده رابطه منفی بین مقدار تقاضا و قیمت انرژی است که طبعاً این کشش همان ضریب قیمت در تابع لگاریتم خطی تقاضاست.

علاوه بر دو متغیر یاد شده، پیشرفت فناوری سومین متغیر مهم در پیش بینی تقاضای انرژی است. در ساده ترین حالت مدل‌سازی انرژی فرض می‌شود که پیشرفت فناوری که همراه با افزایش بهره‌وری انرژی است باعث کاهش شدت انرژی در تولید و ارائه برخی از کالاها و خدمات می‌شود. البته این امر همیشه صادق نبوده و در برخی از موارد ممکن است به دلیل اثر بازگشتی[3] میزان مصرف انرژی چندان کاهش نیابد و یا حتی افزایش یابد[4].

یک نکته مهم در حوزه پیش‌بینی تقاضای انرژی، انتخاب بخشی است که تقاضای انرژی برای آن پیش بینی می‌شود. از آنجا که بخش های مختلف اقتصادی دارای شدت کاربری انرژی متفاوتی می‌باشند، تخمین تابع تجمیعی تقاضای انرژی برای کل اقتصاد گمراه کننده خواهد بود. مثلاً در بعضی از بخش ها تقاضای انرژی به تولید ناخالص داخلی کل (GDP) بستگی دارد، در حالی که در بعضی دیگر به تولید بخشی و در بعضی دیگر بستگی چندانی با تولید ندارد. علاوه بر این،

---

١) Log-Linear

٢) Elasticity

٣) Rebound Effect

٤) Bhattacharyya, 2011

شدت انرژی‌بری و عوامل موثر بر آن و سهم بخش ها در اقتصاد ممکن است در طول زمان دچار تغییر شود که این امر پیش‌بینی‌های تجمیعی را بیشتر منحرف می‌سازد. در حقیقت، گسترش و افزایش سهم بخش خدمات در اقتصادهای پیشرفته باعث کاهش شدت انرژی کلی اقتصاد شده است، این در حالی است که در کشورهای در حال توسعه به دلیل اینکه بخش خدمات جایگاهی را که در کشورهای پیشرفته دارد هنوز به دست نیاورده و از سوی دیگر، بخش سنتی و کشاورزی هنوز به میزان زیادی به انرژی وابسته نیست، ناهمگونی‌های زیادی در شدت انرژی بری بخش‌های مختلف وجود دارد که در نتیجه، برآورد کلی تقاضای انرژی بیشتر گمراه کننده خواهد بود[۱].

عرضه انرژی بخش دیگری از مدل‌های برنامه ریزی انرژی است که تا حد زیادی معطوف به در دسترس بودن انرژی‌های اولیه و سوخت‌هاست. هرچند در اقتصاد های باز و کوچک، واردات انرژی به راحتی می‌تواند جایگزین منابع انرژی داخلی شود، ولی در اقتصادهای بزرگ به ویژه کشورهایی که از نظر جغرافیایی گسترده بوده و از منابع متنوع انرژی برخوردارند، بخش عرضه مدل بسیار حائز اهمیت است.

در مدل‌های بلندمدت، تفکیک بین ذخایر اثبات شده انرژی و موجودی منابع انرژی اولیه بسیار مهم است. ذخایر انرژی تنها نسبتی از اشکال مختلف انرژی های اولیه موجود است که در مکان های شناخته شده وجود دارند و به صورت اقتصادی قابلیت تولید و عرضه را دارند. در مجموع، موجودی منابع انرژی اولیه بر مبنای دو ویژگی احتمال وجود منبع انرژی در یک منطقه و هزینه های استخراج منابع طبقه بندی می شوند که هر دوی آنها معمولاً در طول زمان تغییر می‌کنند. در صورتی که در برنامه‌ریزی تنها ذخایر شناخته شده در نظر گرفته شود و منابع انرژی اولیه که قابلیت تبدیل به ذخایر را دارند مورد توجه قرار نگیرند، ممکن است مدل به نادرست کمبود عرضه در بلندمدت را پیش‌بینی نماید[۲].

پل ارتباطی بین پیش‌بینی تقاضا و عرضه انرژی را فناوری‌های تبدیل انرژی[۳] فراهم می‌آورد، به ویژه در تحلیل‌های بلندمدت، پیشرفت فناوری نقش قاطع و اصلی را در برنامه‌ریزی انرژی بازی می‌کند. در تحلیل پیشرفت فناوری، مفهوم منحنی تجربه[۴] (یا همان منحنی یادگیری[۵]) توجه بیشتری را به خود معطوف ساخته است. منحنی تجربه، پیشرفت فناوری را به صورت تابعی از تجربه‌های انباشته از گذشته توصیف می‌نماید. در بیشتر موارد، پیشرفت فناوری به صورت رابطه‌ای میان هزینه تولید محصول با استفاده از یک فناوری و تجربه انباشته یا تجمعی تعریف می‌شود. تجربه تجمعی به نوبه خود با مجموع کالاهای سرمایه‌ای تولید شده توسط فناوری مورد نظر بیان می‌شود. در این صورت، منحنی تجربه نشان می‌دهد

---

۱) Schrattenholzer, 2005b
۲) Loulou et al, 2005
۳) Energy Conversion Technologies
۴) Experience Curve
۵) Learning Curve

هزینه یک فناوری معین پس از دو برابر شدن ظرفیت تجمعی آن چگونه کاهش می‌یابد. بر این اساس، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های گران تر در مقابل گزینه‌های ارزان قیمت کوتاه مدت، در بلندمدت می‌تواند موجه باشد؛ زیرا انجام این سرمایه‌گذاری‌ها یادگیری جدیدی را به همراه دارد که در بلندمدت می‌تواند باعث کاهش هزینه های تولید شود[۱]. روش منحنی یادگیری می‌تواند برای توصیف پتانسیل‌های فناوری‌های انرژی نو و تجدیدپذیر مانند پیل سوختی، تولید برق خورشیدی و انرژی بادی مفید و موثر باشد.

نقش و کارکردهای مدل‌سازی در برنامه ریزی انرژی

در سال‌های اخیر، بر تعداد مدل‌های انرژی به‌طور قابل توجهی افزوده شده است که یکی از دلایل اصلی آن، گسترش استفاده از نرم‌افزارها و بسته‌های اطلاعاتی است. مدل‌ها اغلب یک بیان و توصیف ریاضی از یک سامانه واقعی و علت وقوع پدیده‌ها در این سامانه هستند که معمولاً به صورت یک الگوریتم رایانه‌ای طراحی می‌شوند. مدل‌های انرژی به مقوله‌های مربوط به انرژی می‌پردازند.

