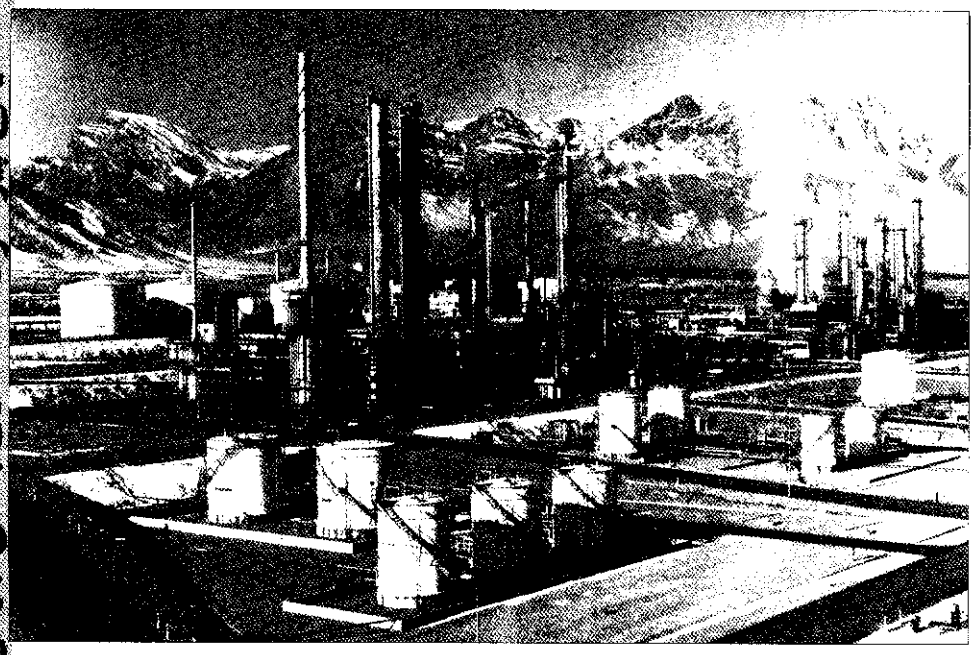


یک تجزیه و تحلیل ایستای مقایسه‌ایی سیستم مدلسازی ملی انرژی EIA و مدل جهانی انرژی اوپک (OWEM)

بخش اول

رضامحسنی پژوهشگر موسسه مطالعات و پژوهشهای بازرگانی

تحقیقی پیرامون مدلسازی بخش جهانی انرژی: یک تجزیه و تحلیل ایستای مقایسه یی

چکیده

سیستم مدل سازی ملی انرژی یک روش اجرایی مبنی بر برنامه‌های کامپیوتری جهت مدل سازی سیستم اقتصاد انرژی برای بازارهای انرژی ایالات متحده امریکا در یک دوره میان‌مدت تا سال ۲۰۲۰ را فراهم می‌سازد. سیستم مدل سازی ملی انرژی فرآیند تولید، واردات، تبدیل، مصرف و قیمت های انرژی را با توجه به فروض اقتصادکلان و فاکتورهای مالی، بازارهای جهانی انرژی، منابع قابل دسترس و هزینه‌ها و مشخصه‌های اجرایی تکنولوژی‌های انرژی و ویژگی‌های جمعیتی کشورها (نظیر تعداد متولدین، تعداد ازدواج، .....) برنامه‌ریزی و طراحی می‌نماید. سیستم مدل سازی انرژی ملی توسط سازمان مدیریت اطلاعات انرژی و وزارت انرژی امریکا طراحی می‌گردد. در این مقاله یک دورنمایی از عملکرد ، اهداف و متدلوژی این سیستم و مقایسه آن با مدل جهانی انرژی اوپک ارائه می شود.

سازمان مدیریت اطلاعات انرژی ایالات متحده امریکا (EIA)[1] با استفاده از متدلوژی سیستم مدل سازی ملی انرژی(NEMS) [2] به برنامه‌ریزی انرژی، اقتصادی، محیطی و شرایط ایمنی ناشی از به کارگیری سیاست های انرژی آلترناتیو[3] و فروض مختلف بازارهای انرژی در ایالات متحده می‌پردازد. این برنامه‌ها همه ساله تا افق ۲۰۲۰ اجرا و پیش بینی می‌گردد. انتخاب این محدوده زمانی به این دلیل است که فرض می شود در آن دوره، تکنولوژی، شرایط جمعیتی و اقتصادی به اندازه کافی به منظور تشریح و تحلیل بازارهای انرژی با یک درجه قابل قبولی از اعتماد درک شده است. سیستم مدل سازی ملی انرژی یک چارچوب سازگار و منطقی برای ارائه تاثیرات متقابل پیچیده سیستم انرژی ایالات متحده و واکنش‌های آن به یک حیطه وسیعی از فروض سیاست های متناوب (یا ابتکار عمل سیاستی)را میسر می‌سازد.معیارهای پیش‌بینی متعددی توسط سیستم مدل سازی ملی انرژی، توسعه داده شده است و همه ساله در چشم انداز سالیانه انرژی (AEO)[4] منتشر می گردد. برای مثال برحسب مورد اگر سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) در برابر برخی سیاست‌ها فاقد عکس‌العمل باشد، چشم انداز سالیانه انرژی فروضی را که تمامی قوانین و مقررات موجود و سیاست هایی را که بدون تغییر مانده‌اند و یا از انعطاف پذیری لازم و سازگار با بخش انرژی برخوردار نیست مجدداً طرح‌ریزی می‌نماید. همچنین تحلیل گران EIA برخی مطالعات خاص را در پاسخ به تقاضای کنگره ایالات متحده، دفتر سیاسی و امور بین‌الملل وزارت انرژی ایالات متحده (DOE)[5]، دیگر دفاتر در DOE و آژانس های دولتی فراهم می سازند.اولین ویرایش سیستم مدل سازی ملی انرژی که در دسامبر (۱۹۹۳)ارائه گردید، جهت توسعه پیش‌بینی‌های ارائه شده در چشم انداز سالیانه انرژی سال ۱۹۹۴ مورد استفاده قرار گرفت.[6] سیستم مدل سازی ملی انرژی که در این مقاله مورد بررسی قرار می گیرد آخرین ویرایش آن می‌باشد که نتایج این سیستم در نشریه چشم انداز سالیانه انرژی ۱۹۹۸ ارائه شده است. این اولین گزارشی است که افق کاری خود را تا سال ۲۰۲۰ گسترش داده است.پیش‌بینی‌های سیستم مدل سازی ملی انرژی را نمی‌توان به تنهایی برای آینده‌نگری و سیاست گذاری استفاده نمود، زیرا این پیش بینی‌ها مبتنی بر فروض کلیدی مطابق با واقعیت‌های سیستم انرژی ایالات متحده است. برای مثال