از آنجایی که این مدل‌ها به طور قابل توجهی گسترش یافته و از تنوع زیادی برخوردارند، این سؤال مطرح می‌شود که برای یک هدف یا موضوع خاص کدامیک از این مدل‌ها مناسب‌تر است؟ طبقه‌بندی مدل‌ها می‌تواند وجوه تمایز و تشابه آنها را روشن سازد و بدین ترتیب، گزینش مدل‌های انرژی مناسب را تسهیل نماید. تاکنون طبقه‌بندی‌های متعددی در این زمینه صورت گرفته است، ولی هیچیک از آنها را نمی‌توان به‌عنوان بهترین طبقه‌بندی معرفی کرد. به هر حال، برای گزینش مدل‌های مناسب، مروری کلی بر روش‌های مختلف طبقه‌بندی این مدل‌ها می‌تواند مفید باشد. در طبقه‌بندی مدل‌ها، سؤالات متعددی قابل طرح است:

- هدف مدل چیست؟ مدل کدامیک از اهداف تحلیل عرضه، تحلیل تقاضا، بررسی اثرات سیاست‌ها و یا ارزیابی مقایسه‌ای گزینه‌ها را دنبال می‌کند؟
- فروض حاکم بر مدل‌ها چیست؟
- دامنه موضوعات تحت پوشش مدل چیست؟ آیا سامانه‌های انرژی (تجدیدپذیر) با مقیاس کوچک را پوشش می‌دهد؟
- روش‌شناسی مورد استفاده مدل کدام است؟
- رویکرد ریاضی مورد استفاده در طراحی مدل چیست؟
- سطح پوشش مدل به لحاظ جهانی/ منطقه‌ای/ ملی/ محلی چگونه است؟

---

۱) Barreto, 2001

ـ میزان پرداختن مدل به جزئیات و درجه تفصیلی بودن مدل چگونه است؟

ـ افق زمانی مدل چگونه است؟ آیا افق زمانی مدل بلندمدت، میان‌مدت یا کوتاه‌مدت است؟

ـ کدامیک از اثرات سیاست‌ها را به کمک مدل می‌توان مورد بررسی قرار داد؟

براین اساس، روش‌ها و معیارهای متعددی برای طبقه‌بندی مدل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. برخی مدل‌های انرژی را براساس سه ضابطه اصلی یعنی هدف مدل، ساختار مدل و فروض بیرونی آن طبقه‌بندی می‌کنند. برخی دیگر نیز از معیارهای دیگری استفاده کرده‌اند که از جمله می‌توان به رویکرد مدل به لحاظ استقرایی یا قیاسی بودن، افق زمانی، پوشش بخشی، رویکرد مدل به لحاظ استفاده از روش‌های بهینه‌یابی یا شبیه‌سازی، سطح همفزونی و پوشش جغرافیایی مدل ها اشاره کرد. از معیارهای دیگر طبقه‌بندی مدل‌ها می‌توان به روش‌های ریاضی مورد استفاده، شدت نیاز به داده‌ها و اطلاعات، درجه پیچیدگی مدل، و انعطاف‌پذیری آن اشاره کرد. در ادامه به طبقه‌بندی مدل‌های انرژی براساس معیارهای ذیل می‌پردازیم:

۱. اهداف مدل‌های انرژی
۲. ساختار مدل‌های انرژی
۳. رویکرد تحلیلی مدل: رویکرد استقرایی در مقابل رویکرد قیاسی
۴. روش‌شناسی حاکم بر مدل‌های انرژی
۵. پوشش جغرافیایی: جهانی، منطقه‌ای، ملی، محلی یا پروژه‌ای
۶. پوشش بخشی
۷. افق زمانی: کوتاه، میان و بلندمدت

به هر حال، باید توجه داشت که این معیارهای طبقه‌بندی، به‌طور کامل مستقل از یکدیگر نیستند و همپوشانی‌هایی میان آنها وجود دارد.

اهداف مدل‌های انرژی

مدل‌ها معمولاً برای پاسخگویی به پرسش‌های خاص توسعه می‌یابند و بنابراین تنها برای اهداف خاصی که بدان منظور طراحی شده‌اند، مناسب هستند. استفاده نادرست از یک مدل ممکن است تحلیل‌ها و تفسیرهای نادرست را در پی داشته باشد که نمی‌توان آن را به عملکرد ضعیف مدل نسبت داد، بلکه مسئولیت آن متوجه کاربران مدل است. مدل‌های انرژی اغلب با هدف پیش‌بینی، آینده‌پژوهی، پس‌نگری، تحلیل عرضه و تقاضا، تحلیل اثر و ارزیابی سیاست‌ها طراحی می‌شوند.

در مدل‌های پیش‌بینی، رفتار متغیرهای در آینده براساس روندهای داده‌ها در گذشته برون‌یابی می‌شود و به همین جهت، مدل‌های پیش‌بینی اغلب برای تحلیل آثار نسبتاً کوتاه‌مدت سیاست‌ها مناسب هستند. شرط لازم برای برون‌یابی این است که پارامترهای اساسی (مثل کشش‌ها) که براساس روندهای گذشته برآورد می‌شوند، در آینده نیز همچنان ثابت باقی بمانند. در مدل‌های اقتصادی کوتاه‌مدت که عموماً با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی بنا می‌شوند، این شرط معمولاً محقق می‌شود.

در تحلیل‌های آینده‌پژوهشی یا تحلیل سناریو، سناریوهای «مداخله» با سناریوی مرجع یعنی «استمرار وضع موجود» مقایسه می‌شود. در سناریوهای مداخله به‌جای استفاده از پارامترهای مبتنی بر رفتارهای گذشته، فروض جدیدی به ویژه درخصوص دسترس‌پذیری منابع، نظام مالیاتی، کشش‌های قیمتی و درآمدی، پیشرفت فنی، رشد جمعیت و رشد اقتصادی اعمال می‌شود. در این تحلیل‌ها، رفتار اقتصادی معمولاً از طریق رهیافت «حداقل‌سازی هزینه» یا «حداکثرسازی مطلوبیت» شبیه‌سازی می‌شود و در نهایت برای پی بردن به اهمیت و شدت اثرگذاری فروض در نتایج بدست آمده، تحلیل حساسیت صورت می‌گیرد.

در مدل‌های پس‌نگری ابتدا تصاویری از آینده مطلوب از طریق مصاحبه با کارشناسان و متخصصان مربوط ترسیم می‌شود و سپس تغییرات مورد نیاز برای ایجاد چنین آینده‌ای شناسایی می‌گردد. از این روش می‌توان به عنوان یک ابزار تحلیلی برای ارزیابی سازگاری بلندمدت بین گزینه‌های مختلف استفاده کرد. این روش می‌تواند مدل‌های استقرایی و قیاسی را با یکدیگر مرتبط نماید.