از جمله این فروض می توان به میزان برآوردی حجم منابع اولیه سوخت های فسیلی که از نظر اقتصادی قابل اکتشاف هستند، تغییرات در عرضه و تقاضای انرژی جهانی، روند تکنولوژی های جدید و نفوذ آنان به بازارهای تجاری و خارجی یا دورنمای فعالیت های دولت و یا سیاست های آن اشاره نمود.سیستم مدل سازی ملی انرژی را می توان جهت تجزیه و تحلیل اثرات موجود و ارائه شده توسط قوانین دولتی و مقررات مربوط به تولید انرژی و کاربرد آن، اثرات ناشی از تولید انرژی های نو و پیشرفته، تبدیل و تکنولوژی های مصرفی، اثرات افزایش استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، ذخایر بالقوه ناشی از افزایش کارایی استفاده از انرژی و تغییر در سطوح انتشار گازهای گلخانه‌ای (انتشار کربن) که احتمالاً در نتیجه سیاست هایی نظیر طرح اصلاح عملی پاکیزگی هوا در سال ۱۹۹۰ س (CAA۹۰) ۷و قواعد استفاده از سوخت های متنوع یا اصلاح شده و سیاست تغییر آب و هوا۸ اتخاذ شده است به کار گرفت. از مهمترین قابلیت هایی که سیستم مدل سازی ملی انرژی قادر به تجزیه و تحلیل آن می باشد، عبارتست از:

۱-بررسی تاثیر سیاست های مالیاتی انرژی بر روی اقتصاد(ایالات متحده)و سیستم انرژی آن کشور.

۲-تجزیه و تحلیل واکنش ها در میان سیستم انرژی و سیستم های اقتصادی کشور به تغییرات شرایط بازار جهانی نفت ناشی از سطوح تغییرات تولید خارجی و تقاضا در کشورهای در حال توسعه

۳-بررسی تأثیر تکنولوژی های جدید روی الگوهای مصرف، تولید و انتشار گازهای گلخانه ای (انتشار کربن).۹

۴-بررسی تاثیر سیاست های مشخص نظیر کاربرد اجباری ابزار کارا و رعایت استانداردها روی مصرف انرژی

۵-تجزیه و تحلیل محدودیت های مصرف سوخت (برای مثال لزوم استفاده از ترکیبات اکسیژن دار و اصلاح فرمول بندی گازوئیل یا لزوم استفاده از وسایل نقلیه چند منظوره (از لحاظ مصرف سوخت) بر روی انتشار گازها، عرضه انرژی، قیمت ها و رشد اقتصادی.

۶-بررسی تاثیر تولید و قیمت نفت خام و گاز طبیعی در نتیجه بهبود و دستیابی به تکنولوژی های جدید.

۷-بررسی تاثیر قیمت های انرژی، مصرف انرژی و تولید برق در واکنش به سیاست های به سازی کربن نظیر سهم انتشار گاز گلخانه‌ای یا اجازه ورود به سیستم های مبادله ای.۱۰

سیستم مدل سازی ملی انرژی علاوه بر ارائه تجزیه و تحلیل فعالیت های بخش انرژی در نشریه AEO، برای مطالعات متعددی در وزارت انرژی ایالات متحده (DOE) استفاده می گردد. مطالعات اخیر که در دفتر سیاست و امور بین الملل و دفتر بهینه‌سازی انرژی وزارت انرژی صورت پذیرفته به بررسی تجزیه و تحلیل های اثرات پایین بودن قیمت های برق(که به سبب تجدید ساختاری صنعت که با سرعت بیشتری به علت تحقیق و توسعه (RD) در تکنولوژی های مصرفی بهبود یافته است)، هزینه های سرمایه پایین تکنولوژی های تولید منابع تجدیدپذیر و تحلیلی از سیاست های به سازی کربن پرداخته شده است.۱۱ از دیگر مطالعات سیستم مدل سازی ملی انرژی می توان به تجزیه و تحلیل هزینه - فایده و اثرات اقتصادی واردات نفت برای دیوان محاسبات اداری۱۲ و تجزیه و تحلیل سیاست های به سازی کربن برای آژانس حمایت از محیط زیست ایالات متحده۱۳ اشاره نمود. دو عاملی که بیشتر مورد تاکید قرار گرفت یکی برنامه (R-VT) سناتور جفورد۱۴ بود که به تسهیل دستیابی به تغییرات و تاثیرات آن روی صنعت برق اشاره می نماید۱۵ و دیگری سند ۶۸۷« سنا» است که به سهم استانداردهای تجدیدپذیر و محدودیت های انتشار گازهای گلخانه‌ای (انتشار کربن)، دی‌اکسیدسولفور و نیتروژن اکسید توسط ژنراتورهای صنعت برق تاکید داشت. سیستم مدل سازی ملی انرژی همچنین برای تحلیل های تجدید ساختار صنعت برق و قیمت های نسبی در سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) استفاده می گردد.۱۶

۱- ویژگیهای سیستم مدل سازی ملی انرژی

■ تاثیرات متقابل بازار انرژی

یکی از مهمترین وظایف سیستم مدل سازی ملی انرژی، شناسائی و ارائه مهمترین تاثیرات متقابل عرضه و تقاضا در بازا رهای انرژی ایالات متحده است. در این کشور عمدتاً بازارهای انرژی بر اساس تاثیرات متقابل اقتصادی بنیادی عرضه و تقاضا بنا شده است. آیین نامه ها و سیاست های دولت می تواند تاثیر قابل توجهی بر این سیستم اعمال نمایند، اما اکثر این تصمیمات بر روی قیمت های سوخت و الگوهای مصرف، تخصیص منابع و تکنولوژی های انرژی که بخش خصوصی یا کمپانی هایی که سعی در بهینه سازی منافع شان دارند، را تحت تاثیر قرار می دهند. سیستم مدل سازی ملی انرژی رفتار بازار تولیدکنندگان و مصرف کنندگان انرژی در سطح بخشی را که برای تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از پیشرفت های تکنولوژیکی و به سازی های سیاستی مفید می باشد، تشریح می نماید.