در مدل‌های تقاضای انرژی، تقاضا در کل اقتصاد یا بخش خاصی از آن به صورت تابعی از جمعیت، درآمد و قیمت‌های انرژی در نظر گرفته می‌شود. مدل‌های عرضه انرژی عمدتاً بر روی ابعاد فنی سیستم‌های انرژی متمرکز می‌شوند و به دنبال پاسخگویی به این سؤال هستند که آیا عرضه می‌تواند تقاضای مفروض برای انرژی را تأمین کند؟ مع‌الوصف، مدل‌های عرضه انرژی در اقتصاد به بررسی رفتار عرضه با فرض حداقل کردن هزینه‌های تولید براساس یک فناوری معین می‌پردازند.

به‌کارگیری یک سیستم انرژی معین و یا اجرای یک سیاست انرژی خاص، اثراتی را به همراه خواهد داشت که از جمله می‌توان به تغییر در وضعیت اقتصادی ـ مالی، تغییر در وضعیت اجتماعی (توزیع ثروت، اشتغال) یا تغییر در شرایط بهداشتی و زیست‌محیطی به‌ویژه آلودگی، پسماندهای مایع یا جامد و تنوع زیستی اشاره کرد. برخی از مدل‌ها با هدف تحلیل اثرات و پیامدهای سیاست‌های مختلف طراحی می‌شوند و اصطلاحاً به آنها مدل‌های تحلیل اثر گفته می‌شود.

در صورت وجود گزینه‌های مختلف، برای انتخاب مناسب‌ترین گزینه، باید آنها را با یکدیگر مقایسه کرد و مورد ارزیابی قرار داد. حتی اگر تنها یک گزینه برای ارزیابی وجود داشته باشد، در آن صورت می‌توان آن را با گزینه دیگری که عدم انتخاب آن گزینه است، مقایسه کرد. نتایج یا اثرات هر گزینه‌ای با توجه به یک یا چند معیار از پیش تعیین شده، به‌ویژه معیار کارایی (فنی و اقتصادی)، مورد مقایسه و ارزیابی قرار می‌گیرند.

هر چند برخی از مدل‌ها (نظیر مدل‌های توسعه نیروگاه‌ها یا مدل‌های بررسی اثرات زیست‌محیطی) بر روی موضوع و کارکرد معینی متمرکز می‌شوند، ولی برخی مدل‌ها رویکرد جامعی را دنبال می‌کنند و تعامل و اثرات متقابل بین محیط‌زیست، اقتصاد و انرژی را مورد مطالعه قرار می‌دهند. تقریباً تمام مدل‌ها از شاخص‌های هزینه به عنوان ابزاری برای ارزیابی استفاده می‌کنند. برخی از مدل‌ها به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که دارای زیرمدل‌های مختلف هستند.

ساختار مدل‌های انرژی

علاوه بر اهداف، مدل‌های انرژی به لحاظ ساختار و به‌ویژه فروضی که ساختار مدل‌ها بر آنها مبتنی است، با یکدیگر متفاوتند. براین اساس، مدل‌های انرژی از نظر فروضی که از قبل درون ساختار مدل گنجانیده می‌شوند (فروض ضمنی یا درونی) و فروضی که توسط کاربر تعیین می‌شوند (فروض بیرونی یا ورودی)، با یکدیگر متفاوتند.

در حالی که در مدل‌های پیش‌بینی، رفتار اقتصادی به صورت درون‌زا در مدل وارد می‌شود، در مدل‌های آینده‌پژوهشی یا پس‌نگری، از فروض بیرونی (یا ورودی) برای توصیف رفتار اقتصادی استفاده می‌شود. مدل‌های گروه دوم برای شبیه‌سازی اثرات ناشی از تغییر در روندهای گذشته از توانمندی بالاتری برخوردارند.

تفاوت ساختاری دیگر در مدل‌های انرژی، میزان پرداختن مدل به اجزای بخش غیرانرژی اقتصاد مانند سرمایه‌گذاری، تجارت، مصرف کالاها و خدمات غیرانرژی، توزیع درآمد و ... می‌باشد. هر چه توصیف مدل از بخش‌های غیرانرژی با تفصیل و جزئیات بیشتری همراه باشد، در آن صورت، مدل مربوط برای تحلیل میزان تأثیر سیاست‌های انرژی بر کل اقتصاد مفیدتر خواهد بود.

تفاوت ساختاری دیگر در بین مدل‌ها، نحوه توصیف مصارف نهایی انرژی و فناوری‌های عرضه انرژی است. هرچه توصیف مدل از مصارف نهایی انرژی با تفصیل و جزئیات بیشتری همراه باشد، مدل مربوط برای تحلیل پتانسیل فناوری‌ها در بهبود کارآیی انرژی مناسب‌تر خواهد بود. به همین ترتیب، در صورتی که توصیف فناوری‌های عرضه در مدل به صورت تفصیلی و با جزئیات کافی صورت می‌گیرد، به کمک مدل می‌توان جانشینی فناوری‌های جدید عرضه به جای فناوری‌های قدیمی را به بهترین نحو مورد تحلیل قرار داد. در بسیاری از مدل‌های اقتصادی، فناوری به صورت بسیار کلی توصیف می‌شود و با آن همچون جعبه سیاه برخورد می‌شود و به همین جهت، این مدل‌ها برای تحلیل فناوری‌های مختلف عرضه چندان مناسب نیستند.

رهیافت تحلیلی: رویکرد قیاسی در مقابل رویکرد استقرایی

مدل‌های قیاسی و استقرایی برای یک مسأله معین ممکن است جواب‌های متفاوتی را نتیجه دهند که علت آن به تفاوت این دو نوع مدل در برخورد با مسأله انتخاب و به کارگیری فناوری‌ها، رفتار تصمیم‌گیری عوامل اقتصادی، و چگونگی عملکرد بازارها و مؤسسات اقتصادی در طول یک دوره زمانی معین برمی‌گردد. در رهیافت قیاسی عموماً از الگوهای اقتصادی و در رهیافت استقرایی از الگوهای مهندسی استفاده می‌شود.

در اقتصاد، فناوری به صورت تابعی در نظر گرفته می‌شود که از طریق آن نهاده‌هایی نظیر سرمایه، نیروی کار، و انرژی به محصول نهایی مورد مصرف در جامعه تبدیل می‌شوند. چنانچه در فرایند تولید از بهترین شیوه‌ها و فناوری‌های تولید استفاده شود، اقتصاد بر روی مرز اقتصادی تولید قرار خواهد داشت. طبعاً تولید در نقاط فراتر از این مرز امکان‌پذیر نیست، هر چند در صورت پیشرفت فناوری، مرز تولید جابجا خواهد شد. در این مدل‌ها، فرض می‌شود بازارها همواره به صورت کارا عمل می‌کنند و در نتیجه، تولیدکنندگان در تصمیمات خود بهترین فناوری‌های موجود را انتخاب می‌نمایند. بدین ترتیب، مدل‌های اقتصادی براساس رفتارهای مشاهده شده در بازار بنا می‌شوند.

در مدل‌های اقتصادی، عموماً فناوری‌های تولید به طور صریح معرفی نمی‌شوند و در مقابل، در این مدل‌ها کشش‌های جانشینی بین نهاده‌های تولید به طور ضمنی فناوری‌های مورد استفاده در تولید را توصیف می‌نمایند. در اغلب مدل‌های اقتصادی، تغییرات فناوری از طریق تغییر در پارامتر «برون‌زای کارایی انرژی» و «کشش جانشینی» بین نهاده‌ها نشان داده می‌شود. همان‌گونه که اشاره شد، در این مدل‌ها فناوری به صورت یک جعبه سیاه عمل می‌کند و در نتیجه، پیش‌بینی تغییرات فناوری و طبعاً تغییرات توابع تولید در آن‌ها به آسانی امکان‌پذیر نیست.

در الگوهای استقرایی یا مهندسی به جای رفتارهای مشاهده شده در بازار، کلیه گزینه‌های فناوری ممکن، راندمان و هزینه‌های آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین ترتیب، در مدل‌های مهندسی برای انتخاب فناوری تولید، صرف‌نظر از محدودیت‌های موجود در بازار کلیه فناوری‌هایی که بالقوه در دسترس قرار دارند، مورد توجه قرار می‌گیرند. برخلاف مدل‌های اقتصادی که در آنها مرز تولید اقتصادی را داده‌های مشاهده شده در بازار مشخص می‌سازد و متأثر از محدودیت‌های مختلف از جمله اثرات بیرونی، نبود اطلاعات کامل و سایر کاستی‌های نظام بازار می‌باشد، در رهیافت استقرایی فرض می‌شود که با اقدامات سیاستی مناسب می‌توان این محدودیت‌ها را به طور قابل توجهی کاهش داد. براین اساس، رفتار فعلی مشاهده شده در بازار جامع و کافی به نظر نمی‌رسد.

یکی دیگر از ویژگی‌های مدل‌های قیاسی این است که در آنها برای بررسی تعامل بین بخش انرژی و دیگر بخش‌های اقتصاد و نیز به منظور عملکرد کلان اقتصاد، از داده‌های تجمیع شده استفاده می‌شود و به کمک آنها سعی می‌شود با برون‌یابی رفتار گذشته و تعمیم آن به آینده، پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت انجام شود.

در مقابل، مدل‌های استقرایی اغلب منحصراً بر روی بخش انرژی متمرکز شده و برای توصیف تفصیلی مصارف نهایی انرژی و گزینه‌های فناوری، از داده‌های غیرتجمیعی و تفکیک‌شده استفاده می‌شود. در برخی از مدل‌های استقرایی موسوم به مدل‌های توصیفی تلاش می‌شود ترکیب مناسب و مطلوب فناوری‌ها با توجه به عواملی نظیر هزینه‌های ناملموس، محدودیت‌های سرمایه، ریسک و نااطمینانی و موانع بازار شناسایی شود. در برخی دیگر از مدل‌های استقرایی موسوم به مدل‌های دستوری تلاش می‌شود تا کاراترین فناوری‌های موجود از طریق حداقل کردن هزینه‌های ارائه خدمات انرژی شناسایی شوند. بدین ترتیب، در حالی که هدف مدل‌های توصیفی مانند مدل‌های اقتصادی، پیش‌بینی است، هدف مدل‌های دستوری آینده‌پژوهی است.

در مدل‌های قیاسی، کلیه فناوری‌های مصرف‌کننده انرژی با توجه به اجزای نهاده‌ها و ستانده‌ها، هزینه‌های واحد و ویژگی‌های اقتصادی و فنی دیگر توصیف می‌شوند. در این الگوها که جزء به کل نیز نامیده می‌شوند، هر بخش از تعداد وسیعی از فناوری‌ها تشکیل می‌شود که هر فناوری با ستانده‌ها و نهاده‌ها را شامل انواع حامل‌های انرژی، مواد و یا خدمات به یکدیگر مرتبط می‌سازد. در برخی از الگوهای جزء به کل، تعادل‌های جزئی از طریق حداکثرسازی اضافه رفاه خالص کل (مجموع اضافه رفاه مصرف‌کننده و تولیدکننده) به دست می‌آید.

در الگوهای جزء به کل، یک واحد از ستانده‌های بخشی (مثلاً یک میلیارد کیلومتر حرکت خودرو، یک میلیارد تن جابجایی توسط ماشین‌های سنگین، یا یک پتاژول خدمات سرمایش (تهویه) مربوط به واحدهای مسکونی) با به کارگیری ترکیبی از فناوری‌های مختلف تولید می‌شود. روابط بین ستانده‌ها و نهاده‌ها به ترتیب در قالب فناوری تولید توصیف می‌شود و به صورت ضمنی توابع تولید را نشان می‌دهد. این توابع تولید، ساختار تودرتو و یا آشیانه‌ای دارند که می‌توانند کاملاً پیچیده باشند و درجه این پیچیدگی به شدت پیچیدگی روابط تولید در یک سیستم مرجع انرژی بستگی دارد.

در مجموع می‌توان گفت استفاده از مدل‌های قیاسی در مواردی مناسب است که روندهای گذشته و نیز روابط بین متغیرهای کلیدی در طی دوره پیش‌بینی همچنان ثابت بماند. از سوی دیگر، مدل‌های استقرایی وقتی مناسب هستند که بین تحول ساختاری در بخش انرژی و دیگر بخش‌ها بازخوردهای چندانی وجود نداشته باشد.

امروزه با طراحی و تدوین مدل‌های تلفیقی قیاسی ـ استقرایی تمایز بین مدل‌های قیاسی و استقرایی به‌تدریج در حال کاهش است. برای مثال، بسیاری از مدل‌های قیاسی امروزه برای شبیه‌سازی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

جدول ۲) ویژگی‌های مدل‌های قیاسی و مدل‌های استقرایی

مدل‌های قیاسی	مدل‌های استقرایی
رهیافت اقتصادی	رهیافت مهندسی
عدم توصیف فناری به طور صریح	توصیف فناوری به طور صریح
توجه به فناوری‌های در دسترس که در بازار انتخاب شده‌اند	توجه به پتانسیل‌های فنی
ارائه «کاراترین» فناوری‌ها در قالب مرز تولید (که براساس رفتار بازار شناسایی می‌شود)	امکان واقع شدن فناوری‌های کارا فراتر از مرز تولید اقتصادی مشاهده شده در رفتار بازار
استفاده از داده‌های تجمیعی برای اهداف پیش‌بینی	استفاده از داده‌های تفصیلی و تفکیک شده برای اهداف آینده‌پژوهی
مبتنی بر رفتار مشاهده شده بازار	مستقل از رفتار مشاهده شده بازار
عدم توجه به کاراترین فناوری‌های در دسترس از نظر فنی و در نتیجه کمتر از حد برآورد کردن پتانسیل بهبود انرژی	عدم توجه به محدودیت‌های بازار و بنابراین زیاده برآوردن کردن پتانسیل بهبود انرژی
فرض استمرار روندهای گذشته	فرض ناچیز بودن روابط متقابل بین بخش انرژی و دیگر بخش‌ها

روش شناسی حاکم بر مدل‌های انرژی

در اینجا به مروری کلی بر ابزارها و روش‌های مورد استفاده در مدل‌سازی انرژی شامل روش‌های اقتصادسنجی، اقتصاد کلان، تعادل اقتصادی، بهینه‌یابی، شبیه‌سازی، ارزیابی یکپارچه، نظریه بازی ها و پس‌نگری می‌پردازیم. به هر حال، باید توجه داشت تمایز بین این روش‌ها و مرز بین آنها در عمل کاملاً شفاف و قطعی نیست.