■ تاثیرات متقابل عرضه، تقاضا و تبدیل انرژی

سیستم مدل سازی ملی انرژی به صورت سیستم چند بخشی طراحی شده است. چهار بخش تقاضای End-Use، مصرف سوخت را در بخش های خانگی، تجارتی، حمل و نقل و صنعتی با توجه به قیمت های سوخت تحویلی، نوسانات متغیرهای کلان اقتصادی و مشخصه های تکنولوژی، ارائه می نماید. در وهله اول بخش های عرضه سوخت و تبدیل، سطوح تولید داخلی، واردات، هزینه های انتقال و قیمت های سوخت که مورد نیاز برای تامین تقاضاهای داخلی و صادراتی انرژی هستند را با توجه به ویژگی های منابع اولیه، زیربنای صنعت و تکنولوژی، شرایط بازار جهانی محاسبه می نماید. این بخش ها برای حصول به تعادل عرضه و تقاضای انرژی برای هر سوخت، نسبت به یکدیگر دارای واکنش های متقابل می باشند. به لحاظ طراحی چند بخشی این سیستم، هر بخش را می توان با متدولوژی مناسب خاص آن بخش طراحی و ارائه نمود. همچنین چند بخشی بودن این سیستم، ایمنی و آزمون طراحی سیستم مدل سازی ملی انرژی را در حیطهٔ چند منظوره تسهیل می سازد.

■ تاثیرات متقابل سیستم انرژی و اقتصاد داخلی

سطح عمومی فعالیت های اقتصادی معمولاً توسط تولید ناخالص داخلی (GDP) اندازه گیری می شود. این متغیر به طور نسبی به عنوان یک متغیر توضیحی یا شاخص برای برنامه ریزی مصرف انرژی در سطح بخشی و منطقه ای مورد استفاده قرار می گیرد. تغییرات محصول ناخالص داخلی در ابتدا، قیمت های انرژی و دیگر فعالیت های سیستم انرژی، رشد و فعالیت های اقتصادی را تحت تاثیر قرار می دهد. سیستم مدل سازی ملی انرژی قادر به نمایش و تحلیل تعامل میان رشد اقتصادی و سیستم انرژی کشور است. به این ترتیب تغییر در قیمت های انرژی، متغیرهای مهم کلان اقتصادی (نظیر تولید ناخالص داخلی، درآمد

تحقیقی پیرامون مدلسازی بخش جهانی انرژی؛ یک تجزیه و تحلیل ایستای مقایسه‌ای

سیستم مدلسازی ملی انرژی EIA و مدل جهانی انرژی؛ یک تجزیه و تحلیل

قابل تصرف سرانه، تولید صنعتی، فعالیت های ساختمان سازی، اشتغال و نرخ های بهره) منجر به تغییر در برنامه ریزی مصرف انرژی و تصمیمات گسترش ظرفیت تولید می گردد.

■ تاثیرات متقابل بازار انرژی داخلی و خارجی

قیمت های جهانی نفت نقش مهمی در عرضه انرژی داخلی، تصمیم گیری تقاضا و فروض قیمت نفت که نقطه شروعی برای برنامه ریزی سیستم انرژی است، ایفا می کند. همچنین سطح تولید و مصرف نفت در سیستم انرژی ایالات متحده تاثیر معنی داری بر بازارهای جهانی و قیمت های نفت دارد. بخش انرژی جهانی در سیستم مدل سازی ملی انرژی، تقاضا و تولید جهانی نفت را همانند بازار داخلی محاسبه نموده و متوسط قیمت جهانی نفت خام و عرضه معین آن و فرآورده های نفت خام را برآورد می نماید. در این فرآیند، برنامه ریزی های بازار داخلی و خارجی نفت به طور درونی سازگار هستند. واردات و صادرات گاز طبیعی، برق و زغال سنگ (که کمتر تحت تاثیر شرایط بازار جهانی هستند) در بخش های عرضه سوخت به طور انفرادی مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرند.

■ تصمیم گیری اقتصادی در افق برنامه ریزی

امروزه تولید و مصرف محصولات انرژی توسط تصمیمات سرمایه گذاری جهت توسعه منابع انرژی و حصول ذخیره سرمایه برای انرژی های در حال مصرف، تحت تاثیر قرار می گیرد. به طور مشابه تولید و مصرف انرژی در افق برنامه ریزی تحت تاثیر تصمیمات اتخاذ شده حال و گذشته قرار دارد. تصمیمات سرمایه گذاری جاری به انتظارات در رابطه با وضعیت و شرایط آینده بازارها بستگی دارد. برای مثال یک پیش‌بینی دربارهٔ انتظار افزایش قیمت های انرژی در آینده، احتمال اتخاذ تصمیمات جاری برای سرمایه گذاری جهت توسعه منابع انرژی آلترناتیو۱۷ را افزایش می دهد. در تمامی زیربخش های سیستم مدل سازی ملی انرژی فروض متنوعی درباره افق های برنامه ریزی، اطلاع از انتظارات آینده، و نقش انتظاراتشان در تصمیم گیری اقتصادی به کار گرفته می شود.

■ بسته نرم افزاری

سیستم مدل سازی ملی انرژی جهت تطابق و سازگاری با نیازهای سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) کاملاً مستند و بایگانی شده است. سازمان مدیریت اطلاعات انرژی، سیستم مدل سازی ملی انرژی را روی سه ایستگاه کاری ۶۰۰۰ / EIA RS تحت سیستم عامل AIX ویرایش ۴.۲ اجرا می نماید. فایل داده ها و فروض مورد نیاز جهت اجرای این برنامه (برای گزارش در نشریه AEO) بر روی یک کامپیوتر مجهز راه‌اندازی شده و به طور مشابه اجرا می گردد، اما نشریه چشم انداز سالیانه انرژی مبانی ریاضی مدل ها را ارائه نمی نماید. سیستم مدل سازی ملی انرژی یا زیربخش های آن، در آزمایشگاه انرژی منابع تجدیدپذیر راه‌اندازی شده است، از جمله دیگر مواردی که این برنامه در آن سازمان ها راه‌اندازی شده است می توان به آزمایشگاه های ملی، مؤسسه تحقیق نیروی برق و چند بنگاه مشاوره‌ای بخش خصوصی اشاره نمود.

۲- مبانی نظری سیستم مدل سازی ملی انرژی

- مقدمه

سیستم مدل سازی ملی انرژی به صورت یک سیستم چند بخشی۱ طراحی شده است. این سیستم شامل یک حوزه تلفیق و یک مجموعه نسبتاً مستقل بخش های تحلیلی شامل سیستم انرژی داخلی، بازار جهانی انرژی و اقتصاد داخلی را در برمی گیرد. سیستم انرژی در اقتصاد داخلی به بازارهای عرضه، فعالیت های تبدیل و بخش های مصرفی، مصرف نهایی تجزیه می گردد. سیستم مدل سازی ملی انرژی یک الگویی از بازارهای اقتصاد داخلی انرژی ایالات متحده است. به عنوان مثال، پیش‌فرض تصمیمات تولید، تبدیل یا مصرف تولیدات انرژی مستلزم به کارگیری منافع اقتصادی حاصل از اتخاذ اینگونه تصمیمات است. بسیاری از بخش های سیستم مدل سازی ملی انرژی صراحتاً سیاست های اقتصادی اتخاذ شده در بخشی از سیستم انرژی که مدل سازی شده است را مجدداً ارزیابی می نمایند. به منظور تشریح این تصمیمات، سیستم مدل سازی جزئیات کاملی از طبقات تولیدات انرژی و مکان های منطقه‌ای تولید و مصرف انرژی ارائه می نماید. البته ارائه این جزئیات ضروری نیست، زیرا علم اقتصاد از تخصیص تولیدات انرژی به شدت توسط طبقه بندی تولید مورد بحث و تفاوت های منطقه‌ای براساس هزینه و عوامل دیگر، تحت تاثیر قرار می گیرد. جدول (۱) خلاصه‌ای از جزئیات تولید و تقسیمات منطقه‌ای سیستم مدل سازی ملی انرژی را نشان می دهد.

■ خصوصیات منطقه‌ای

از آنجائی که هزینه ها و قابلیت دستیابی و ویژگی های مصرفی انرژی می تواند به طور وسیعی در میان مناطقی که دارای ویژگی های خاصی هستند، تغییر یابد، لذا بخش تلفیقی سیستم مدل سازی ملی انرژی به طور مقدماتی مصرف انرژی و اطلاعات قیمتی را برحسب سطوح مناطق سرشماری شده فراهم می سازد. ۹ منطقه سرشماری شده در شکل (۱) نشان داده شده است. علاوه بر این بخش تلفیقی سیستم مدل سازی ملی انرژی برخی بازارهای درون بخشی انرژی در سطح منطقه‌ای را برای عرضه برق فراهم می سازد. مجزا نمودن منطقه‌ای، بازخورهای بازارهای معینی برای مصرف انرژی و سوخت مصرفی جهت تولید برق را امکان‌پذیر می سازد. در حالیکه بخش های سیستم مدل سازی ملی انرژی ساختارهای منطقه‌ای متفاوتی متناسب با خصوصیات بازارشان استفاده می کنند، آنها راه حل شان را به ساختار تقسیم‌بندی سرشماری شده جهت اعمال در بخش ها و گزارش برنامه ها، به یکدیگر متصل می سازند (و یا به طور انفرادی عمل می نمایند).

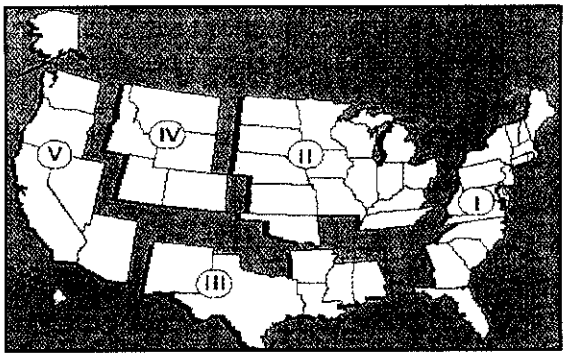
■ افق برنامه ریزی

افق برنامه‌ریزی برای یک شرایط میان مدت تا سال ۲۰۲۰ میلادی درنظرگرفته شده است. این دوره به این لحاظ انتخاب شده است که در این دوره ساختار اقتصاد، ماهیت بازارهای انرژی ومنطقه‌ای به اندازه کافی ازنظر ساختار و جزئیات منطقه‌ای به خوبی درک وشناخته شده است. درحال حاضرانتظار بر این است که سیاست های اتخاذ شده حداقل می تواند درطول سال های میان مدت تاثیربسزایی داشته باشد. سیستم مدل سازی ملی انرژی به جای سعی در دستیابی به برخی روش های برنامه ریزی شده از بازارهای انرژی سعی در دستیابی به شبیه‌سازی جهت ارائه روش تحلیلی و کمی برای بازار انرژی و سیاست های برنامه ریزی مورد استفاده قرار داده است. بدین ترتیب این سیستم در طول زمان (سال به سال) اجرا می گردد.