مدل‌های اقتصادسنجی: در این مدل‌ها با استفاده از روش‌های آماری، رفتار گذشته بازار بررسی و پس از برون‌یابی به آینده تسری داده می‌شود. روش‌های اقتصادسنجی، برای تحلیل تعاملات میان انرژی و اقتصاد و پیش‌بینی آینده با استفاده از پارامترهای برآورده شده براساس اطلاعات گذشته مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه روش‌های اقتصادسنجی عمدتاً برای طراحی مدل‌های اقتصاد کلان مورد استفاده قرار می‌گیرند.

از جمله معایب روش اقتصادسنجی این است که در آن از متغیرهای بیانگر گزینه‌های فناوری استفاده نمی‌شود. از آنجا که در اقتصادسنجی، متغیرها بر رفتارهای گذشته استوارند، به‌کارگیری این روش مستلزم وجود ثبات در رفتار اقتصادی است. طراحی مدل‌های اقتصادسنجی به دانش و تجربه اقتصادسنجی و داده‌های نسبتاً زیاد نیاز دارد. برای بررسی اثرات بلندمدت در این مدل‌ها، می‌بایست سطح تجمیع داده‌ها را به منظور کاهش نوسانات در طول زمان افزایش داد.

روش دیگری که با روش اقتصادسنجی شباهت زیادی دارد، روش تحلیل روند است. در تحلیل روند نیز روندهای گذشته متغیرهای اقتصاد انرژی و نسبت‌های سرانه انرژی برون‌یابی می‌شوند، ولی این روش به داده‌های کمتری نیاز دارد. با این حال، روش تحلیل روند برای تحلیل سیاست مناسب نیست، چرا که در آن برای کاهش نوسانات رفتاری در طول زمان از داده‌های تجمیعی استفاده می‌شود و بازخوردهای انرژی ـ اقتصاد در آن دیده نمی‌شود. همچنین این روش تغییرات ساختاری را مورد بررسی قرار نداده و عوامل تعیین‌کننده تقاضای انرژی را نیز توضیح نمی‌دهد.

مدل‌های اقتصاد کلان: در روش اقتصاد کلان، کل اقتصاد یک کشور و تعامل بین بخش‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد. این روش اغلب در تحلیل تقاضای انرژی از دیدگاه نئوکینزی (که در آن تولید از طرف تقاضا تعیین می‌شود) مورد استفاده قرار می‌گیرد. جدول‌های داده ـ ستانده برای توصیف داد و ستدهای بین بخش‌های اقتصادی و تحلیل تعامل و ارتباط متقابل انرژی ـ اقتصاد مورد استفاده قرار می‌گیرند. رهیافت داده ـ ستانده مبتنی بر فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس است. از این مدل‌ها اغلب برای تحلیل سناریو و آینده‌پژوهی استفاده می‌شود. مدل‌های اقتصاد کلان، کل اقتصاد را که بخش انرژی بخش کوچکی از آن است، پوشش می‌دهند. به همین جهت، برخی از محققان، مدل‌های اقتصاد کلان را در ذیل مدل‌های انرژی طبقه‌بندی نمی‌کنند.

همانند مدل‌های اقتصادسنجی، در مدل‌های اقتصاد کلان نیز فناوری‌های تولید به تفصیل توصیف نمی‌شوند و افزون بر این، در این روش، ترجیحات بین دوره‌ای و انتظارات بلندمدت نیز مورد توجه قرار نمی‌گیرد و مدل به صورت ایستا طراحی می‌شود.

مدل‌های تعادل عمومی: مدل‌های اقتصادسنجی و اقتصاد کلان عمدتاً برای مطالعه اثرات کوتاه و میان‌مدت به کار گرفته می‌شوند، حال آنکه مدل‌های تعادل اقتصادی برای تحلیل‌های میان‌مدت و بلندمدت استفاده می‌شوند. در این مدل‌ها نیز بخش انرژی به عنوان جزیی از کل اقتصاد در نظر گرفته می‌شود و ارتباط بین بخش انرژی و بقیه اقتصاد مطالعه می‌شود. گاهی از مدل‌های تعادل اقتصادی، به عنوان مدل‌های تخصیص منابع نیز یاد می‌شود. در حالی که مدل‌های تعادل جزیی فقط بر روی تعادل در بخش‌هایی از اقتصاد مثل تعادل بین عرضه و تقاضای انرژی متمرکز می‌شوند، در مدل‌های تعادل عمومی، تمامی بازارها به طور همزمان در تعادل قرار گرفته و عوامل تعیین‌کننده و ویژگی‌های این تعادل در کل اقتصاد بررسی می‌شود. در این مدل‌ها، تمامی بازارهای اقتصاد به طور همزمان مورد بررسی قرار می‌گیرند و اثرات بازخوردی بین بازارهای مختلف مورد ملاحظه قرار می‌گیرد.

مدل‌های تعادل عمومی برای شبیه‌سازی مسیرهای رشد بسیار بلندمدت به کار می‌روند و مبتنی بر روابط اقتصادسنجی نیستند. برای اطمینان از سازگاری در مدل، پارامترهای آن به‌گونه‌ای تنظیم می‌شوند که از حل مدل، مقادیر مربوط به متغیرها در یک سال معین عیناً بازتولید شود. در مدل‌های تعادل عمومی، فرض (نئوکلاسیکی) تعادل کامل بازارها برقرار است، مقدار تولید در جانب عرضه تعیین می‌گردد و تمام بازارها تسویه می‌شوند به طوری که هیچ‌گونه بیکاری ساختاری وجود ندارد.

یکی از کاستی‌های این مدل‌ها آن است که مسیر زمانی حرکت به سوی تعادل جدید در آنها تبیین نمی‌شود و به همین جهت، هزینه‌های انتقال به سمت تعادل جدید مورد توجه قرار نمی‌گیرد.