■ فروض اصلی

هر بخش سیستم مدل سازی ملی انرژی، فروض متعددی جهت تعیین پیش‌بینی تولید، تبدیل و مصرف محصولات انرژی

شکل (۱) مناطق سرشماری شده در سیستم مدل سازی ملی انرژی



جدول (۱): تقسیمات تولیدی و منطقه‌ای سیستم مدلسازی ملی انرژی

فعالیت انرژی	طبقات	مناطق
تقاضای خانگی	• ۵۰ خدمت End – Use	• تقسیم‌بندی براساس سرشماری ۹ منطقه
	• ۳ نوع ساختمان سازی • ۳۴ فن‌آوری End – Use	
تقاضای تجاری	• ۱۰ خدمت End – Use • ۱۱ نوع ساختمان تجاری • ۶۴ فن‌آوری End – Use	• تقسیم‌بندی براساس سرشماری ۹ منطقه
تقاضای حمل و نقل	• ۶ نوع اتومبیل • ۶ نوع کامیون • ۵۵ فن‌آوری ذخیره‌سازی سوخت • فن‌آوریهای بنزین، گازوئیل و ۴۰ سوخت آلترناتیو برای وسایط حمل و نقل	• تقسیم‌بندی براساس سرشماری ۹ منطقه
برق	• ۱۱ فن‌آوری فسیلی • ۷ فن‌آوری تجدیدپذیر • انرژی هسته‌ای اولیه و پیشرفته • قیمت‌گذاری براساس هزینه نهایی و هزینه متوسط توسعه ظرفیت	• ۵۰ منطقه عرضه برق • ۹ منطقه سرشماری شده برای تقاضا
منابع تجدیدپذیر	• باد، زمین‌گرمایی، انرژی خورشیدی، فتوولتائیک خورشیدی، ضایعات جامد شهری، تبدیل سوخت، Biomass، برق آبی	• ۵۰ منطقه عرضه برق • ۵ سازمان نفتی • تقسیم‌بندی براساس سرشماری ۹ منطقه
عرضه نفت	• مخازن واقع در خشکی و واقع در دریا، مخازن عمیق واقع در دریا، افزایش ظرفیت	• ۶ منطقه شامل ۴۸ مخزن واقع در خشکی • ۳ منطقه شامل ۴۸ مخزن واقع در دریا • ۳ منطقه در آلاسکا
عرضه گازطبیعی	• مخازن واقع در خشکی و واقع در دریا • مخازن عمیق واقع در دریا • گاز متان در معادن زغال سنگ • پوشش گازی • گازهای طبیعی مایع شده	• ۶ منطقه شامل ۴۰ مخزن واقع در خشکی • ۲ منطقه شامل ۴۸ مخزن واقع در دریا • ۳ منطقه در آلاسکا • ۵ ترمینال گازطبیعی مایع شده
تصفیه	• ۵۳ طبقه نفت خام • ۱ طبقه محصول • ۳۲ فن آوری • توسعه ظرفیت پالایش	• ۳ منطقه پالایش
عرضه زغال‌سنگ	• ۳ منطقه گوگرد • ۴ منطقه حرارتی • انواع معادن در زیرزمین و سطح زمین	• ۱۱ منطقه عرضه • ۳۰ منطقه تقاضا • ۶۰ منطقه صادراتی • ۲۰ منطقه وارداتی

در ایالات متحده ضروری است در بر می‌گیرد. سیستم مدل سازی ملی انرژی مبتنی بر این فرض است که بخش‌های انفرادی می‌تواند یک فرآیند همگرایی را برای کل سیستم فراهم سازند. در این سیستم از الگوریتم گوس - سایدل۱۸ برای به هم پیوستن معادلات هم زمان غیرخطی، که در اینجا ویژگی‌های شبیه سازی شده بازار انرژی ملی را تفسیر می‌نماید، استفاده می‌گردد. الگوریتم سیستم مدل سازی ملی انرژی و روش مدل سازی آن به طور موفقیت آمیزی در سیستم پیش بینی میان مدت (IFFS)۱۹ قبلاً ارائه شده است. اگرچه فرآیند سیستم مدل سازی ملی انرژی با سیستم پیش بینی میان مدت متفاوت می‌باشد ولی سیستم مدل سازی ملی انرژی جهت حصول به نتایج هیچ گونه مح-دودیتی را اضافه ن-می سازد و س-اختار مدل قدیمی را حفظ می کند. همان گونه که تجربه نشان می‌دهد، گ-اهی اوق-ات این روش، از طرق مت-فاوت جهت حصول به جواب نهایی همگرا می گردد، به علت دو طبقه وسیع از عدم پیوستگی‌ها در سیس-تم چند بخشی، روش های برنامه‌ریزی خطی توسط برخی بخش‌ها برای حرکت از یک نقطه به نقطه دیگر از فضای جواب چند وجهی استفاده می‌گردد. در بخش‌های دیگر، از توابع هموار همانند توابع پله‌ای ۲۰ یا توسط درون یابی خطی۲۱، استفاده می نمایند. این مباحث در سیستم مدل سازی ملی انرژی با فرض اینکه فضاهای بین درجات بخش‌ها به طور قابل قبولی کوچک هستند به کار گرفته می‌شوند. جزئیات بیشتر در ارتباط با مباحث همگرایی را در بخش های بعدی توضیح خواهیم داد.

۳- ساختار سیستم مدل سازی ملی انرژی

■ مروری بر بخش‌های سیستم مدل سازی ملی انرژی

همان گونه که در شکل (۲) نشان داده شده است، سیستم مدل سازی ملی انرژی شامل چهار بخش عرضه (نفت و گاز، انتقال و توزیع گازطبیعی، زغال سنگ و سوخت های تجدیدپذیر۲۲) دو بخش تبدیل (برق و تصفیه نفت خام)، چهار زیربخش برای تقاضا (خانگی، تجاری، حمل و نقل و بخش‌های صنعتی)، یک بخش شبیه سازی اثرات متقابل سیستم انرژی و اقتصاد (بخش فعالیت اقتصاد کلان) و یک بخش شبیه سازی اثرات متقابل انرژی جهانی و انرژی داخلی (بخش فعالیت جهانی انرژی) و یک بخش برای فراهم ساختن مکانیسمی جهت حصول به یک تعادل عمومی بازار در میان تمامی بخش‌ها (بخش تلفیق)۲۳ است.در اینجا به طور مختصر ساختار سیستم مدل سازی ملی انرژی را تشریح خواهیم نمود.۲۴

■ بخش تلفیق

شکل (۲) رابطه بخش تلفیق سیستم مدل سازی ملی انرژی را با هریک از بخش‌ها نشان می‌دهد. بخش تلفیق فرآیند حل سیستم مدل سازی ملی انرژی که یک فرآیند تکراری برای تعیین تعادل عمومی بازار انرژی در میان تمامی بخش‌های سیستم است را کنترل می‌نماید.بخش تلفیق به طور هم زمان با یک فرآیند تکراری تمامی بخش‌ها را تا زمانی که سیستم به یک تعادل اقتصادی عرضه و تقاضا در تمامی سطوح تولید و مصرف دست یابد اجرا می‌نماید. هریک از بخش‌ها که به ترتیب توسط بخش تلفیق فراخوانده شده با فرض اینکه تمامی متغیرهای دیگر در بازار انرژی ثابت هستند حل می‌گردد. این فرآیند تا زمانی که تمامی متغیرها در یک محدودهٔ خاصی که نشان دهنده همگرایی و حصول به مقادیر تعادلی است ادامه می‌یابد. این شرایط تعادلی هر ساله تا افق برنامه‌ریزی ۲۰۲۰ برای هر ۹ منطقه سرشماری شده صورت می‌پذیرد. در سیستم مدل سازی ملی انرژی هر بخش یا زیرمجموعه‌های از بخش‌ها را می‌توان به تنهایی به صورت مستقل از سایر بخش‌ها اجرا نمود. بخش‌ها بدون تداخل با یکدیگر اجرا و مقادیر آنان محاسبه می‌گردد و این مقادیر به عنوان یک عامل ثابت یا از پیش تعیین شده (برون زا) در ساختار داده‌های جهانی جهت اجرای سیستم مدل سازی ملی انرژی فراهم می‌گردد.همچنین بخش تلفیق دارای یک زیربخش سیاستگذاری نشر گازهای گلخانه‌ای (انتشار کربن) برای محاسبه میزان انتشار گاز گلخانه‌ای ناشی از مصرف سوخت جهت اتخاذ محدودیت‌ها یا سیاست های به سازی بر قیمت های انرژی برای تجزیه و تحلیل های سیاست بالقوه انرژی است.

■ بخش اقتصاد کلان

حوزه فعالیت اقتصاد کلان مجموعه ای از ابزارهای کلان اقتصادی موردنیاز برای بخش‌های انرژی و مکانیسم بازخور کلان اقتصادی برای درون سیستم مدل سازی ملی انرژی را فراهم می‌سازد. از متغیرهای مهم کلان اقتصادی این بخش می‌توان به تولید ناخالص داخلی (GDP)، نرخ های بهره، درآمد قابل تصرف و اشتغال اشاره نمود. در این بخش ابزارها و سیاست های صنعتی نیز برای ۳۵ صنعت محاسبه شده است. این بخش هسته نمایش معادلات رگرسیونی از مدل کلان اقتصادی DRI/CMGRAW-HILL U.S اقتصاد ایالات متحده را دربرمی گیرد.

■ بخش جهانی

بخش جهانی به مطالعه و بررسی پیرامون بازارهای جهانی نفت، محاسبه متوسط قیمت جهانی نفت و روند (منحنی) عرضه برای ۵ طبقه نفت خام وارداتی برای بخش بازار نفت سیستم مدل سازی ملی انرژی در پاسخ به تغییر تقاضاهای واردات ایالات متحده، می‌پردازد. این بخش همچنین روندهای (منحنی های) عرضه فرآورده‌های نفتی جهانی شامل عرضه فرآورده های نفتی اکسیژنه را برآورد می نماید.

■ بخش مخارج خانوار

این بخش برآوردهایی از متوسط مخارج مستقیم خانوار یا انرژی مصرفی در بخش خانگی و بخش حمل و نقل وسایل موتوری خصوصی را فراهم می‌سازد. مخارج انرژی برنامه‌ریزی شده خانوار همان طور که کارایی مصارف End-Use خانگی و وسایط نقلیه تغییر می‌یابد، تغییرات در قیمت انرژی خانگی و قیمت بنزین وسایل نقلیه تعیین شده در سیستم مدل سازی ملی انرژی را یکسان می‌سازد. همچنین متوسط مخارج انرژی برای خانوارها در گروه های درآمدی و مناطق سرشماری شده برآورد می گردد.

■ بخش های تقاضای خانگی و تجاری

بخش تقاضای خانگی مصرف انرژی، بخش خانگی را برحسب نوع ساختمان سازی و مصرف کنندگان نهایی (End-Use) باتوجه به قیمت های انرژی تحویلی، دستیابی به منابع تجدیدپذیر انرژی و شروع خانه‌سازی پیش بینی می نماید. بخش تقاضای تجاری مصرف انرژی را برحسب انواع مصارف ساختمان سازی تجاری و غیر ساختمان سازی و مصرف کنندگان نهایی (End-Use) در آن بخش با توجه قیمت های تحویلی انرژی، دستیابی منابع تجدیدپذیر انرژی و متغیرهای نرخ بهره و محدودیت طبقاتی پیش بینی می نماید. در این دو بخش ذخیره تجهیزات یا خدمات اصلی مصرف کنندگان نهایی (End-Use)، فناوری های پیشرفته شامل نمایش فناوری های انرژی تجدیدپذیر و کاربرد استانداردها برآورد می گردد.

■بخش های تقاضای صنعتی

این بخش مصرف انرژی حرارتی و برق و مواد خام را در ۱۶ گروه صنعتی با توجه به قیمت های تحویلی انرژی و متغیرهای کلان اقتصادی نظیر اشتغال و مقدار بازده هر صنعت پیش بینی می نماید. در این بخش صنایع در سه گروه انرژی بر و غیر انرژی بر و غیرصنعتی طبقه بندی می گردد. از ۸ صنعت انرژی بر، ۷ صنعت در بخش تقاضای صنعتی برای دیگ بخار، بخار آب، تولید برق، ساختمان سازی و پروسه تولید، مدل سازی شده است. این بخش همچنین صنایع بازیافت را دربرمی گیرد. کاربرد انرژی برای تصفیه نفت در بخش بازار نفت خام مدل سازی شده و همچنین مصرف برنامه ریزی شده در کل صنایع را در برمی گیرد.