در مدل‌های تعادل‌عمومی[۱] *(GE)* هر بخش اقتصاد با یک تابع تولید نشان داده می‌شود تا جانشینی بالقوه میان عوامل اصلی تولید را در تولید محصولات هر بخش شبیه‌سازی کند. در این گروه از مدل‌ها، تعداد زیادی از الگوهای ملی و جهانی شکل گرفته است.

معمولاً این الگوها را «کل به جزء» می‌نامند زیرا آنها از طریق تعدادی معادله و متغیرهای تجمیع شده که کوچک و به هم پیوسته هستند کل اقتصاد را به نمایش می‌گذارند. مدل های کل به جزء معمولاً به دنبال پیش‌بینی و برآورد مسیر تقاضاهای انرژی در آینده با ملاحظات اثرات ناشی از ابداعات در طرف عرضه انرژی می‌باشند که انتظار می‌رود این ابداعات هزینه‌های تبدیل و تامین انرژی را کاهش دهند.

در این الگوها، پارامترهای تابع تولید برای هر بخش محاسبه می‌شوند و بدین ترتیب، ورودی‌ها و خروجی‌ها یک سال مرجع را باز تولید می‌کنند. به دنبال هر گونه تغییر سیاستی، این مدل‌ها امکان می‌دهند که ترکیب ورودی‌ها(داده‌ها)ی مورد استفاده در یک تولید واحد ستانده در هر بخش بتواند با توجه به کشش جانشینی تعریف شده توسط کاربر تغییر نماید. توابع تولید بخشی در اغلب موارد به این شکل می‌باشد:

---

۱) General equilibrium(GE)

$$X_s = A_0(B_K.K_s^{\rho} + B_E.L_S^{\rho} + B_E.E_S^{\rho})^{1/\rho} \quad (۱)$$

که در آن X_s ستانده بخش S و E_s ، L_s و K_s به ترتیب نهاده‌های سرمایه، کار و انرژی هستند که برای تولید یک واحد ستانده در بخش S مورد نیاز می‌باشند، ρ پارامتر کشش جانشینی و A_o و B ضرایب مقیاس هستند.

انتخاب ρ سهولت یا دشواری جانشینی عامل تولید را با عامل دیگر مشخص می‌کند و نشان می‌دهد چگونه یک عامل تولید ممکن است باعامل دیگری جایگزین شود. کوچک‌تر بودن ρ به معنی جایگزینی راحت تر عوامل تولید برای تولید محصول در بخش S است. در الگوهای تعادل‌عمومی (GE) همچنین ممکن است سایر اشکال تابع تولید نیز مورد استفاده قرار گیرد، با این وجود، ایده اصلی در آنها امکان جایگزینی صریح عوامل تولید به جای یکدیگر است[۱].

مدل های انرژی- اقتصاد-محیط زیست: به صورت تاریخی، مدل‌های انرژی به تدریج به مدل‌هایی تبدیل شدند که سیستم انرژی در آنها با سیستم اقتصادی و نهایتاً با سامانه محیط زیست مرتبط گردید. لذا مدل‌های انرژی امروزه سه مدل فرعی را در بر می‌گیرد که مجموع آنها مدل های *انرژی- اقتصاد-محیط زیست*[۲] ($E3$) نامیده می‌شوند.

هر چند در مدل‌های $E3$ ارتباط بین سیستم انرژی-اقتصاد و محیط زیست طبیعی به صورت مفهومی آشکار است، ولی به لحاظ تکنیکی برای برقراری ارتباط بین سیستم انرژی و تولیدات کل در اقتصاد از توابع*تولیدی*[۳] استفاده می‌شود که در آنها *ستانده‌ها*[۴] (در اقتصاد) با یک رابطه ریاضی به صورت تابعی از *داده‌ها*[۵] *یا عوامل تولید*[۶] یا متغیرهای مستقل[۷]، توضیح داده می‌شوند. ایده و منطق توابع تولید این است که یک مقدار مشخص ازستانده می‌تواند با ترکیبات مختلفی از نهاده‌ها تولید شود. با توجه به قیمت نهاده ها معمولاً تنها یک ترکیب بهینه (با کمترین هزینه) از نهاده‌ها برای تولید سطح مشخصی از ستانده وجود دارد. تغییر در قیمت نهاده‌ها موجب تغییر در ترکیب بهینه آنها می‌شود و انتظار می‌رود نهاده گران‌تر با نهاده‌های ارزان‌تر جایگزین شوند[۸].

در توابع تولید کلان که در مدل‌های $E3$ به کار می‌روند، انرژی عموماً یکی از نهاده‌های اصلی تولید است و در واقع می‌توان بیش از یک نوع انرژی را به عنوان نهاده تولید مد نظر قرار داد. افزایش کارایی در مصرف انرژی نتیجه مستقیم عکس‌العمل توابع تولید نسبت به تغییرات قیمت است.

---

۱) Loulou et al, 2005
۲) E3: Energy-Economy-Environment
۳) Production Function
۴) Outputs
۵) Inputs
۶) Factors of Production
۷) Independent Variables
۸) Seebergts et al, 2001

مدل‌های بهینه‌یابی: مدل‌های بهینه‌یابی برای بهینه‌یابی تصمیمات سرمایه‌گذاری انرژی به کار می‌روند. به کمک این مدل‌ها، بهترین راه‌حلی که با توجه به پارامترهای مفروض و با رعایت محدودیت‌های موجود، قابل دستیابی است، شناسایی می‌شود. صنایع آب و برق برای تعیین راهبردهای سرمایه‌گذاری بهینه خود از مدل‌های بهینه‌یابی استفاده می‌کنند. به‌علاوه، در برنامه‌ریزی ملی انرژی، برای تحلیل وضعیت آینده بخش انرژی، از مدل‌های بهینه‌یابی استفاده می‌شود. فرض اساسی و حاکم بر مدل‌های بهینه‌یابی این است که تحت شرایط و محدودیت‌های داده شده، عوامل اقتصادی لزوماً رفتار بهینه از خود نشان می‌دهند. برای حل مدل‌های بهینه‌یابی اغلب از فنون برنامه‌ریزی خطی استفاده می‌شود.

مدل‌های شبیه‌سازی: مدل‌های شبیه‌سازی، مدل‌هایی توصیفی هستند که یک نمایش منطقی از سامانه مورد مطالعه ارائه می‌کنند و هدف از آنها بازتولید عملیات ساده‌سازی شده این سامانه می‌باشد. اگر مدل شبیه‌سازی، عملیات سامانه را تنها در یک دوره زمانی بازتولید کند، یک مدل ایستا خواهد بود و اگر نتایج آن برای دوره فعلی، با در نظر گرفتن تغییرات صورت گرفته در مقایسه با دوره‌های گذشته بازتولید شود، یک مدل پویا خواهیم داشت. مدل‌های شبیه‌سازی برای شرایطی که امکان انجام آزمایش بر روی یک سامانه ممکن نباشد و یا در صورت امکان، با هزینه بسیار زیادی همراه باشد، مفید هستند. این مدل‌ها اغلب برای تحلیل سناریو به کار می‌روند.