■بخش تقاضای حمل و نقل

در این بخش مصرف سوخت های بخش حمل و نقل شامل تولیدات نفتی، برق،متانول، اتانول، گازطبیعی فشرده شده و هیدروژن برحسب روش حمل و نقل، نوع فرآورده حمل شده و حجم سوخت باتوجه به قیمت های تحویلی سوخت و متغیرهای کلان اقتصادی نظیر درآمد شخصی قابل تصرف، GDP، جمعیت، نرخ های بهره و مقدار تولید صنایع در بخش حمل و نقل پیش بینی می نماید. ناوگان حمل و نقل به طور مجزا امکان تجزیه و تحلیل پروژه طرح اصلاح عملی پاکیزگی هوا ۱۹۹۰ (CAAA۹۰) و دیگر پیشنهاداتی که در چارچوب قانون قرار دارد را میسر می سازد و همچنین این بخش به طور ضمنی شرایط مطلوب سوخت در وسایل نقلیه را مورد بررسی قرار می دهد.

■ بخش بازار برق

در این بخش تولید، انتقال و قیمت گذاری برق با توجه به قیمت های تحویلی زغال سنگ، تولیدات نفتی و گازطبیعی، هزینه‌های تولید برحسب منابع تجدیدپذیر، متغیرهای کلان اقتصادی نظیر هزینه سرمایه و سرمایه گذاری داخلی و جریان های بار الکتریکی برق و تقاضا ارائه می گردد. این بخش شامل سه زیربخش اصلی برنامه ریزی توسعه ظرفیت، توزیع سوخت و تأمین مالی و قیمت گذاری می گردد. تولید، انتقال و تجارت شرکت های غیردولتی در برنامه ریزی و توزیع زیربخش ها ارائه شده است. همچنین این بخش هزینه های مربوط به استفاده از اورانیوم جهت تولید برق را برآورد می نماید. تمامی انتخاب های برآوردی پروژه CAAA۹۰ به طور ضمنی در گسترش ظرفیت و تصمیمات توزیع ارائه شده است. در این تصمیمات دو نوع تکنولوژی جدید تولید برق و منابع تجدیدپذیر به طور مستقیم با یکدیگر رقابت می نماید.

■بخش سوخت های تجدیدپذیر

این بخش شامل زیر بخش‌های عرضه انرژی بیوماس، ضایعات جامد شهری، انرژی باد، انرژی برق خورشیدی و انرژی زمین گرمایی است. در این بخش برآوردهایی از عرضه منابع طبیعی، هزینه و معیارهای اجرایی را برای بخش بازار برق فراهم می سازد. این بخش موقعیت بازار را از جهت نفوذ فن آوری های منابع تجدیدپذیر به کار گرفته شده جهت تولید برق متمرکز و حوزه های تقاضای مصرف کنندگان نهایی (End-Use) از برق خارج از شبکه و منابع تجدیدپذیر و غیرتجدیدپذیر را ارزیابی می نماید.

■بخش عرضه نفت و گاز

در این بخش عرضه داخلی نفت خام و گازطبیعی درون یک چارچوب سازگار که روابط درونی بین منابع مختلف عرضه نظیر منابع واقع در ساحل خشکی۲۵ و منابع واقع در دریا۲۶ و منابع واقع در آلاسکا توسط روش های متعارف و غیرمتعارف نظیر افزایش اکتشاف نفت و اکتشاف گازهای ناشناخته از تشکیلات گازی، پوسته‌ها و بستر زغال سنگ را ارائه می نماید.این چارچوب تجزیه و تحلیل هزینه فایده برای سرمایه گذاری و حفاری جهت استخراج منابع با توجه به قیمت های نفت خام و گازطبیعی، منابع قابل اکتشاف داخلی و فن آوری فراهم می سازد. توابع تولید نفت و گاز در ۱۲ منطقه شامل ۳ منطقه واقع در دریا و سه منطقه در آلاسکا برآورد شده است. در این بخش همچنین منابع خارجی گازطبیعی شامل خط لوله واردات و صادرات از کانادا و مکزیک و واردات و صادرات گازمایع را دربرمی گیرد. در این بخش عرضه نفت خام نهاده لازم را برای بخش بازار نفت در سیستم مدل سازی ملی انرژی جهت تبدیل و ترکیب فرآورده های نفتی تصفیه شده فراهم می سازد.

■بخش انتقال و توزیع گازطبیعی

در این بخش انتقال، توزیع و قیمت گذاری گازطبیعی با توجه به تقاضای مصرف کنندگان نهایی (End-Use) برای گازطبیعی و دستیابی به گازطبیعی داخلی و مبادله شده در بازار جهانی صورت می پذیرد. خطوط جریان های گازطبیعی یک جریان به هم پیوسته‌ای از شبکه خطوط داخلی است که مناطق عرضه داخلی و خارجی را با ۱۲ منطقه تقاضا متصل می سازد. این قابلیت، امکان تجزیه و تحلیل تأثیرات محدودیت های ظرفیت منطقه‌ای در شبکه خطوط گازی بین ایالتی و تعیین ظرفیت خطوط و توسعه ذخایر مورد نیاز را میسر می سازد. همچنین در این بخش به شناسایی زمان های پرفشار و کم فشار انتقال گازطبیعی مطابق نیاز نیز صورت پذیرفته است. در الگوریتم قیمت گذاری این بخش نیز فروض کلیدی شبکه ارتباطی و تعرفه های مربوطه لحاظ شده است.

■ بخش بازار نفت

این بخش قیمت های محصولات نفتی، نفت خام و محصولات وارداتی و عملیات تصفیه داخلی شامل مصرف سوخت، با توجه به قیود تقاضا برای تولیدات داخلی نفت خام، دسترسی و قیمت نفت وارداتی، تولید داخلی نفت خام، گازطبیعی و سوخت های الکلی، پیش‌بینی می‌نماید. بخش بازار نفت عملیات پالایش را برای سه منطقه وزارت نفت در امور بخش دفاعی۲۷(PADD) فاز اول، فاز پنجم و همچنین فازهای ۲ و ۳ و ۴ فراهم می سازد. این بخش جهت اجرای عملیات پالایش از فرآیند مشابه حوزه جهانی استفاده می نماید.در این بخش به طور صریح مدل های مورد نیاز پروژه CAAA۹۰ و هزینه‌های سوخت اتومبیل های جدید نظیر فرآورده های نفتی اکسیژنه و بنزین تحویل شده و تولید و ترکیب فرآورده های نفتی اکسیژنه جهت تعدیل بنزین، فراهم می گردد. هزینه ها در این بخش شامل گسترش ظرفیت برای پروسه واحدهای تصفیه است. قیمت های انرژی برای مصرف کنندگان نهایی(End-Use) براساس هزینه نهایی تولید بعلاوه هزینه های حاشیه‌ای۲۸ نظیر هزینه های توزیع، مالیات های ایالتی و فدرالی و هزینه های زیست محیطی محاسبه می گردد.

■بخش بازار زغال سنگ

این بخش فرآیند استخراج معدن، حمل و نقل و قیمت گذاری زغال سنگ را با توجه به تقاضای مصرف کنندگان نهایی (End-Use) برحسب نوع و ویژگی های فیزیکی زغال سنگ

نظیر گرما، مقدار گوگرد، شبیه‌سازی می‌نماید. منحنی عرضه زغال سنگ تابعی از هزینه‌های سوخت، بهره‌وری نیروی کار و هزینه‌های نهاده‌های اولیه است. این تابع به ۱۲ نوع زغال سنگ که از نظر درجه مرغوبیت، میزان گوگرد و فرایند استخراج متفاوت می‌باشد تقسیم می‌گردد. تولید و توزیع زغال سنگ برای ۱۱ منطقه عرضه و ۱۳ منطقه تقاضا با توجه به هزینه‌های حمل و نقل و روند هزینه نهاده های اولیه برآورد می‌گردد. همچنین حوزه زغال سنگ تقاضای واردات و صادرات زغال سنگ ایالات متحده را پیش‌بینی می‌نماید. این بخش در سطح جهانی ۴ نوع زغال سنگ را در ۱۰ منطقه صادراتی و ۲۰ منطقه وارداتی مبادله می‌نماید. در هر دو بخش داخلی و جهانی بازار زغال سنگ فرآیند شبیه سازی براساس برنامه ریزی خطی صورت می‌پذیرد.

■ چند بخشی بودن[۲۹]

چند بخشی بودن سیستم مدل سازی ملی انرژی بیانگر یک سیستمی از واحدهای جامعی است که هر واحد دارای یک عمل و وظیفه معین و از قبل تعریف شده است. به طور کلی این مفهوم با ساختار بازارهای انرژی که می توان آن را به صورت انواع عرضه، تبدیل و بخش های تقاضا (که به طور کامل از یکدیگر مجزا هستند) نمایش داده شود، سازگار است. بدلیل ماهیت غیرهمگن بازارهای انرژی به طور مقتضی نمی‌توان یک متدلوژی واحدی را برای تمامی بخش‌های عرضه سوخت، تبدیل انرژی و تقاضای مصرف کنندگان نهایی (End-Use)ارائه نمود. سیستم چند بخشی بودن این امکان را فراهم می سازد تا متدلوژی و همگرایی که برای هر بخش مناسب تر است استفاده گردد. از این گذشته چند بخشی بودن قابلیت اداره نمودن انفرادی بخش ها یا تسهیل جانشینی بخش‌ها برای ارائه یک وظیفه معین تا زمانی که نیازهای بین گروهی بخش ها تامین گردد را میسر می سازد. اثرات متقابل میان بخش ها توسط مکانیسم تلفیق کنترل می گردد.

■ هماهنگی بخش‌ها و داده‌ها:

ارتباطات مورد نیاز در میان بخش ها از مرز مشترک آنها از طریق سیستم هماهنگ کننده تلفیق فراهم می گردد. جریان های اطلاعاتی در میان بخش های اصلی عبارتند از: قیمت های تحویلی و مقادیر مصرفی انرژی برحسب تولید، منطقه و بخش های اقتصادی است کاربران سیستم مدل سازی ملی انرژی می توانند مقادیر داده ها و فروض اصلی برای بخش هایی که تمامی کاربران با آن مواجه هستند را تعدیل نمایند، و بدین ترتیب تحلیل های مورد استفاده در بخش های انفرادی را تسهیل می سازد. برای مثال در بخش بازار برق در شرایط عادی قیمت های تحویلی سوخت ها را از بخش های عرضه سوخت دریافت می کند اما کاربران می توانند این قیمت ها را به طور سطحی با میسر شدن انعطاف پذیری بیشتر در استفاده از بخش های انفرادی از سیستم، مشخص سازند.

■ ساختار داده‌ها

تصور کلی ساختار داده های جهانی سیستم مدل سازی ملی انرژی، به عنوان مرکزی برای ساختار سیستم مدل سازی محسوب می گردد. ساختار داده‌های جهانی سیستم مدل سازی ملی انرژی به عنوان یک مجموعه‌ای از داده‌های به هم مرتبط در میان هر یک از ۳۰ بخش سیستم مدل سازی ملی انرژی است. ساختار داده های جهانی این سیستم، قیمت‌ها و مصرف، متغیرهای کلان اقتصادی، تولیدات انرژی، حمل‌و نقل و تبدیل اطلاعات، همچنین تعمیم دادن متغیرهای کنترلی مدل، پارامترها و فروض را در بر می گیرد. ساختار داده‌های جهانی متغیرهایی که به طور موضعی درون بخش ها تعریف می گردد و با دیگر بخش‌ها مرتبط نمی‌باشند را خارج می سازد.یک زیر مجموعه مهم از ساختار داده‌های جهانی، داده‌های بازار انرژی است که قیمت ها و مقادیر بخش مصرف کنندگان نهایی (End-Use) بازار انرژی را از سوخت های مورد استفاده برای متعادل ساختن و تعادل انرژی در سیستم مدل سازی ملی انرژی فراهم می سازد: داده‌های بازار انرژی شامل متغیرهای کلیدی که به طور مستقیم توسط بخش تلفیق در همگرایی الگوریتم سیستم استفاده می گردد، است. همچنین متغیرهای کلان اقتصادی و مبادلات جهانی اضافی در راه حل الگوریتم مورد آزمون قرار گرفته است.

شکل (۲): ساختار سیستم مدلسازی ملی انرژی