مدل‌سازی ارزیابی یکپارچه[۱]: مدل‌سازی ارزیابی یکپارچه، چارچوب کاملی را برای تصمیم‌گیری با در نظر گرفتن کلیه منافع و هزینه‌های اقدامات و گزینه‌های مختلف فراهم می‌آورد. اخیراً چنین مدل‌هایی برای کاربردهای ویژه‌ای مانند مدل‌سازی تغییرات آب و هوایی گسترش یافته‌اند. این مدل‌ها ضمن یکپارچه سازی مدل‌سازی های انجام شده قبلی در خصوص هزینه‌های کاهش مخاطرات، منافع حاصل از اقدامات کاهش مخاطرات را کمی نموده و امکان مقایسه هزینه‌ها و منافع را در قالب تحلیل‌های هزینه ـ فایده فراهم می‌نمایند. به کمک این مدل‌سازی نه تنها می‌توان این سؤال را پاسخ داد که *مخاطرات چقدر باید کاهش یابند؟* بلکه زیان‌ها و هزینه‌ها به صورت جزئی‌تر و دقیق‌تر از طریق تابع زیان توصیف می‌شوند.

مدل‌های پشتیبان تصمیم‌گیری و مدل‌های مبتنی بر نظریه بازی‌ها: با توجه به نبود یک نهاد حکمرانی جهانی و عنایت به فقدان قوانین الزام‌آور بین‌المللی و یا ضمانت‌های اجرایی کافی، بسیاری از توافقات جهانی از جمله کنترل سطح انتشار آلاینده‌ها که بر سامانه آب و هوایی جهانی فشار می‌آورد و با توجه به عدم استفاده بهینه از منابع انرژی در سطوح ملی که اثرات جهانی به دنبال دارد، مدل‌های مبتنی بر نظریه بازی‌ها به تدریج جایگزین مدل‌های تحلیل سامانه‌های جهانی شده است.

در این مدل‌ها، آحاد افراد (بازیگرها) مجموع اهداف خاص خود را دنبال می‌کنند. ساده ترین و معروف‌ترین این مدل‌ها *پدیده "معمای زندانی"* [۲] می‌باشد که به یک راه‌حل ناسازگار منجر می‌شود که در آن راهبردهای بهینه افراد موجب

---

۱) Integrated-Assessment Modeling (IAM)

۲) Prisoner's Dilemma

می‌شود وضعیت کلیه بازیگرها در مجموع بدتر شده و به نتیجه‌ای غیربهینه از نظر اجتماعی منجر می‌شود. این بازی اساس پدیده "*سواری مجانی*"[۱] را تشکیل می‌دهد که نقطه کانونی کلیه برنامه‌های کاهش و کنترل جهانی کربن به شمار می‌رود.

مدل‌های پس‌نگر: همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شد، این روش برای ترسیم تصاویری از آینده مطلوب از طریق مصاحبه با کارشناسان و متخصصان مربوط و به دنبال آن شناسایی روندهای لازم برای دستیابی به چنین آینده‌ای استفاده شود. این رهیافت اغلب در مطالعات انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای مثال، در یک برنامه تحقیقاتی در هلند تحت عنوان توسعه فناوری پایدار، از این روش برای شناسایی فناوری‌های مورد نیاز برای دستیابی به آینده‌ای مطلوب استفاده شد.

پوشش جغرافیایی: جهانی، منطقه‌ای، ملی، محلی، یا پروژه‌ای

پوشش جغرافیایی بیانگر سطوح مختلف تحلیل است و سطوح مختلف تحلیل نیز عامل مهمی در تعیین ساختار مدلهاست. مدل‌های جهانی برای توصیف وضعیت یا اقتصاد جهان به کار می‌روند. سطح منطقه نیز غالباً برای مناطق بین‌المللی معین مثل اروپا، کشورهای آمریکای لاتین، آسیای جنوب‌شرقی و غیره به کار می‌رود. در اغلب مدل‌های ملی شرایط بازار جهانی به صورت برون‌زا در نظر گرفته می‌شود، ولی تمام بخش‌های اصلی اقتصاد داخل یک کشور به صورت همزمان در نظر گرفته می‌شوند. در مدل‌های ملی از روش‌های اقتصادسنجی برای تحلیل‌های کوتاه‌مدت و از روش‌های تعادل عمومی برای تحلیل‌های بلندمدت استفاد می‌شود. سطح محلی، بخشی از یک سطح ملی می‌باشد که به مناطق داخل یک کشور اشاره دارد. سطح پروژه به یک مورد یا یک مکان خاص می‌پردازد. مع‌الوصف، سطح پروژه می‌تواند به پروژه‌ای در مقیاس ملی یا حتی بین‌المللی اشاره داشته باشد.

مدل‌های جهانی، منطقه‌ای یا ملی عموماً به داده‌هایی با درجه تجمیع بسیار بالا نیاز دارند و اغلب تمامی بخش‌های اصلی و ارتباط کلان اقتصادی بین این بخش‌ها را شامل می‌شوند. از طرف دیگر، در مدل‌های محلی و پروژه‌ای معمولاً رهیافت استقرایی با استفاده از داده‌های تفکیکی (غیرتجمیعی) به کار می‌رود.

پوشش بخشی

مدل‌های یک‌بخشی فقط اطلاعات راجع به یک بخش خاص (مانند بخش انرژی) را ارائه می‌دهند و ارتباط کلان اقتصادی آن بخش با بقیه اقتصاد را در نظر نمی‌گیرند. تقریباً تمام مدل‌های استقرایی بخشی هستند، ولی همه مدل‌های بخشی از روش‌های استقرایی استفاده نمی‌کنند.

---

۱) سواری مجانی (Free Rider) هنگامی است که دو یا چند نفر در صدد اقدامی هستند که دوست دارند ولی حاضر نیستند خود آن را انجام دهند. بنابراین، منتظرند که کسی دیگر دست به آن اقدام زند، با این امید که از منافعش بهره مند شوند. به همین ترتیب، آماده نیستند تا برای از بین بردن یا کاهش برخی آثار منفی مانند آلودگی هزینه ای بپردازند. بنابراین، منتظرند تا فرد دیگری این هزینه ها را پرداخت نماید، با این فرض که از منافع اقدام فرد دیگر بهره‌مند شوند.

برخی از مدل‌ها بخش‌های متعددی را شامل می‌شوند. مدل‌های چندبخشی می‌توانند در سطح بین‌المللی، ملی و نیز محلی به کار رفته و به بررسی تعادل و ارتباط بین این بخش‌ها بپردازند.

افق زمانی: کوتاه، میان و بلندمدت

هیچ تعریف استانداردی برای کوتاه، میان و بلندمدت وجود ندارد. با این حال، برخی ۵ سال یا کمتر را کوتاه‌مدت، بین ۳ تا ۱۵ سال را میان‌مدت، و ۱۰ سال یا بیشتر را بلندمدت می‌نامند. به دلیل اهمیت فرایندهای مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در مقیاس‌های مختلف زمانی، افق زمانی نیز حائز اهمیت است. بنابراین، افق زمانی ساختار و اهداف مدل‌های انرژی را تعیین می‌کند. در تحلیل‌های بلندمدت عموماً فرض می‌شود تعادل اقتصادی برقرار می‌شود یعنی منابع به طور کامل تخصیص داده شود و بازارها «تسویه» می‌شوند، در حالی که در مدل‌های کوتاه‌مدت عموماً اثرات «انتقالی» و عدم تعادل‌ها (مثل بیکاری) مورد توجه قرار می‌گیرد.

در حال حاضر، مدل‌های انرژی فراوانی در جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند که هر کدام با تأکید بر موضوع خاصی طراحی شده است. این تفاوت‌ها شامل نوع تابع هدف انتخاب شده، سطح تجزیه[1] متغیرها، افق زمانی که در آن تصمیمات اتخاذ می‌شود (که به نوع تصمیمات نیز بسیار مرتبط است) و ابعاد جغرافیایی می‌باشند. در میان مدل‌ها، انرژی یکی از مهمترین ویژگی‌های تمایز میزان جزئیاتی است که با استفاده از آنها فناوری‌ها و تولید کالاها ارایه می‌شوند که طبقه‌بندی مدل‌ها ما را به دو دسته‌ی عمده هدایت می‌کنند.

نتیجه‌گیری

با توجه به کمبود منابع انرژی و نیاز روز افزون به استفاده از آن در جوامع، به کارگیری روش‌هایی که به کمک آنها بتوان همزمان با رشد اقتصادی، بهره وری منابع انرژی و استفاده بهینه از آنها را افزایش داد، ضروری به نظر می‌رسد. بر این اساس، تدوین راهبردها و سیاست‌های مناسب با در نظر گرفتن نتایج حاصل از مدل‌های پیش‌بینی و تدوین برنامه‌های متناسب با آن به منظور تخصیص بهینه انرژی، افزایش رقابت‌پذیری انرژی و حفظ محیط زیست بسیار حائز اهمیت است.

تصمیم‌گیری در مورد انرژی نیازمند اطلاع از شرایط عرضه و تقاضای انرژی و پیش‌بینی و برآورد روند آنها در کنار تغییرات فناوری در عرضه، تبدیل و مصرف انرژی است که یک برنامه‌ریزی جامع، گسترده و پیچیده را می‌طلبد. از این تصمیم‌گیری گاهی به عنوان برنامه‌ریزی انرژی یاد می‌شود. در حال حاضر، مدل‌های انرژی فراوانی مورد استفاده قرار می‌گیرند که هر کدام با تأکید بر موضوع خاصی طراحی شده است. مدل‌های انرژی به لحاظ منابع، هدف اقتصادی مورد استفاده، سطح تجزیه متغیرها، و افق زمانی تصمیم‌گیری با یکدیگر متفاوت هستند. در این مقاله ضمن معرفی ابزارها و مفاهیم اساسی در برنامه ریزی انرژی، طبقه بندی این مدل ها برحسب رویکرد مدل ها به لحاظ استقرایی یا قیاسی بودن،

---

۱) Level of Disaggregation

افق زمانی، پوشش بخشی، رویکرد مدل به لحاظ استفاده از روش‌های بهینه‌یابی یا شبیه‌سازی، سطح همفزونی و پوشش جغرافیایی مدل‌ها مورد بررسی قرار گرفت. از معیارهای دیگر طبقه‌بندی مدل‌ها می‌توان به روش‌های ریاضی مورد استفاده، شدت نیاز به داده‌ها و اطلاعات، درجه پیچیدگی مدل، و انعطاف‌پذیری اشاره کرد.

انتخاب از میان مدل‌های برنامه‌ریزی انرژی مستلزم شناخت روش‌شناسی مدل‌های موجود است. گسترش قابل توجه روش‌های ریاضی و تکنیک های محاسبه در کنار سرعت روزافزون پیشرفت های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری رایانه‌ای و گسترش روش‌های جمع‌آوری آمار که به افزایش کمیت و کیفیت آمار و داده های دنیای واقع منجر شده است، ابزارهای مناسبی را در زمینه برنامه ریزی انرژی فراهم آورده است.

منابع

[1] Barreto, L. (2001), "*Technological Learning in Energy Optimization Models and theDeployment of Emerging Technologies*", Ph.D. Thesis No 14151, Swiss FederalInstitute of Technology Zurich (ETHZ). Zurich, Switzerland.

[2] Bhattacharyya C.Subhes (2011), *"Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance"*, Springer-Verlag London.

[3] British Petroleum (2010), "*Statistical Review of World Energy 2010*", available at: http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/2010_downloads/statistical_review_of_world_energy_full_report_2010.pdf

[4] Department of Energy/Energy Information Administration, US Government, "*The National Energy Modeling System: An overview (2000)*", DOE/IEA-0581, Washington. DC, March 2000.

[5] Fishbone L G, Giesen G, Hymmen H A, Stocks M, Vos H, Wilde, D, Zoelcher R, Balzer C, and Abilock H. (1983), "*Users Guide for MARKAL: A Multi-period, Linear Programming Model for Energy Systems Analysis*", BNL Upton, NY, and KFA, Julich, Germany, BNL 51701.

[6] Loulou. R, Remne. U, Kanudia. A, Lehtila. A and Goldstein. G (2005), "*Documentation for the TIMES Model(PART I: TIMES CONCEPTS AND THEORY)*" ETSAP: Energy Technology Systems Analysis Programme..

[7] Munasinghe, M., and P. Meier, 1993, "*Energy Policy Analysis and Modeling*", Cambridge University Press, Cambridge ,United Kingdom.

[8] Schrattenholzer, Leo (2005a), "*Some Issues in Energy Policy and Planning*", IIASA: Environmentally Compatible Energy Studies, Austria. Available at: *www.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Documents/RP-05-001.pdf*.

[9] Schrattenholzer, Leo (2005b), "*Energy Planning Methodologies and Tools*", IIASA: Environmentally Compatible Energy Studies, Austria. Available at: *www.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Documents/RP-05-002.pdf*.

[10] Seebergts. A. J, Golddtein. A. G and Smekens. K (2001), "*Energy/Environmental Modeling with the MARKAL Family of Models*" ETSAP: Energy Technology Systems Analysis Program. available at: *ftp://ftp.ecn.nl/pub/www/library/report/2001/rx01039.pdf*.

[11] US Energy Information Administration EIA (2010), "*International Energy Outlook 2010",*.

[12] World Bank (2011), "*World Development Indicators 2011*".

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی