سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی EIA: رویکرد نظری

نویسنده: رضا محسنی [1]

چکیده

سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی توسط سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) برای فراهم آوردن یک چارچوب محاسباتی سازگار، کامل، اقتصادی و انعطاف‌پذیر به منظور تجزیه و تحلیل و روندهای برنامه‌ریزی در بازارهای جهانی انرژی توسعه داده شده است. سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی مشاهدات و برنامه‌ریزی‌های مصرف انرژی را در میان حیطه‌ای از منابع انرژی اولیه، همگرایی کشورها و مناطق اصلی دنیا و برنامه‌ریزی در افق زمانی پنجساله ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ میسر می‌سازد و جداول مربوطه در یک فرمت خاص در نشریه سالیانه IEO منتشر می‌گردد، این مقاله دورنمای کلی از سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی نظیر تشریح پایگاه اطلاعاتی تحت بررسی، تشریح فنی و جزئی، مدل‌ها، دیاگرام‌های سیستم و جریان‌های زیرسیستم، تشریح معادلات و تعاریف و منابع تمامی متغیرهای مورد استفاده در سیستم را فراهم می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: انرژی، سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی، سازمان مدیریت اطلاعات انرژی.

۱- مقدمه

سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی (WEPS)[2] یک چارچوب محاسباتی برای برنامه‌ریزی مدل‌های مستقل و فروض پیش‌بینی شدت انرژی‌بری فعالیت‌های اقتصادی (نسبت مصرف کل انرژی به GDP)، نرخ تجهیزات انرژی مورد نیاز برای گازطبیعی، زغال سنگ و برق آبی و دیگر منابع تجدیدپذیر را با یکدیگر ترکیب نموده و برنامه‌ریزی‌های مصرف انرژی جهانی را که به طور

۱- کارشناسی ارشد علوم اقتصادی و همکار پژوهشی دفتر برنامه‌ریزی انرژی وزارت نیرو

2- World Energy Projection System

سالانه توسط سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA)[1] در نشریه IEO[2] منتشر می‌گردد، ارائه می‌نماید. دو مدل مستقل سیستم برنامه‌ریزی انرژی جهانی به ترتیب، مدل جهانی انرژی (IEM)[3] (که یک بخش از سیستم مدلسازی ملی انرژی است) و مدل انرژی هسته‌ای جهانی (INM)[4] است که در آن از مدل PC-Version (PC-INM)[5] برای برنامه‌ریزی‌های نفت و مصرف انرژی هسته‌ای بهره گرفته شده است. هر دو این مدل‌ها در سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی ترکیب شده و نتایج آن در IEO منتشر می‌گردد. مدل انرژی جهانی همچنین برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای از تولید نفت و ظرفیت تولیدی نفت را برآورد می‌نماید.

همچنین پروژه ظرفیت سازی نیروگاه اتمی و جریان‌های تجاری زغال سنگ جهانی (اگرچه این مدل‌ها به طور ذاتی و طبیعی به سیستم برنامه‌ریزی انرژی جهانی مرتبط نمی‌باشند)، توسط مدل‌های مستقل اجرا می‌گردد و نتایج آن در نشریه IEO گزارش می‌گردد. پروژه ظرفیت سازی نیروگاه اتمی

براساس دو سناریو توسعه داده شده است که عبارتند از: سناریوی اول، برنامه‌ریزی در حالت نرخ رشد پایه (مرجع)[6] و رشد اقتصادی پایین که مبتنی بر دانش تحلیلی برنامه‌های انرژی هسته‌ای در کشورهای مختلف توسعه داده شده است. سناریوی دوم، برنامه‌ریزی در موقعیت رشد اقتصادی بالا است که براساس سیستم ارزیابی هسته‌ای هماهنگ (WINES)[7] که یک مدل اشتقاقی تقاضا است، اجرا می‌گردد. برای استنتاج جریان‌های تجاری زغال سنگ جهانی از زیربخش صادرات زغال سنگ (CES)[8] سیستم مدل‌سازی ملی انرژی استفاده شده است.

سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی، مجموعهٔ کاملی از صفحه گسترده‌هایی مبتنی بر کامپیوترهای شخصی است که داده‌های ترکیبی، فروض خاص، فرایندهای تجزیه و تحلیل توصیفی و برنامه‌ریزی مدل‌ها را دربرمی‌گیرد. سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی، برنامه‌ریزی بخشی برای ۷ کشور شامل ۹ منطقه را میسر می‌سازد. سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی، مصرف کل انرژی را برحسب منبع انرژی، مصرف خالص و انتشار گازهای گلخانه‌ای (کربن) برنامه‌ریزی می‌نماید. همچنین این سیستم براساس مشاهدات، برنامه‌ریزی‌ها و محاسبات تحلیلی از درصد مصرف انرژی که بر حسب منبع انرژی، سهم مصرف کل انرژی از GDP برحسب دلار، مصرف سرانه انرژی و شاخص $\frac{\text{انرژی}}{\text{GDP}}$ ارائه شده است،

1- International Energy Model

2- International Energy Outlook

3- International Energy Model

4- International Nuclear Model

۵- مدل PC-INM یک مدل ریاضی جهت برنامه‌ریزی تقاضای انرژی هسته‌ای در سطح داخلی و جهانی است.

6- Reference Case

7- World Integrated Nuclear Evaluation System

8- Coal Export Submodule

فراهم شده است.

سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی توسط دفتر هماهنگی تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی واقع در سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) مستقل از آژانس تحلیلی و آماری دپارتمان انرژی ایالات متحده (DOE)[1] توسعه داده شده است. این مطالعه از سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی، آخرین مطالعه سیستم است که در سال ۱۹۹۸ انجام شده است(۲۳).

هدف سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی

سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی توسط سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) برای فراهم آوردن یک چارچوب محاسباتی سازگار، کامل، اقتصادی و انعطاف‌پذیر برای تجزیه و تحلیل و روندهای برنامه‌ریزی در بازارهای جهانی انرژی توسعه داده شده است.

سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی، مشاهدات و برنامه‌ریزی‌های مصرف انرژی را در میان حیطه‌ای از منابع انرژی اولیه، همگرایی کشورها و مناطق اصلی دنیا و برنامه‌ریزی در افق زمانی پنجساله ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ میسر می‌سازد و جداول مربوطه در یک فرمت خاص در نشریه سالیانه IEO منتشر می‌گردد.

این مقاله دورنمایی کلی از سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی نظیر تشریح پایگاه اطلاعاتی تحت بررسی، تشریح فنی و جزئی، مدل‌ها، دیاگرام‌های سیستم و جریان‌های زیرسیستم، تشریح معادلات و تعاریف و منابع تمامی متغیرهای مورد استفاده در سیستم را فراهم می‌سازد. همچنین این بخش، کاربران برنامه‌ریزی‌های سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) مبتنی بر سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی را قادر می‌سازد تا فرایندهای تحت بررسی را بهتر درک نمایند و قادر به تکرار برنامه‌ریزی مدل گردند(۲۳)،(۲۵).

۲- دورنمای سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی

برنامه‌ریزی مصرف جهانی انرژی هر ساله توسط سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) نتایج به دست آمده از این سیستم را در نشریه IEO منتشر می‌سازد. سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی مجموعهٔ کاملی از صفحه گسترده‌های مبتنی بر کامپیوتر شخصی است که داده‌های ترکیبی، فروض خاص، فرایندهای تجزیه و تحلیل توصیفی و برنامه‌ریزی مدل‌ها را شامل می‌گردد. سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی یک چارچوب محاسباتی است که در آن برنامه‌ریزی مدل‌های مستقل و فروضی درباره پیش‌بینی شدت انرژی بری فعالیت اقتصادی (نسبت مصرف کل انرژی به GDP) و فروضی در مورد میزان افزایش تجهیزات انرژی مورد نیاز برای گاز طبیعی، زغال سنگ و منابع انرژی تجدیدپذیر (نظیر برق آبی، زمین گرمایی، باد، خورشیدی، Biomass و سایر منابع تجدیدپذیر) را با یکدیگر ترکیب می‌نماید.

1- Department of Energy

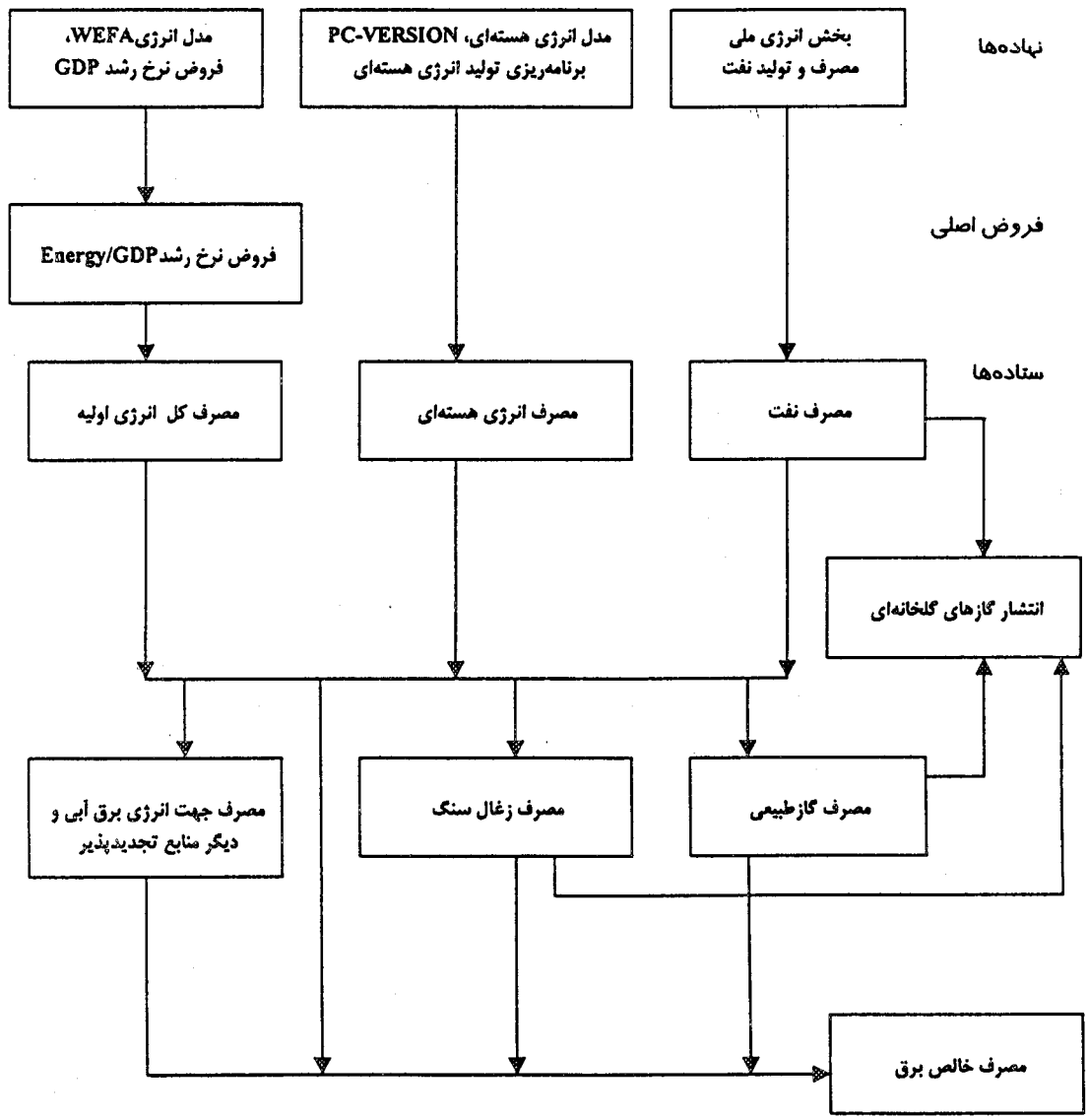
ساختار این سیستم در شکل ۱ نمایش داده شده است.

سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی، برنامه‌ریزی مصرف کل جهانی انرژی اولیه و نیز برنامه‌ریزی‌های مصرف انرژی برحسب نوع انرژی اولیه (مانند نفت، گاز طبیعی، زغال سنگ، هسته‌ای و برق آبی و دیگر منابع تجدیدپذیر) و برنامه‌ریزی مصرف خالص برق را دربرمی‌گیرد. نتایج حاصل از انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی نیز از برنامه‌ریزی مصرف انرژی سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی استنتاج می‌گردد. تمام برنامه‌ریزی‌ها در فاصله زمانی ۵ ساله تا افق برنامه‌ریزی ۲۰۲۰ انجام شده است. انتخاب این محدوده زمانی به این دلیل است که فرض می‌گردد در آن دوره، فن‌آوری، شرایط جمعیتی و اقتصادی به اندازه کافی به منظور تشریح و تحلیل بازارهای انرژی با درجهٔ قابل قبولی از اعتماد درک شده است.

برای مجموعه داده‌های تاریخی و برنامه‌ریزی‌ها، سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی محاسبات تحلیلی از شدت انرژی و کشش انرژی (درصد تغییرات مصرف انرژی به درصد تغییرات GDP) را ارائه می‌نماید.

برنامه‌ریزی مصرف جهانی نفت به وسیله سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی که یک زیربخش از سیستم مدلسازی ملی انرژی است، انجام می‌شود. برنامه‌ریزی‌های مصرف جهانی انرژی هسته‌ای که از برنامه‌ریزی تولید انرژی هسته‌ای مبتنی بر مدل هسته‌ای جهانی (INM)، سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) حاصل شده است با روش PC-Version که به (PC-INM) مشهور می‌باشد، استنتاج می‌گردد. پروژه ظرفیت سازی نیروگاه اتمی (که به طور مستقیم با سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی مرتبط نیست) براساس دو سناریو برنامه‌ریزی می‌گردد. سناریوی اول برنامه‌ریزی براساس نرخ رشد پایه می‌باشد که مبتنی بر دانش تحلیلی برنامه‌های انرژی هسته‌ای در کشورهای مختلف است و روش دوم برنامه‌ریزی براساس سناریوی رشد اقتصادی بالا که یک مدل اشتقاقی از تقاضا است، و به سیستم ارزیابی هماهنگ جهانی (WINES) معروف می‌باشد. در نهایت سیستم برنامه‌ریزی جهانی برای برنامه‌ریزی جریان‌های تجاری زغال سنگ از زیر بخش صادرات زغال سنگ (CES)[1] که یک زیربخش از سیستم مدلسازی ملی انرژی است، به عنوان یک روش برای برنامه‌ریزی منطقه‌ای مصرف زغال‌سنگ استفاده می‌نماید[۲۵].

1- Coal Export Submodule



شکل ۱: فرایند سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی

۳- مناطق تحت پوشش سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی

سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی در مناطق و کشورهای منتخب مورد استفاده قرار گرفته است. از این سیستم در طراحی بخشی از سیستم انرژی هفت کشور شامل برخی کشورهای صنعتی (نظیر ایالات متحده، کانادا، مکزیک، ژاپن) استفاده شده است.

همچنین این سیستم برای کشورهای هند، چین و برزیل و برخی کشورهای در حال توسعه طراحی شده است. در کنار این برنامه‌ریزی‌های صورت گرفته برای کشورهای فوق، این سیستم کشورهای جهان را به دو منطقه صنعتی شده شامل آمریکای شمالی (کانادا، مکزیک و ایالات متحده) اروپای شرقی و اقیانوسیه (ژاپن و استرالیا [استرالیا، زلاندنو و سواحل اقیانوس آرام]) و مناطق در حال توسعه شامل کشورهای در حال توسعه آسیایی (چین، هند و دیگر کشورهای آسیایی)، آسیای میانه، آفریقا و آمریکای مرکزی و شمالی (برزیل و دیگر کشورهای آمریکای لاتین) تقسیم می‌نماید.

اقتصادهای در حال گذار شامل کشورهای اروپایی شرقی (EE)[1] و اتحاد جماهیر شوروی سابق (FSU)[2] که گروه مجزایی هستند، در هیچ یک از گروه‌های کشورهای صنعتی یا در حال توسعه قرار نمی‌گیرد. سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی مصرف کل انرژی و مصرف انرژی برحسب منبع انرژی اولیه را برای هر یک از این مناطق برنامه‌ریزی می‌نماید. تولید نفت و ظرفیت‌های بهره‌برداری نفت به کمک بخش جهانی انرژی و نرم‌افزار پیش‌بینی جهانی انرژی معروف به "DESTINY" طراحی می‌گردد[3]. این سیستم ظرفیت بهره‌برداری نفت را برای کشورهای عضو اوپک حاشیه خلیج فارس (ایران، عراق، قطر، عربستان سعودی و ونزوئلا)، کشورهای صنعتی غیر اوپک (ایالات متحده، کانادا، مکزیک، استرالیا، کشورهای حوزه دریای شمال و دیگر کشورهای صنعتی)، کشورهای اروپایی و آسیایی (چین، FSU و EE) و دیگر کشورهای غیراوپک (آمریکای مرکزی و جنوبی، خاورمیانه، آفریقا و آسیا) برآورد و منتشر می‌سازد. همچنین تولید نفت نیز برای کشورهای عضو اوپک، ایالات متحده، کانادا، مکزیک، اروپای شرقی، دیگر کشورهای صنعتی، چین، اتحادیه جماهیر شوروی سابق، اروپای شرقی و آمریکای مرکزی و جنوبی غیر عضو اوپک، کشورهای غیر اوپک حاشیه اقیانوس آرام و دیگر کشورهای غیر اوپک پیش‌بینی و استنتاج می‌گردد.

طراحی منطقه‌ای برای سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی اگر چه تا حدی سیال و متنوع است اما تغییرات پی‌درپی در تقاضای انرژی بخش‌های مختلف نظیر سیاست‌های مشخص و تحرکات اقتصادی را نیز معین می‌سازد. برای مثال سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی می‌تواند برنامه‌ریزی‌های میان مدت را برای کشورهای عضو OECD انجام دهد. البته این امر کار بسیار بزرگ و مشکلی است

1- Eastern Europe 2- Former Soviet Union

3- Petroconsulants, 1997, Pallas, Texas.

زیرا جمع‌آوری داده‌ها از جمله مصرف انرژی برای اعضای OECD در سال‌های ۱۹۹۵ و ۱۹۹۶ دشوار می‌باشد[۱]. به علاوه فروپاشی برخی از کشورهای در حال گذار و منشعب شدن آنها از جمله کشورهای اروپای شرقی و اتحاد جماهیر شوروی سابق و ادغام شدن برخی از این انشعابات با یکدیگر به‌ویژه با کشورهای آسیایی این مشکل را تشدید نموده است. بدین ترتیب سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی علاوه بر تقسیم‌بندی OECD و غیر OECD کشورها را به گروه‌های صنعت، در حال توسعه و EE/FSU (در حال گذار) تفکیک می‌نماید (این تقسیم‌بندی در گزارش منتشر شده توسط سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی در سال ۱۹۹۷ آمده است). کاربران سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی همواره در سال‌های آتی تغییرات بیشتری را برای طراحی منطقه‌ای از این مدل انتظار دارند[۲].

برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی که تا سال ۱۹۹۸ انجام شده به شرح زیر است:

کشورهای صنعتی: استرالیا، اروپای مرکزی، بلژیک، دانمارک، فنلاند، فرانسه، آلمان، یونان، ایسلند، ایرلند، ایتالیا، ژاپن لوگزامبورک، مکزیک، هلند، نیوزلند، نروژ، پرتغال، اسپانیا، سوئد، سوئیس، ترکیه، انگلستان و ایالات متحده[۲۲].

کشورهای اروپای شرقی: آلبانی، بوسنی و هرزگوین، بلغارستان، کرواسی، جمهوری چک، مقدونیه، لهستان، رومانی، صربیا و مونتنگرو، اسلواکی و اسلوونی[۲۶].

اتحاد جماهیر شوروی سابق: ایالت بالتیک از جمهوری استونی، لتویا و لیتوانی همچنین ارمنستان، آذربایجان، بلاروس، جورجیا، قزاقستان، قرقیزستان، مولداوی، روسیه، تاجیکستان، ترکمنستان، اوکراین و ازبکستان[۲۰][۲۱].

کشورهای در حال توسعه آسیایی: چین، هند و دیگر کشورهای در حال توسعه آسیایی، دیگر کشورهای آسیای شامل افغانستان، بنگلادش، بواتان، برونئی، کامبوج، فیجی، جزایر پلینزی، هنگ کنگ، اندونزی، کریباتیا، لائوس، مالزی، ماکائو، مولداوی، مغولستان، میانمار (برمه)، نایرو، نپال، نیوی لدونیا، نایو، کره شمالی، پاکستان، پایونیوجنیا، فیلیپین، ساماثو، سنگاپور، جزایر سالمون، کره‌شمالی، سری‌لانکا، تایوان، تایلند، تونگا، وانیوتا، ویتنام[۲۹].

کشورهای خاورمیانه: بحرین، قبرس، ایران، عراق، اسرائیل، اردن، کویت، لبنان، عمان، قطر، عربستان سعودی، امارات متحده عربی و

۱- در یک مورد خاص برای مثال در جمهوری چک و اسلونی داده‌های مجزا برای مصرف وجود ندارد (زیرا چکسلواکی در سال ۱۹۹۴ به دو جمهوری چک و اسلونی تقسیم گردید) به طور کلی در حال حاضر نرخ رشد اقتصادی منحصر برای جمهوری چک در دسترس نمی‌باشد.

یمن[۲۹].

کشورهای آفریقایی: الجزایر، آنگولا، بنبن، بتسوانا، بورکینافاسو، بروندی، کامرون، کاپ وردی، جمهوری آفریقای مرکزی، چاد، لیبریا، کوموروس، کنگو (برازاوالیا)، کنگورکینشاسا، زئیر، لیبی، جیبوتی، مصر، الوتوریال، اریتره، اتیوپی، ماداگاسکار، گابن، گامبیا، غنا، گینه، گینه - بیسائو، ساحل عاج، کنیا، لسوتو، موزامبیک، نامیبیا، نیگار، مالی، مالاوی، رونین، رواندا، سواتو و پرنیسپ، سنگال، شیلا، ماریتانیا، سیرالئون، سومالی، آفریقای جنوبی، استی هلن، ماریتیوس، سودان، سویزلند، تانزانیا، توگا، اوگاندا، صحرای ماراکو، غربی، تونس، زامبیا، زیمبابوه.

آمریکای مرکزی و جنوبی: برزیل و دیگر کشورهای آمریکای مرکزی و جنوبی، از جمله دیگر کشورهای مرکزی و جنوبی عبارتند از: انترالتیا، آنتیگو و باربودا، آرانتین، آرابو، جزایر باهاما، باربوداس، بلیز، بولیویا، جزایر ویرجین، جزایر سیمن، شیلی، کلمبیا، کاستاریکا، کوبا، دمتیکا، جمهوری دمنیکن، اکوادور، السالوادور، جزایر فالکلند، گیونا، گرانادا، کوادلوپ، گوتمالا، کیویانا، هایتی، هندوراس، جامائیکا، مارتینکیو، منسرت، نیکاراگوئه، جمهوری پاناما، پاراگوئه، پرو، استی کیتس - نویس، استی لوکا، استی وینسنت (گرایندرز، سرینمیم، ترینیداد و توباگو، اروگوئه و ونزوئلا[۲۶].

علاوه بر این در نشریه IEO گروه‌های دیگری نیز آورده شده که عبارتند از:

کشورهای گروه ۷: کانادا، فرانسه، آلمان، ایتالیا، ژاپن، انگلستان و ایالات متحده.

کشورهای عضو اوپک: گابن، اندونزی، ایران، عراق، کویت، لیبی، نیجریه، قطر، عربستان سعودی، امارات متحده عربی و ونزوئلا.

کشورهای در حال توسعه سواحل اقیانوس آرام: هنگ کنگ، اندونزی، مالزی، فیلیپین، سنگاپور، کره‌جنوبی، تایوان و تایلند.

خلیج فارس: بحرین ایران، عراق، کویت، قطر، عربستان سعودی و امارات متحده عربی.

کشورهای عضو OECD: استرالیا، اتریش، بلژیک، کانادا، جمهوری چک، دانمارک، فنلاند، فرانسه، آلمان، یونان، مجارستان، ایسلند، ایرلند، ایتالیا، ژاپن، لوگزامبورک، مکزیک، هلند، نیوزلند، نروژ، لهستان، کره جنوبی، اسپانیا، سوئیس، ترکیه انگلستان و ایالات متحده.

کشورهای اروپایی، آسیایی: چین، اتحاد جماهیر شوروی سابق و اروپای شرقی.

کشورهای ضمیمه I: استرالیا، اتریش، بلاروس، بلژیک، بلغارستان، کانادا، کرواسی، جمهوری چک، دانمارک، استونی، فنلاند، فرانسه، آلمان، یونان، مجارستان، ایسلند، ایرلند، ایتالیا، ژاپن، لتویا، لیتوانی، لوگزامبورک، هلند، نیوزلند، نروژ، لهستان، پرتغال، رومانی، روسیه، اسلواکی، اسلونی، سوئد، سوئیس، ترکیه، اوکراین، انگلستان و ایالات متحده.

۴- ساختار سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی

سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی یک چارچوب محاسباتی است که مجموعه‌ای از مدل‌ها را ترکیب و فروض آنها را به یکدیگر مرتبط می‌سازد (به شکل ۱ رجوع شود). در اینجا چشم‌اندازی از هر یک از اجزای اصلی سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی برحسب برنامه‌ریزی تولید، منابع داده‌ها و روش‌های برنامه‌ریزی، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جزئیات بیشتر درباره معادلات و روش‌های حل آن، که هر یک از عناصر سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی را به تنهایی دربرمی‌گیرد در بخش‌های بعدی ارائه خواهد شد. شکل ۲ اثرات متقابل کلی سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی را برای برنامه‌ریزی مصرف جهانی انرژی نشان می‌دهد. این سیستم دارای پنج بخش اصلی است:

۱) برنامه‌ریزی مصرف کل انرژی.

۲) برنامه‌ریزی مصرف انرژی برحسب نوع انرژی اولیه .

۳) استنتاج و تجزیه و تحلیل در مورد سناریوهای مختلف رشد اقتصادی (نرخ رشد اقتصادی بالا یا پایین).

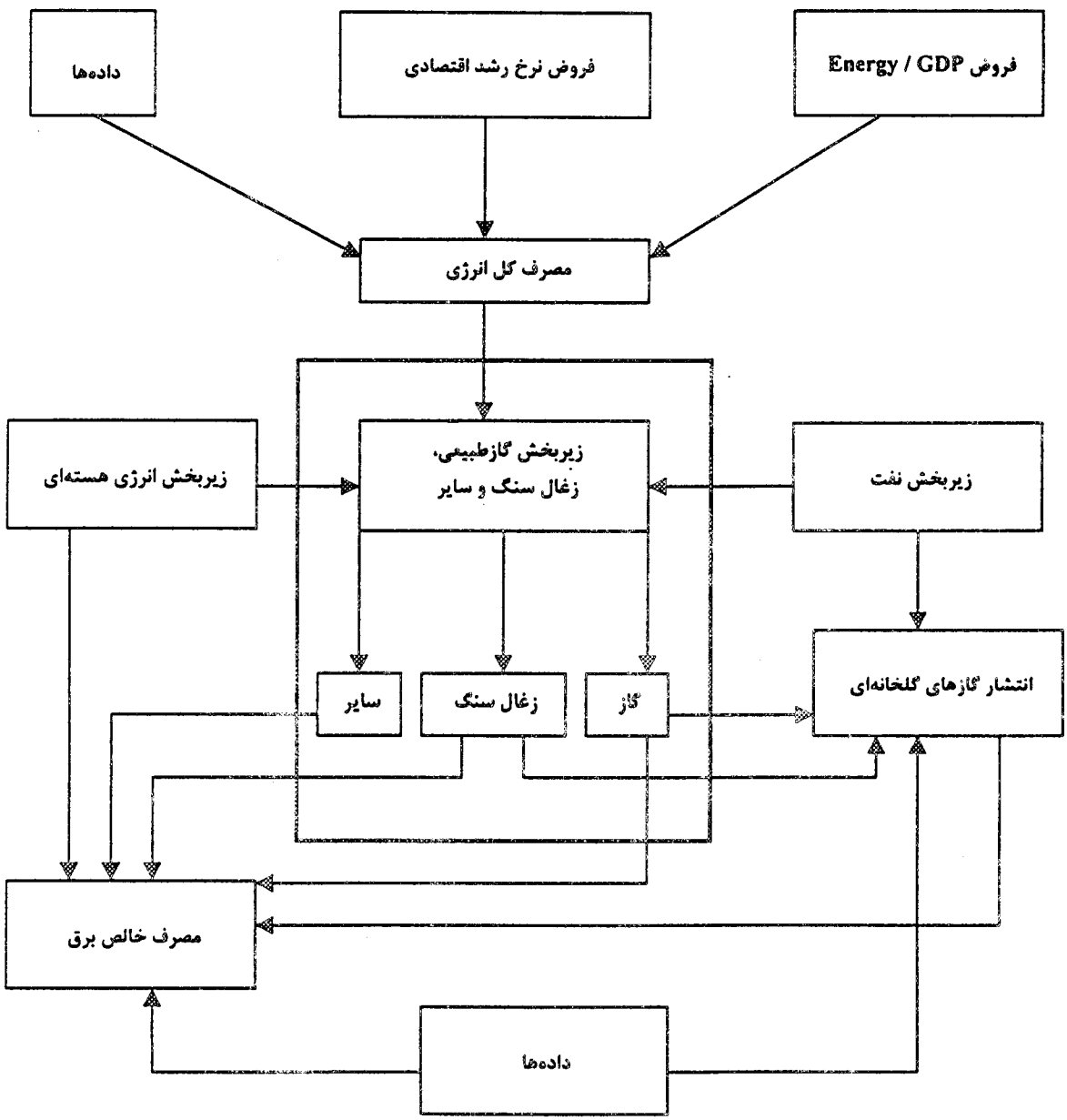
۴) برنامه‌ریزی مصرف خالص برق و سوخت‌های مصرفی برای تولید برق، انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط سوخت‌های فسیلی (نفت، گاز طبیعی و زغال سنگ).

۵) برنامه‌ریزی مصرف انرژی برحسب نوع سوخت.

۴-۱ مصرف کل انرژی

سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی فرایند مصرف کل انرژی را با استفاده از برنامه‌ریزی در سناریوی نرخ رشد پایه (مرجع) برای هر کشور یا منطقه برنامه‌ریزی می‌نماید. تمام برنامه‌ریزی‌ها با فاصله زمانی ۵ ساله تا افق زمانی ۲۰۲۰ صورت می‌پذیرد.

برنامه‌ریزی مصرف کل انرژی مبتنی بر مجموعه فروضی درباره نرخ رشد GDP، رشد کشش نسبت مصرف انرژی به GDP و مصرف کل انرژی سال قبل انجام می‌شود. برای مثال برای برنامه‌ریزی مصرف، به مقدار مصرف دوره قبل نیاز می‌باشد و این داده نیز برای محاسبات زیربخش‌های آن نیز به کار می‌رود، این مدل نرخ رشد GDP و فروض کشش برای هر سال را با یکدیگر هماهنگ و اصلاح می‌سازد. نرخ‌های رشد GDP توسط گزارش گروه (Wharton WEFA Econometric Forecasting Associates) در نشریه IEO و فروض مربوط به نسبت مصرف انرژی برحسب GDP (کشش) توسط تحلیل‌گران سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) فراهم شده است.



شکل ۲: اثرات متقابل سیستم مصرف جهانی انرژی

۴-۲ مصرف انرژی برحسب نوع انرژی اولیه

مصرف کل انرژی در مرحله بعد (همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است) مصرف انرژی را برحسب نوع سوخت (نفت، گازطبیعی، زغال‌سنگ، انرژی هسته‌ای و برق آبی و دیگر منابع تجدیدپذیر) برآورد می‌نماید. این برآوردها در سه

زیرسیستم برای برنامه‌ریزی استفاده می‌شوند. زیرسیستم نفت، زیرسیستم انرژی اتمی و زیرسیستم گاز طبیعی و سایر منابع اولیه. زیرسیستم‌های نفت و انرژی اتمی از داده‌های برون‌زا و مدل‌ها برای برنامه‌ریزی مصرف نفت و انرژی هسته‌ای استفاده کرده و زیر سیستم نفت - گاز طبیعی و سایر منابع اولیه، مصرف گازطبیعی، زغال سنگ و برق آبی و دیگر منابع تجدیدپذیر را برنامه‌ریزی می‌نماید.

برنامه‌ریزی مصرف و تولید نفت که زیر سیستم نفت را دربرمی‌گیرد در بخش جهانی انرژی (IEM) (که بخشی از سیستم مدلسازی ملی انرژی است) برنامه‌ریزی می‌گردد. مدل جهانی انرژی یک مدل عطفی از عرضه و تقاضای نفت جهانی برحسب مناطق از مدل شبیه سازی بازار نفت سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (OMS-PC) با جزئیات بسیاری درباره شرایط بازار نفت سیستم مدلسازی ملی انرژی، است. این مدل عرضه واردات در سطح بخشی برای سازمان نفتی و حمایت بخش دفاعی (PAD)[1] برحسب نوع محصول تصفیه شده و درجه‌بندی نفت خام سازگار با قیمت برآوردی نفت جهانی را برآورد می‌نماید. نتایج مدل جهانی انرژی شامل قیمت پیش‌بینی شده نفت خام، تولید اوپک و غیراوپک، تولید و ظرفیت بهره‌برداری نفت اوپک، همچنین مصرف منطقه‌ای نفت جهانی است. مدل جهانی انرژی پیش‌بینی‌های تولید نفت را براساس دو سناریوی افزایش و کاهش قیمت جهانی نفت برآورد می‌نماید. سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی سناریوهای نرخ رشد اقتصادی بالا و پایین را برای پیش‌بینی‌های مصرف نفت همانطور که در زیر تشریح می‌گردد، در نظر می‌گیرد. مدل انرژی هسته‌ای جهانی (PC-Version,INM-PC) زیر سیستم انرژی اتمی از سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی است و با استفاده از این روش برنامه‌ریزی در سناریوی نرخ رشد پایه، پیش‌بینی‌هایی درباره مصرف انرژی اتمی برحسب مناطق برنامه‌ریزی در سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی برآورد می‌نماید. مدل جهانی انرژی هسته‌ای یک مدل ریاضی (معین) است که برای برنامه‌ریزی تقاضای انرژی هسته‌ای داخلی و جهانی به کار می‌رود. مدل انرژی هسته‌ای با استفاده از یک فن محاسباتی ساده ضایعات سوخت مصرفی، تقاضاهای ادواری سوخت، ظرفیت‌های اولیه و نهایی و تولید سالانه برق را برای راکتورهای هسته‌ای داخلی و خارجی برآورد می‌سازد. این مدل را می‌توان برای تمامی کشورهای تحت پوشش در هر دوره زمانی معین به کار گرفت. در حال حاضر یک گروه از

1- Petroleum Administration for Defense

هشت کشور مختلف براساس این مدل تا سال ۲۰۱۵ سیستم انرژی هسته‌ای کشور خود را برنامه‌ریزی نمودند. برای محاسبه پیش‌بینی‌ها، سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) یک مجموعه فروض مؤثر برای عوامل ظرفیتی، روزهای توان کامل، اندازه راکتور و مقادیر مجدد بارگذاری، بیان‌کرده است. این فروض به طور آماری از داده‌ها و از برنامه‌ریزی کاربردی طرح‌های مدیریت سوخت استخراج شده است و تمامی آنها در برنامه‌های مدیریت سوخت تلفیق گردیده است. تخمین‌های حاصل از روندهای ادواری سوخت هسته‌ای براساس بررسی منافع فروشندگان سوخت و صادرات صنایع دیگر تعیین می‌گردد. سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی سناریوهای رشد اقتصادی بالا و پایین را همانطور که در زیر تشریح می‌گردد برای مصرف انرژی اتمی استفاده می‌نماید.

زیرسیستم زغال سنگ - گاز طبیعی و سایر منابع اولیه، مقدار تغییر در مصرف کل انرژی را بدون توجه به فروض درباره مصرف نفت و انرژی هسته‌ای برآورد می‌نماید. در این زیرسیستم هر تغییر باقیمانده در مصرف کل از یک دوره به دوره بعدی برای زغال سنگ، گاز طبیعی و برق آبی و دیگر منابع تجدیدپذیر مبتنی بر سهم‌های مفروض برای هر کشور یا هر منطقه و برای هر سال پیش‌بینی تخصیص می‌یابد. تخصیص سهم‌ها براساس بررسی داده‌ها در سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی و ملاحظات اطلاعات برون زا انجام می‌شود. در مورد سهم‌های زغال سنگ در تطابق با فروض و برنامه‌ریزی‌های زیربخش صادرات زغال‌سنگ (که یک زیربخش از سیستم مدل‌سازی ملی انرژی است) تجدید نظر می‌گردد، سهم‌های گاز طبیعی و برق آبی و دیگر منابع تجدیدپذیر در تطابق با سایر برنامه‌ریزی و پیش‌بینی‌ها تجدید نظر می‌گردد (نظیر گزارش WEO از IEA و گزارش WESO از DRI/Mc Graw-Hill). مصرف کل زغال سنگ، گاز طبیعی و منابع تجدیدپذیر برابر مصرف سالانه تمامی سوخت‌ها به علاوه تغییر در مصرف تخصیص داده شده به هر منبع است.

۴-۳ سناریوهای رشد اقتصادی بالا و پایین

برنامه‌ریزی‌های بلند مدت مصرف انرژی نسبت به نااطمینانی‌های ذاتی در اقتصاد محدود می‌باشند. دو بحث اساسی برای برنامه‌ریزی مصرف انرژی عبارت است از: ۱- نتایج مسیرهای متناوب رشد اقتصادی و ۲- نتایج مسیرهای متناوب مصرف انرژی نسبت به رشد اقتصادی. پیش‌بینی‌های سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی، شامل یک مجموعه فروض استاندارد برای متغیرها است که براساس آن شرایط روش برنامه‌ریزی براساس سناریوی نرخ رشد پایه بیان می‌شود. برای تشریح یک حیطه از نااطمینانی، دو موقعیت با نسبت نرخ‌های رشد بالاتر و پایین‌تر برای آن در شرایط برنامه‌ریزی در مقایسه با سناریوی نرخ رشد پایه توسعه داده شده است.

مشکلات اساسی در نرخ‌های رشد اقتصادی در درون و بین مناطق در طول زمان وجود دارد. به ویژه برای کشورهای در حال توسعه پیامدهای غیرمنتظره، نقش اساسی در توسعه ملی و منطقه‌ای (که احتمالاً در آینده رخ می‌دهد) ایفا می‌نمایند. اقتصادهای صنعتی دارای نرخ رشد کمتری (به خاطر رسیدن رشد مطلوب) هستند و تغییرات کمتری را نسبت به آن دسته از کشورهای در حال توسعه و کشورهای اروپای شرقی و اتحاد جماهیر شوروی سابق دارند. اما در این کشورها همچنین رشد اقتصادی از ثبات خاصی پیروی نمی‌نماید.

در شرایط نرخ رشد اقتصادی بالا و پایین فروض متفاوتی درباره حیطه نرخ‌های رشد اقتصادی ممکن برای کشورهای صنعتی و در حال توسعه اتخاذ شده است. این نرخ‌ها منعکس کننده نااطمینانی ذاتی برای پیش‌بینی رشد اقتصادی در اقتصادهای در حال توسعه می‌باشند. همچنین الگوی مشابه‌ای برای تغییر در شدت نسبی انرژی به تغییرات نسبی در GDP (کشش) برای موقعیت‌های نرخ رشد بالا و پایین به منظور برنامه‌ریزی در شرایط سناریوی نرخ رشد پایه فرض شده است. برای کشورهای صنعتی نرخ‌های رشد برنامه‌ریزی در شرایط سناریوی نرخ رشد پایه به ترتیب افزایش‌های ۱+ و ۱- درصدی برای نرخ‌های رشد بالا و پایین به نرخ رشد پایه‌ای آنها اضافه شده است. برای کشورها و یا مناطق صنعتی شده - بخشی از چین و کشورهای اروپای شرقی و اتحاد جماهیر شوروی سابق - برای حصول به نرخ‌های رشد بالا و پایین به ترتیب افزایش‌های ۱/۵+ و ۱/۵-درصدی نسبت به نرخ رشد پایه اعمال شده است.

کشورهای چین، اروپای شرقی و اتحاد جماهیر شوروی سابق شرایط خاصی را با توجه به اهداف‌شان برای پیش‌بینی نرخ رشد اقتصادی در نظر می‌گیرند. کشور چین در چند سال گذشته رشد اقتصادی کاملاً بالایی را تجربه نموده است و مناطق اروپایی شرقی و اتحاد جماهیر شوروی سابق رکود اقتصادی طاقت فرسایی را تحمل نمودند. در هر دو منطقه، فرصتی برای یک تغییر ذاتی در رشد اقتصادی وجود دارد.

چین به طور بالقوه در نرخ رشد اقتصادی بالا دارای روند نزولی است و برای ملل اروپای شرقی و اتحاد جماهیر شو وری سابق یک نرخ رشد افزایش ذاتی برای معتدل نمودن مشکلات نهادی و سیاست‌های جاری‌شان به منظور حصول به یک پایه قابل توجه صنعتی در نظر گرفته شده است. برای انعکاس نااطمینانی در نرخ رشد چین تحت شرایط نرخ رشد اقتصادی پایین، افزایشی به میزان ۳- درصد و برای شرایط نرخ رشد اقتصادی بالا به میزان ۱/۵ درصد نسبت به نرخ رشد پایه در نظر گرفته شده است. برای کشورهای اروپای شرقی و اتحاد جماهیر شوروی سابق به ترتیب برای

نرخ‌های رشد بالا و پایین ۳+ و ۱/۵- اعمال می‌گردد.

با توجه به حیطه مناسب تعیین شده برای موقعیت‌های رشد اقتصادی بالا و پایین سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی با نرخ‌های رشد تجدیدنظر شده به منظور تعیین پیش‌بینی مصرف کل برای هر منطقه یا کشور مجدداً اجرا می‌گردد. تمامی سهم سوخت مصرف انرژی در فرایند برنامه‌ریزی تحت شرایط سناریوی نرخ رشد پایه ثابت هستند و این سهم‌ها برای تمامی حالت‌های نرخ رشد به دست آمده توسط برنامه‌ریزی مصرف سوخت تحت شرایط رشد اقتصادی بالا و پایین به کار می‌رود.

۴-۴ مصرف خالص برق و انرژی مصرفی برای تولید برق (۱۰)

برنامه‌ریزی مصرف خالص برق با به کارگیری فروضی درباره پیش‌بینی سهم مصرف انرژی نسبت به انرژی برق محاسبه می‌گردد. به طور مشابه برای محاسبه برنامه‌ریزی‌های انرژی در شرکت‌های برق دولتی به منظور تولید برق به کمک سوخت، سهم هر سوخت مصرف شده در شرکت برق برای برنامه‌ریزی‌های مصرف انرژی اولیه برحسب نوع منبع استفاده می‌گردد.

سابقاً از سناریوهای نرخ رشد پایه و روش رشد اقتصادی بالا و پایین برای مصرف کل انرژی و همچنین برای مصرف انرژی اولیه برحسب سوخت تولید شده، مصرف برق و سوخت‌های مصرف شده برای تولید برق استفاده می‌گردید. سهم برق از کل انرژی مصرفی، داده‌ها و برنامه‌ها برای هر سه سناریو تعیین شده است. همچنین سهم هر یک از سوخت‌های فسیلی (نفت، گازطبیعی و زغال سنگ) مصرف شده در شرکت برق دولتی محاسبه شده است.

سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی فرض می‌نماید که تمامی انرژی اتمی و برق آبی و دیگر منابع تجدید پذیر در شرکت برق دولتی مصرف شده است.

۴-۵ انتشار جهانی گازهای گلخانه‌ای به کمک سوخت‌های فسیلی

سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی انتشار جهانی گازهای گلخانه‌ای را مطابق با مصرف برنامه‌ریزی شده از هر سوخت فسیلی (نفت، گاز طبیعی و زغال سنگ) در طول دوره پیش‌بینی، برآورد می‌نماید. ضرایب انتشار گاز گلخانه‌ای (میلیون‌متر کربن برحسب Btu) برای هر سوخت فسیلی (به ویژه نفت) برحسب کشور یا منطقه محاسبه شده است و سپس در برنامه‌ریزی‌های مصرف نفت، گازطبیعی و زغال سنگ در شرایط برنامه‌ریزی براساس نرخ رشد پایه‌ای سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی (همچنین روش‌های برنامه‌ریزی با نرخ رشد اقتصادی بالا و پایین) ضرب می‌گردد.

نتایج نهایی ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای

براساس تخمین‌های حاصل از دفتر بازارهای انرژی (OEM)[1] و دفتر مصارف Enduse (که در نشریه DOE/EIA-Annual Energy Review، ۰۳۸۴، منتشر شده در سال ۱۹۹۷)[2] برای محاسبه یک سری زمانی سازگار هموارسازی می‌گردد.

برخی تغییرات در روش‌های مورد استفاده در استخراج ضرایب انتشار گاز گلخانه‌ای (کربن) در میان سوخت‌ها وجود دارد. ضریب انتشار گاز گلخانه‌ای برای زغال سنگ با استفاده از عوامل در یک حالت خاص نظیر «عوامل نشر دی‌اکسید کربن برای زغال سنگ» توسط هونگ[3] و اسلوتیک[4] (که در گزارش‌های EIA منتشر می‌شود) استخراج شده است(۱۷). این ضرایب برحسب نوع گازهای گلخانه‌ای منتشر شده از زغال سنگ تقسیم می‌گردد (برای مثال انتراکسید و ۲۷٫۸۵ متر تن کربن برحسب بیلیون Btu، بیتومینوس، ۲۵٫۱۲ و لیگنیت، ۲۶٫۳۵). این ضرایب از گزارش سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) در نشریه سالانه انرژی جهانی استخراج شده است(۷).

نتیجه منحصربه‌فرد ضریب کربن (۲۵٫۱۶) برای برنامه‌ریزی مصرف زغال‌سنگ در طول تمامی کشورها و مناطق سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی به کار گرفته شده است.

ضرایب برای گاز طبیعی و نفت از ضرایب گزارش سالیانه، نشریه انتشار گازهای گلخانه‌ای استخراج شده است ضرایب مربوط به نفت از گزارش انتشار گازهای گلخانه‌ای (که براساس تولید نفت محاسبه شده است) قابل دسترسی است(۳).

در ضرایب مصرف فرآورده نفتی تصفیه شده از گزارش سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) نشریه سالانه انرژی جهانی قابل دسترسی است. ضرایب انتشار کربن برای نفت با استفاده از متوسط وزنی محصولات نفتی مصرفی برحسب منطقه یا کشور محاسبه می‌گردد. ضرایب برآوردی در جدول ۱ نشان داده شده است(۳).

ضریب گازطبیعی به عنوان متوسط وزنی از داده‌های تولید گاز طبیعی خشک جهانی (۱۴٫۴۷ میلیون متر تن کربن برحسب کاردیلیون Btu) و داده‌های گاز شعله‌ور (۱۴٫۹۲ میلیون متر تن کربن برحسب کاردیلیون Btu) در گزارش سازمان مدیریت اطلاعات (EIA) در نشریه سالانه انرژی جهانی ارائه می‌گردد. این ضریب در تمامی کشورها و مناطق در سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی برای به دست آوردن نتایج انتشار گاز گلخانه‌ای حاصل از مصرف گاز طبیعی به

1- Office of Energy Markets

۲- این گزارش در واقع مربوط به مقادیر سال ۱۹۹۶ است که در جولای ۱۹۹۷ منتشر شده است.

3- B.D.Hong

4- E.R.Slotick

کار گرفته می‌شود.

جدول ۱: ضرایب انتشار کربن برای مصرف نفت بر حسب منطقه /کشور (۲۰۲۰-۱۹۹۵)

(میلیون مترتن کربن برحسب کاردیلیون Btu)

کشور / منطقه	ضرایب
ایالات متحده	۱۹/۵۵۷۱۹۶
کانادا	۱۹/۵۹۷۱۳۴
مکزیک	۱۹/۹۶۵۹۰۰
ژاپن	۱۹/۹۳۴۳۱۶
انگلستان	۱۹/۷۷۹۵۲۳
فرانسه	۱۹/۹۱۳۹۴۷
ایتالیا	۲۰/۰۳۵۲۰۶
هلند	۲۰/۱۶۶۴۴۹
سایر کشورهای اروپای غربی	۲۰/۲۳۶۴۲۴
استرالیا	۱۹/۹۸۸۱۹۸
اتحادجماهیر شوروی سابق	۱۹/۹۷۱۶۳۲
اروپای شرقی	۲۰/۲۹۰۸۵۵
کشورهای آسیایی در حال توسعه	۲۰/۱۴۶۳۱۹
چین	۲۰/۱۸۰۴۱۷
هند	۱۹/۹۷۴۴۴۳
خاورمیانه	۲۰/۱۱۰۹۹۶
آفریقا	۲۰/۰۴۸۴۸
آمریکای مرکزی و شمالی	۱۹/۸۴۴۱۳۳
برزیل	۱۹/۸۷۳۸۴۷

منبع: DOE/EIA-۰۵۷۲(۹۵)و DOE/EIA-۰۲۱۹(۹۵)

۵- متدلوژی مدلسازی سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی

در این بخش به تشریح جزئیات منابع داده‌ها و روش‌های برآوردی هر یک از زیرسیستم‌های مدل برنامه‌ریزی جهانی انرژی می‌پردازیم. زیر سیستم‌هایی که در اینجا مورد بررسی قرار خواهند گرفت عبارتند از:

زیر سیستم مصرف کل انرژی، زیر سیستم نفت، زیر سیستم انرژی هسته‌ای، زیر سیستم انتشار گازهای گلخانه‌ای (کربن) و بخش برق است.

۵-۱ زیر سیستم مصرف کل انرژی

اجزای زیرسیستم مصرف کل انرژی در شکل ۳ نمایش داده شده است. مقدار نرخ رشد پایه برای مصرف کل انرژی (TOTQUAD) برحسب کاردیلیون[1] Btu در فاصله زمانی پنجساله در طول سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۰۰ برای هر کشور و منطقه در سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی براساس معادله زیر برآورد می‌گردد:

$$TOTQUAD_t = TOTQUAD_{(t-5)} * (((GDPGR_t * ELAST)/100)+1)^5 \quad (1)$$

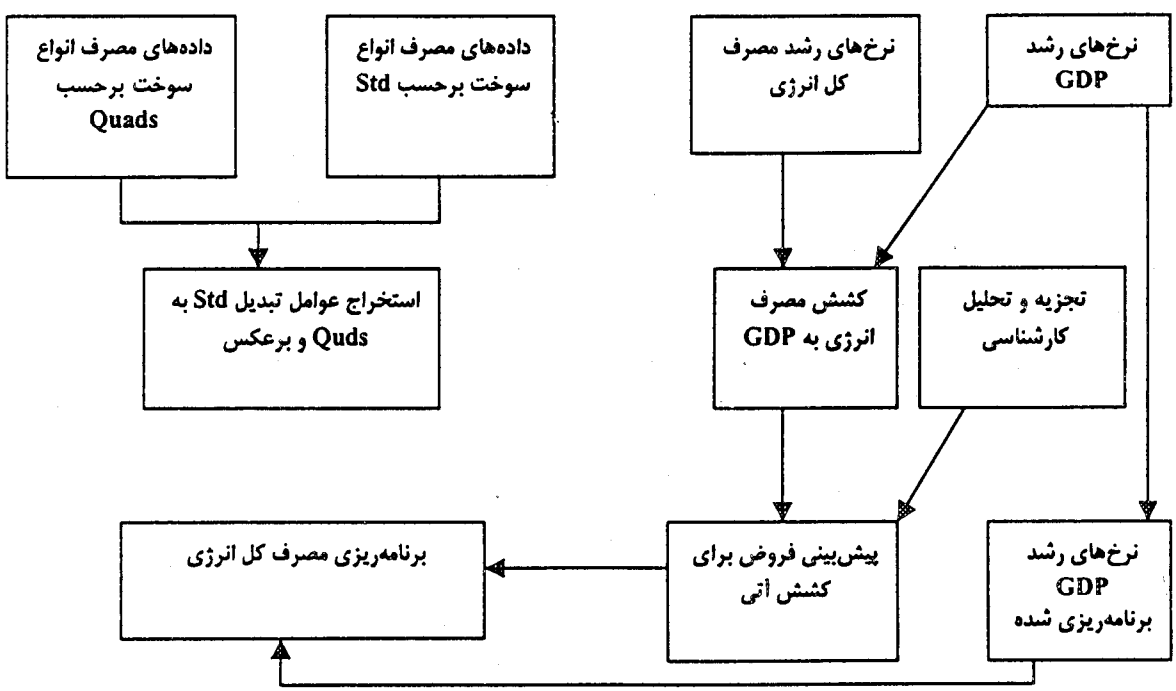
به طوری که GDPGR متوسط سالانه نرخ رشد اقتصادی است (که برحسب GDP محاسبه می‌گردد)، ELAST نسبتی است که نرخ رشد انرژی

۱- کاردیلیون برابر 10×10^{30}

را مطابق با نرخ رشد GDP (نرخ رشد شدت مصرف کل انرژی) تعیین می‌سازد و t بیانگر سال است.

مصرف کل انرژی سال ۱۹۹۵ برای هر کشور و منطقه به عنوان مجموع مصارف نفت، گاز طبیعی، زغال سنگ، انرژی اتمی، برق آبی و دیگر منابع تجدیدپذیر (که واحد تمامی آنها برحسب کاردیلیون Btu است) در نظر گرفته شده است. برای تعیین مصرف کل برای اولین دوره برنامه‌ریزی (یعنی سال ۲۰۰۰) معادله برآوردی، عبارت خواهد بود از:

$$TOTQUAD_{2000} = TOTQUAD_{1995}^{*} \qquad (2)$$



GDP = تولید ناخالص داخلی

Quads = Quadrillion Btu

Std. = Standard physical units

شکل ۳: فرایند ساختار زیر سیستم مصرف کل انرژی

$(((GDPGR_{2}{}^{*}ELAST_{2...})/100)+1)^{5}$

داده‌هایی که برای مدل سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی به عنوان داده‌های برون زا فرض می‌گردد از نشریه سالانه انرژی جهانی سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) استخراج می‌شود.

هر کشور (و منطقه) پنج متوسط سالانه نرخ‌های رشد برای تولید داخلی، GDPGR، از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ که از نشریه World Economic Outlook گروه WEFA استخراج شده است، مشخص می‌سازد. همچنین این سیستم از داده‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۵ برای متوسط سالانه نرخ رشد اقتصادی از گروه WEFA را برای حل مدل استفاده می‌نماید.

کشش‌های انرژی به عنوان درصد تغییرات مصرف انرژی به درصد تغییرات تولید ناخالص داخلی تعریف شده است. این کشش‌ها توسط کارشناسان سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) محاسبه و از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ برآورد گردیده است. فروض کشش در میان دیگر عوامل مبتنی بر روند کشش‌ها و انتظاراتی درباره پیشرفت‌های آینده (پیش‌بینی‌های) در مصرف انرژی است.

۵-۲ زیر سیستم نفت

سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی مصرف انرژی شامل نفت، گازطبیعی، زغال سنگ، انرژی هسته‌ای، برق آبی و دیگر منابع تجدیدپذیر را برحسب کشور و منطقه برای افق زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ برنامه‌ریزی می‌نماید. مصرف نفت و انرژی هسته‌ای با مدل‌هایی مستقل از سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی برآورد می‌گردد. زیرسیستم‌های گازطبیعی، نفت، برق آبی و سایر منابع تجدیدپذیر که به کمک زیرسیستم زغال سنگ - گاز - سایر منابع برآورد می‌گردند مبتنی بر مقادیر پیش‌بینی شده مصرف نفت و انرژی هسته‌ای هستند.

برنامه‌ریزی مصرف نفت در سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی به کمک بخش جهانی انرژی (که یک بخش مجزا از سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی است و بخشی از سیستم مدلسازی ملی انرژی محسوب می‌گردد) انجام می‌شود. مدلسازی سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) که تقریباً یک مدل میان مدت بازار جهانی نفت است به دو فرض کلیدی وابسته است: ۱- نفت، یک سوخت نهایی است[1] و ۲- کشورهای عضو اوپک عرضه کننده اصلی نفت با قیمت‌هایی می‌باشند که موجب تثبیت بازار و جلوگیری از نفوذ فن‌آوری‌های جدید به ویژه سوخت‌های ترکیبی هستند. تحت شرایط این فروض، قیمت‌های نفت جهانی برای حصول به تعادل عرضه و تقاضا برای نفت خام در بازار جهانی به عنوان تابعی از تصمیمات تولیدی اوپک، عرضه نفت کشورها و تقاضای جهانی نفت که مبتنی بر رشد اقتصادی گستره جهانی است در نظر گرفته می‌شود. با توجه به این فرض که نفت، سوخت نهایی است، می‌توان از رقابت بین نفت و

1- Marginal Fuel

سایر سوخت‌ها صرفنظر نمود، زیرا در تغییر جهت مصرف بین سوخت‌ها فرض می‌گردد که تأثیر ناچیزی بر روی قیمت جهانی نفت داشته باشد. دومین فرض به این معنی است که قیمت نفت نمی‌تواند در حیطه وسیع افزایش یابد زیرا همانگونه که فن‌آوری‌های جدید بر بازار مسلط می‌شوند به کاهش تقاضای نفت به اندازه‌ای که قیمت آن را کاهش دهد منجر می‌گردد. واردات نفت‌خام در ایالات متحده برای انواع مختلف کیفی نفت تطبیقی از قیمت جهانی نفت، ذخایر منابع تولید، هزینه حمل و نقل، میزان مصرف و توسعه ظرفیت پالایش گستره جهانی است.

سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی، براساس نرخ رشد پایه، مصرف جهانی نفت را برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ برحسب واحدهای استاندارد (میلیون بشکه در روز) برنامه‌ریزی می‌نماید. این واحدها را در سیستم حمل و نقل می‌بایست به واحد سالانه کاردیلیون Btu تبدیل نمود، به این ترتیب که:

(۳)

$$QUAD_{t,oil}=STD_{t,oil}{}^{*}(QUAD_{1995,oil}/STD_{1995,oil})$$

به طوری که $QUAD_{t,oil}$ بیانگر مصرف نفت برحسب کاردیلیون Btu در سال مورد پیش‌بینی و $QUAD_{1995,oil}$ نشان دهنده مصرف نفت برحسب کاردیلیون Btu برای آخرین سال قابل دسترسی (برای مثال در اینجا سال ۱۹۹۵) می‌باشد. به طور مشابه $STD_{t,oil}$ بیانگر مصرف نفت بر حسب میلیون بشکه در روز (واحدهای استاندارد) در سال مورد پیش‌بینی t و مصرف نفت $QUAD_{1995,oil}$ برحسب میلیون بشکه در روز برای آخرین سال $STD_{1995,oil}$ قابل دسترسی (برای مثال در اینجا سال ۱۹۹۵) است. تبدیل فوق برای تمامی کشورها و مناطق سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی قابل استفاده است. مشاهدات مربوط به داده‌ها برای دوره ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۵ برحسب واحدهای استاندارد و کاردیلیون Btu در گزارش سازمان مدیریت اطلاعات انرژی در نشریه سالانه انرژی جهانی جمع‌آوری شده است.

۵-۳ زیر سیستم انرژی هسته‌ای

مدل جهانی انرژی هسته‌ای [(INM) یا PC Version (PC-INM)] زیرسیستم هسته‌ای سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی است که دراین مدل، نرخ رشد پایه‌ای، پیش‌بینی‌های تولید انرژی را متناسب با مصرف انرژی هسته‌ای مناطق سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی طراحی می‌نماید. مدل جهانی انرژی هسته‌ای یک مدل ریاضی معین است که برای برنامه‌ریزی تقاضای انرژی هسته‌ای داخلی و جهانی استفاده می‌گردد.

مدل جهانی انرژی هسته‌ای کل میزان مصرف سوخت و تقاضای ادواری سوخت، ظرفیت‌های بالفعل و بالقوه و تولید برق برای راکتورهای داخلی و خارجی در طول سال را با استفاده از یک روش محاسباتی ساده برنامه‌ریزی می‌نماید. این مدل را

می‌توان جهت برنامه‌ریزی تولید برای هر کشور در جهان در دورهٔ زمانی معین به کار گرفت، اخیراً ۸ گروه از کشورهای مختلف جهان از این مدل برای برنامه‌ریزی انرژی هسته‌ای کشور خود تا افق برنامه‌ریزی ۲۰۱۵ استفاده نموده‌اند. به منظور برآورد چنین پیش‌بینی‌هایی، سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) یک مجموعه از فروض مؤثر برای فاکتورهای گسترش ظرفیت، روزهای توان کامل تولید، اندازه یا حجم راکتور و بارگذاری مجدد مقادیر، ارائه می‌دهد. این مجموعه فروض به طور آماری از داده‌ها و برنامه‌های مدیریت سوخت طراحی شده توسط شرکت‌های برق دولتی و هماهنگی این برنامه‌ها با برنامه‌های کلان مدیریت سوخت استخراج شده است. برآورد روندهای ادواری سوخت هسته‌ای با مطالعه بر روی شرکت‌های برق دولتی، فروشندگان سوخت، و دیگر کارشناسان صنعتی تعیین می‌گردد. سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی برای برنامه‌ریزی مصرف سوخت از سناریوهای نرخ رشد اقتصادی بالا و پایین (همانطور که در زیر تشریح می‌گردد) استفاده می‌نماید.

برنامه‌ریزی سالانه مصرف انرژی هسته‌ای بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ برحسب واحدهای استاندارد (میلیارد کیلووات ساعت) برای هر کشوری که می‌خواهد یا انتظار دارد برنامه انرژی هسته‌ای کشورش را در افق برنامه‌ریزی ۲۰ سال آینده توسعه دهد، فراهم می‌سازد. این برنامه‌ریزی‌ها در هر کشور در مجموع با مناطق سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی مطابقت دارد. بدین ترتیب این فرایند مشابه زیرسیستم نفت از واحدهای استاندارد به کاردیلیون Btu تبدیل می‌گردد. یعنی:

$$QUAD_{t,nuclear}=STD_{t,nuclear}^{*} \quad (۴)$$
$$(QUAD_{۱۹۹۵,nuclear}/STD_{۱۹۹۵,nuclear})$$

به طوری که $QUAD_{t,nuclear}$ مصرف انرژی هسته‌ای برحسب کاردیلیون Btu در سال مورد پیش‌بینی t و $QUAD_{t,nuclear}$ مصرف انرژی هسته‌ای برحسب کاردیلیون Btu برای آخرین سال قابل دسترسی است، برای مثال در اینجا سال ۱۹۹۵ را نشان می‌دهد. به طور مشابه $STD_{t,nuclear}$ بیانگر مصرف انرژی هسته‌ای برحسب میلیارد کیلووات ساعت در سال مورد پیش‌بینی t و $STD_{۱۹۹۵,nuclear}$ مصرف انرژی هسته‌ای برحسب میلیارد کیلووات ساعت در سال ۱۹۹۵ است. این تبدیل برای تمامی کشورها و مناطق سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی قابل استفاده می‌باشد. داده‌های مربوط به معادله فوق از سال ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۵ هم برحسب واحدهای استاندارد و هم برحسب کاردیلیون Btu توسط سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) در نشریه سالانه انرژی جهانی ارائه شده است[۵].

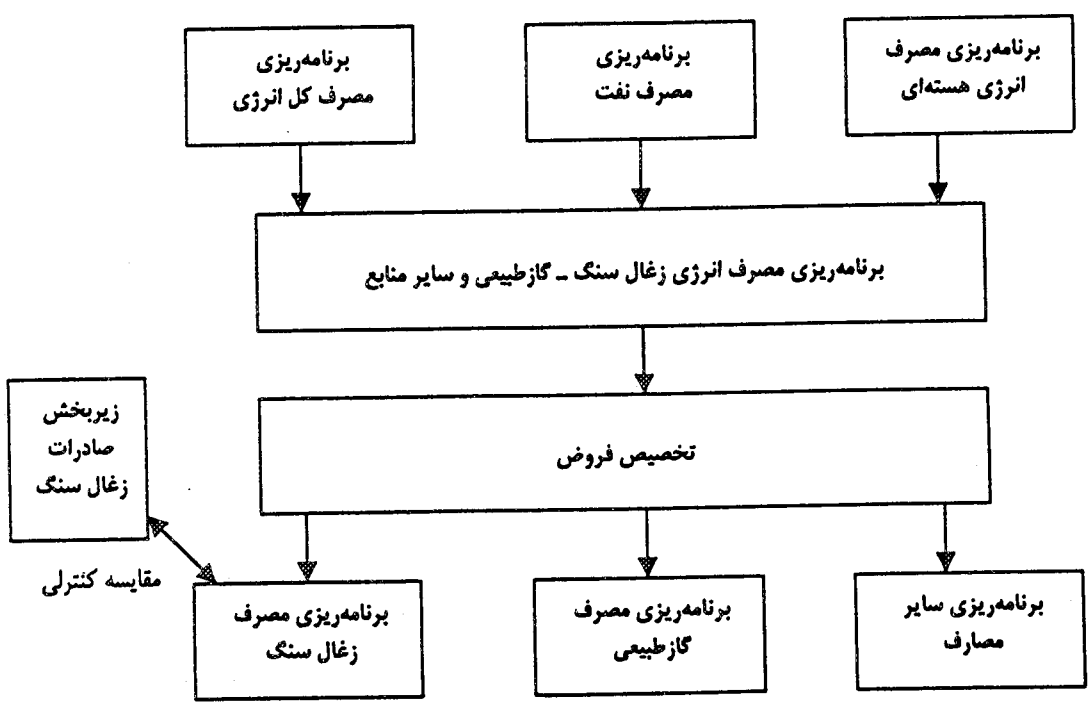
۵-۴ زیر سیستم زغال سنگ، گازطبیعی و سایر منابع

سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی، مصرف سالیانه زغال سنگ، گازطبیعی، برق

آبی و دیگر منابع تجدیدپذیر (که در اینجا با کلمه سایر منابع اشاره می‌گردد) را با فاصله زمانی ۵ ساله در طول سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ برنامه‌ریزی می‌نماید. این فرایند مستلزم این است که هر کشور داده‌ها را با فروض سهم‌های تخصیص داده شده از تغییر در مصرف کل انرژی بعد از اینکه تغییرات در مصرف نفت و انرژی هسته‌ای از آن کسر گردید، ترکیب سازد. فرایند ساختار این زیر سیستم در شکل ۴ نشان داده شده است. سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی مقادیر مصرف زغال سنگ، گازطبیعی و سایر منابع برای هر سال پیش‌بینی در هر کشور یا منطقه به طور مجزا توسط معادله زیر تعیین می‌نماید:

(۵)

$$QUAD_{t,i}=QUAD_{t-5,i}+(RESCHG_t * SHARE_{t,i})/100$$



شکل ۴: فرایند ساختار زیر سیستم زغال سنگ ـ گاز طبیعی و سایر منابع تجدیدپذیر

مقدار اولیه برای سال t-۵ از داده‌های برونزا برای هر منبع انرژی اولیه استفاده می‌گردد. زیرنویس i به ترتیب بیانگر زغال سنگ، گازطبیعی و سایر منابع است. متغیر $SHARE_{t,i}$ به طور برون زا با توجه به درصد نوع انرژی (نظیر زغال سنگ، گاز یا سایر منابع) همراه با مقادیر تخصیص یافته از باقیمانده رشد مصرف کل انرژی (RESCHG) تعیین می‌گردد. تغییر در مصرف انرژی برای هر کشور یا منطقه به صورت زیر برآورد می‌گردد.

(۶)

$$RESCHG=TOTQUAD_t-TOTQAD_{t-5}$$

$$(QUAD_{t,oil}=QUAD_{t,-5,oil})$$

$$(QUAD_{t,nuclear}=QUAD_{t-5,nuclear})$$

این معادله برای هر کشور یا منطقه معین شده در سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی اعمال می‌گردد. بنابراین مصرف انرژی برنامه‌ریزی شده برای زغال سنگ، گاز طبیعی و سایر منابع به صورت زیر برآورد می‌گردد:

(۷)

$$QUAD_{t,i}=QUAD_{t-5,i}+$$
$$(RESCHG_t*SHARE_{t,i})/۱۰۰$$

برای دستیابی به واحدهای فیزیکی استاندارد از برآوردهای زغال سنگ و گازطبیعی و دیگر منابع که برحسب کاردیلیون Btu بیان شده است می‌توان از معادله زیر استفاده نمود:

(۸)

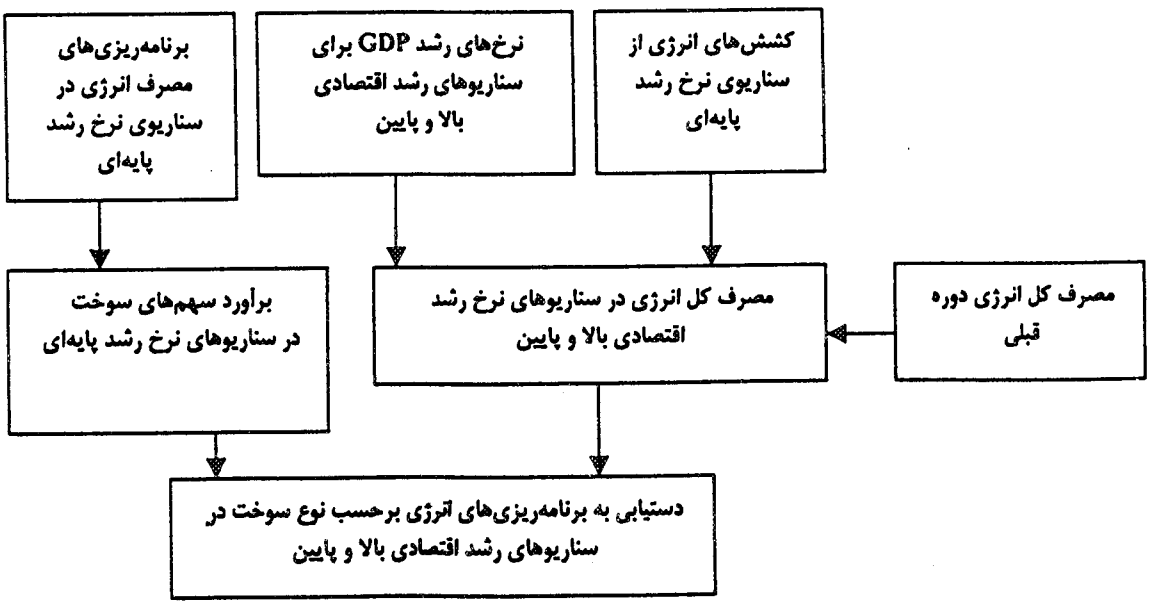
$$STD_{t,i}=QUAD_{t,i}*(STD_{۱۹۹۵,i}/QUAD_{۱۹۹۵,i})$$

با استفاده از معادله (۸) می‌توان زغال سنگ را از کاردیلیون Btu به میلیون تن و گاز طبیعی را از کاردیلیون Btu به تریلیون مترمکعب تبدیل نمود.

سرانجام، برنامه‌ریزی برای مصرف زغال سنگ به منظور سازگاری با جریان‌های تجارت جهانی زغال‌سنگ به کمک زیر بخش صادرات زغال سنگ (CES) (که بخش مجزایی از سیستم مدلسازی ملی انرژی است) با هم تلفیق می‌گردند. مدل صادرات زغال سنگ یک مدل برنامه‌ریزی خطی است که در آن توزیع تجاری زغال‌سنگ با حداقل سازی تمامی هزینه‌های زغال‌سنگ و توجه به قیمت عرضه زغال سنگ ایالات متحده و برخی قیود دیگر تعیین می‌گردد. هزینه‌های عرضه (شامل استخراج و آماده سازی به علاوه حمل و نقل) برای هر منطقه صادراتی زغال سنگ، نوع زغال‌سنگ در دو بخش تقاضای End-Use (شامل زغال کوک و بخار آب) محاسبه می‌گردد. همچنین مدل صادرات زغال سنگ در فرایند محاسبات خود محدودیت‌های انتشار دی‌اکسید سولفور و اهمیت تنوع منابع زغال سنگ را لحاظ می‌نماید[۱۵].

۵-۵ سناریوهای رشد اقتصادی بالا و پایین

شکل ۵ فرایند برنامه‌ریزی مصرف انرژی در سناریوهای رشد اقتصادی بالا و پایین (به صورت کل و برحسب نوع سوخت) را نشان می‌دهد. این



شکل ۵: فرایند ساختار زیر سیستم‌های مدل برنامه‌ریزی جهانی انرژی تحت شرایط در سناریوهای نرخ رشد اقتصادی بالا و پایین

فرایندبامصرف‌انرژی‌کل‌دردوحالت، رابطه مستقیم دارد. یک‌حالت‌درمورد‌تعیین‌نرخ‌های‌رشداقتصادی بالاوپایین‌ودیگری‌به کارگیری‌فرایندسیستم‌برنامه‌ریزی جهانی انرژی همانند روش مورد استفاده در فرایند نرخ رشد پایه‌ای برای هر دو سناریو است. فروض کشش‌های انرژی مانند فروض نرخ رشد پایه‌ای در نظر گرفته می‌شوند. یعنی برای سناریوی رشد اقتصادی بالا خواهیم داشت:

(۹)

$$TOTQUAD\text{-}H_t = TOTQUAD\text{-}H_{t-5}^{*} \{[(GDPGR\text{-}H_t^{*}ELAST_t)/100]+1\}^5$$

و برای سناریوی رشد اقتصادی پایین:

(۱۰)

$$TOTQUAD\text{-}L_t = TOTQUAD\text{-}L_{t-5}^{*} \{[(GDPGR\text{-}L_t^{*}ELAST_t)/100]+1\}^5$$

که در آن متغیرهای $TOTQUAD\text{-}H_t$ و $TOTQUAD\text{-}L_t$ به ترتیب مصرف کل انرژی برحسب کاردیلیون Btu برای سناریوهای نرخ رشد

اقتصادی بالا و نرخ رشد اقتصادی پایین در سال پیش‌بینی t است. به طور مشابه $GDPGR\text{-}H_t$ و $GDPGR\text{-}L_t$ به ترتیب نرخ‌های رشد اقتصادی مفروض برای سناریوهای نرخ رشد اقتصادی بالا و پایین است. $ELAST_t$ کشش انرژی در سال پیش‌بینی t است.

در هر یک از این سناریوها، نرخ‌های رشد اقتصادی پایین و بالا برای هر کشور و منطقه تعیین شده به کمک سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی با اضافه یا کم نمودن نرخ‌های رشد اقتصادی مفروض به نرخ رشد پایه‌ای GDP به دست می‌آید. این مقادیر مطابق با هر منطقه تغییر می‌یابند. همچنین سناریوها براساس وجود نااطمینانی در یک منطقه معین ارائه می‌گردند. این مقادیر به طور خلاصه در جدول ۲ نشان داده شده است.

برنامه‌ریزی برحسب نوع سوخت در سناریوهای رشد اقتصادی بالا و پایین با این فرض انجام می‌شود که سهم هر نوع سوخت خاص نسبت به مصرف کل انرژی مشابه پیش‌بینی‌های سناریوی نرخ رشد پایه‌ای است. در نتیجه برای سناریوهای نرخ رشد اقتصادی بالا و پایین خواهیم داشت:

(۱۱)

$$QUAD\text{-}H_{t,i} = TOTQUAD\text{-}H_t^* (QUAD_{t,i} / TOTQUAD_t)$$

(۱۲)

$$QUAD\text{-}L_t = TOTQUAD\text{-}L_t^* (QUAD_{t,i} / TOTQUAD_t)$$

به طوری که متغیرهای $QUAD\text{-}H_{t,i}$ و $QUAD\text{-}L_{t,i}$ به ترتیب بیانگر مصرف انرژی منبع i برحسب کاردیلیون Btu در سال مورد پیش‌بینی t برای سناریوهای نرخ رشد اقتصادی بالا و پایین می‌باشند. متغیر $QUAD_{t,i}$ و $TOTQUAD_t$ مقادیر برنامه‌ریزی شده از مصرف انرژی سوخت i و مصرف کل انرژی (هر دو برحسب کاردیلیون Btu) در سناریوی نرخ رشد پایه‌ای در سال t است.

جدول ۲: حیطه تغییرات نرخ رشد تولید ناخالص داخلی از نرخ رشد پایه‌ای برحسب کشور و سناریوهای مختلف

سناریو	کشورهای صنعتی	کشورهای EE/FSU	چین	بقیه جهان
نرخ رشد اقتصادی بالا	+۰/۵	+۳/۰	۱/۵	+۱/۵
نرخ رشد اقتصادی پایین	-۰/۵	-۱/۵	-۳/۰	-۱/۵

توضیحات: EE/FSU بیانگر کشورهای اروپای شرقی و اتحاد جماهیر شوروی سابق است.

۵-۶ زیر سیستم مصرف برق

شکل ۶ فرایند ساختار زیرسیستم مصرف برق را نشان می‌دهد. مصرف خالص برق (برابر است با تولید به علاوه واردات برق منهای صادرات و ضایعات توزیع) به عنوان سهمی از مصرف کل

انرژی، برنامه‌ریزی شده است. یعنی:

(۱۳)

$$ELEC\ Q_t = PCT\ ELEC_t * TOTQUAD_t$$

به طوری که متغیر $ELEC\text{-}Q_t$ کشش مصرفی در زمان t برحسب کاردیلیون Btu است و متغیر $PCT\text{-}ELEC_t$ سهم کشش از مصرف کل انرژی در زمان t (به جدول ۳ رجوع کنید) و $TOTQUAD_t$ برنامه‌ریزی مصرف کل انرژی در زمان t برحسب کاردیلیون Btu است.

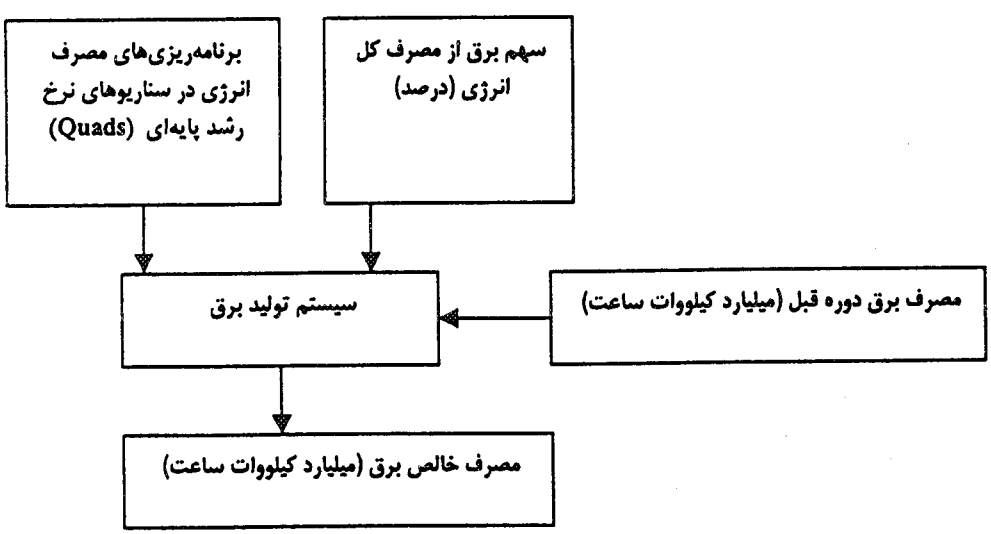
مرحله بعد در این زیرسیستم تبدیل مصرف به واحدهای فیزیکی استاندارد (در اینجا میلیارد کیلووات ساعت) است. بنابراین خواهیم داشت:

(۱۴)

$$ELEC\ STD_t = ELEC\text{-}Q_t * (10^6/3412)$$

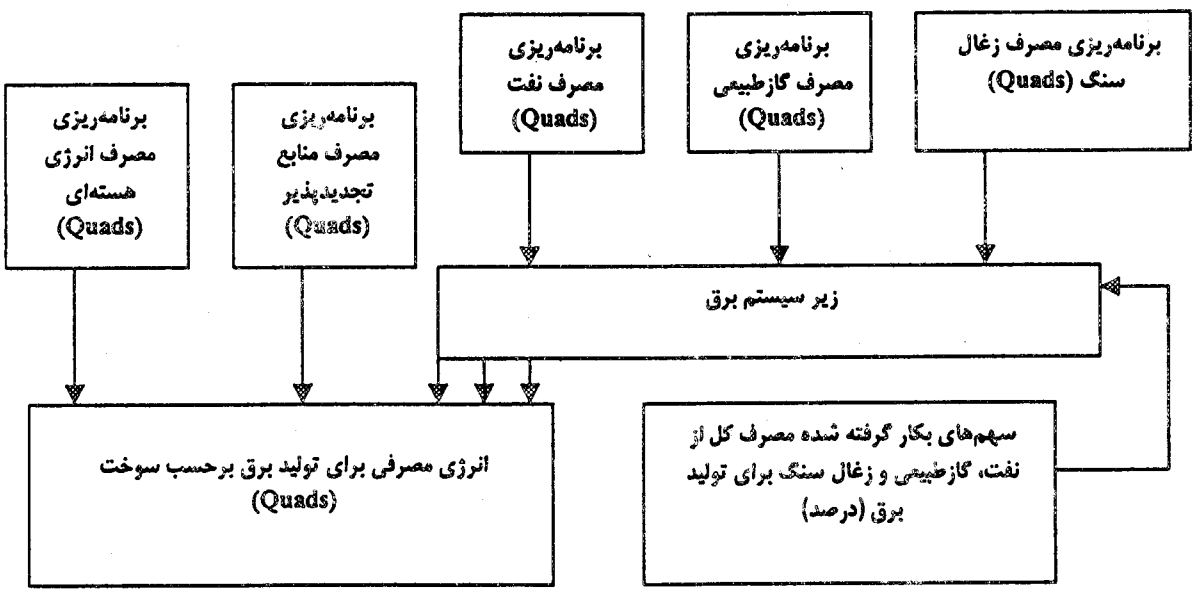
که در آن متغیر $ELEC\ STD_t$ مصرف برق خالص برحسب میلیارد کیلووات ساعت است.

همچنین مصرف انرژی برای تولید برق در زیرسیستم برق برحسب نوع سوخت برنامه‌ریزی می‌گردد (شکل ۷). برنامه‌ریزی مصرف



Quads = Quardrillion Btu

شکل ۶: فرایند ساختار زیر سیستم مصرف برق



Quads = Quardrillion Btu

شکل ۷: انرژی مصرف شده برای تولید برق (بخشی از زیر سیستم برق)

برحسب منبع انرژی در سناریوی نرخ رشد پایه‌ای به عنوان یک نهاده برای سیستم تولید برق استفاده می‌گردد. مقدار هر میزان سوخت فسیلی استفاده شده در شرکت برق دولتی براساس معادله (۱۵) تعیین می‌گردد:

(۱۵)

$$ELECF\ Q_{t,i}=PCT\ FUEL_{t,i}{}^{*}QUAD_{t,I}$$

به طوری که PCT-FUEL سهم سوخت فسیلی استفاده شده برای تولید برق در سال i استفاده شده برای تولید برق در سال t است و $QUAD_{t,i}$ مصرف برنامه‌ریزی شده در سناریوی نرخ رشد پایه‌ای از مصرف سوخت فسیلی i بر حسب کاردیلیون Btu برای سال t است و ELECF $Q_{t,i}$ مقدار مصرف سوخت فسیلی i برای تولید برق در سال t برحسب Btu کاردیلیون است. در این مدل فرض می‌گردد که تمامی مصارف انرژی هسته‌ای و منابع تجدیدپذیر برای تولید برق به کار گرفته می‌شود[۱۶].

برآورد مصرف خالص برق و انرژی مصرفی برای تولید برق (در سناریوهای رشد اقتصادی بالا و پایین) همانند روش مشابه در سناریوی نرخ رشد پایه‌ای تعیین شده است. برای هر حالت

دیگر، مصرف کل انرژی و مصرف برحسب نوع انرژی به عنوان نهاده برای زیر سیستم برق محسوب می‌گردد.

همچنین در اینجا سهم‌های استفاده شده برای سناریوی نرخ رشد پایه‌ای نیز برای سناریوهای رشد اقتصادی بالا و پایین در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب برای مصرف خالص برق خواهیم داشت:

(۱۶)

$$ELEC\text{-}Q\text{-}L_t = PCT\text{-}ELEC_t * TOTQUAD\ L_t$$

(۱۷)

$$ELEC\text{-}Q\text{-}H_t = PCT\text{-}ELEC_t * TOTQUAD\ H_t$$

به طوری که L پسوندی برای رشد اقتصادی پایین و H پسوندی برای رشد اقتصادی بالا است. به طور مشابه برای انرژی مصرفی برق برحسب نوع سوخت خواهیم داشت[۲۰]:

(۱۸)

$$ELECF\text{-}Q\text{-}L_{t,i} = PCT\ FUEL_{t,i} * QUAD\text{-}L_{t,I}$$

(۱۹)

$$ELECF\text{-}Q\text{-}H_{t,i} = PCT\ FUEL_{t,i} * QUAD\text{-}H_{t,I}$$

جدول ۳: سهم برق از مصرف کل انرژی

(۲۰۲۰-۱۹۹۵) (برحسب درصدی از کل)

کشور / سال	۱۹۹۵	۲۰۰۰	۲۰۰۵	۲۰۱۰	۲۰۱۵	۲۰۲۰
کانادا	۱۳/۲۷	۱۲/۷۶	۱۲/۵۸	۱۲/۷۶	۱۳/۰۱	۱۳/۲۷
مکزیک	۷/۹۹	۸/۶۱	۹/۲۵	۹/۹۲	۱۰/۶۱	۱۱/۳۵
ژاپن	۱۴/۴۰	۱۴/۹۶	۱۵/۴۱	۱۵/۷۷	۱۶/۰۵	۱۶/۳۴
انگلستان	۱۰/۴۷	۱۰/۸۶	۱۱/۲۵	۱۱/۶۳	۱۲/۰۰	۱۲/۳۸
فرانسه	۱۳/۲۰	۱۴/۱۷	۱۵/۰۳	۱۵/۷۷	۱۶/۴۰	۱۷/۰۵
آلمان	۱۲/۸۶	۱۳/۸۲	۱۴/۷۳	۱۵/۵۷	۱۶/۳۳	۱۷/۱۳
ایتالیا	۱۲/۲۸	۱۳/۲۹	۱۴/۳۳	۱۵/۴۰	۱۶/۵۰	۱۷/۶۷
هلند	۸/۰۶	۸/۶۵	۹/۲۲	۹/۷۷	۱۰/۲۹	۱۰/۸۵
سایر کشورهای اروپایی	۱۳/۸۰	۱۴/۴۴	۱۴/۹۹	۱۵/۷۰	۱۶/۴۰	۱۷/۱۳
آسیا-اقیانوسیه	۱۴/۶۵	۱۶/۰۰	۱۷/۱۴	۱۸/۰۷	۱۸/۸۱	۱۹/۵۷
اتحادجماهیر شوروی سابق	۸/۸۸	۸/۸۸	۸/۸۹	۸/۸۹	۸/۸۹	۸/۸۹
اروپای شرقی	۸/۹۹	۹/۵۸	۱۰/۱۲	۱۰/۶۳	۱۱/۰۹	۱۱/۵۷
چین	۷/۳۰	۷/۷۹	۸/۶۹	۹/۴۵	۱۰/۲۵	۱۱/۱۲
هند	۱۱/۷۶	۱۲/۵۶	۱۳/۳۰	۱۳/۹۷	۱۴/۵۷	۱۵/۱۹
سایر کشورهای آسیایی	۹/۷۴	۹/۸۹	۹/۹۵	۹/۹۸	۹/۹۹	۱۰/۰۰
خاورمیانه	۶/۴۵	۶/۷۹	۷/۰۲	۷/۱۸	۷/۲۹	۷/۴۰
آفریقا	۹/۸۳	۱۰/۵۳	۱۱/۲۴	۱۱/۹۶	۱۲/۶۹	۱۳/۴۶
آمریکای مرکزی و شمالی	۱۱/۶۶	۱۱/۹۵	۱۲/۳۱	۱۲/۳۸	۱۲/۳۰	۱۲/۳۷
برزیل	۱۵/۲۳	۱۶/۲۲	۱۷/۲۸	۱۸/۴۱	۱۸/۴۱	۱۹/۶۱

منبع: EIA، (۱۹۹۸)WEPS

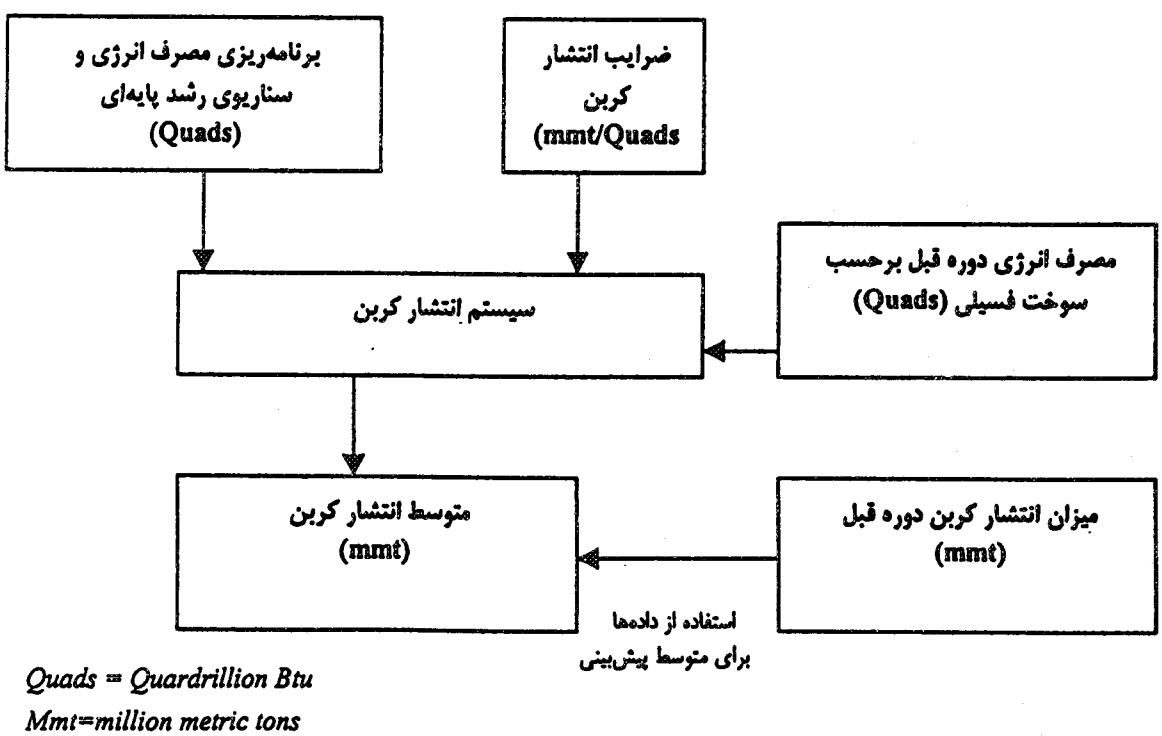
توجه: آسیا- اقیانوسیه شامل، استرالیا، نیوزلند و مناطق مرزی ایالات متحده می‌گردد. برنامه‌ریزی‌های مصرف برق ایالات متحده براساس WEPS صورت نمی‌پذیرد. باوجود این موضوع EIA براساس سیستم NEMS این پیش‌بینی‌ها را در گزارش AEO منتشر می‌سازد.

۳-۷ زیر سیستم انتشار کربن گازهای گلخانه‌ای

برنامه‌ریزی‌های انتشار کربن در سناریوی رشد پایه‌ای برحسب برنامه‌ریزی رشد پایه‌ای مصرف انرژی برحسب سوخت فسیلی برآورد می‌گردد. زیرسیستم انتشار کربن در شکل (۸) نمایش داده شده است. در این زیر سیستم ضرایب انتشار کربن در احتراق کامل نفت، گاز طبیعی و مصرف زغال‌سنگ برحسب کاردیلیون Btu از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۰ محاسبه می‌گردد.

$$EMIT_{t,i}=QUAD_{t,i}{}^{*}COEF_i \qquad (۲۰)$$

به طوری که $EMIT_{t,i}$ نشان دهنده انتشار کربن برحسب میلیون تن بر حسب واحد متریک برای سال پیش‌بینی t و سوخت‌های فسیلی i، $QUAD_{t,i}$ بیانگر مصرف در حالت سناریوی رشد پایه‌ای از سوخت i (نفت، گاز یا زغال سنگ) در سال



شکل ۸: فرایند ساختار زیر سیستم انتشار کربن (گازهای گلخانه‌ای)

پیش‌بینی t، و $COEF_i$ بیانگر ضریب انتشار کربن متناظر با سوخت فسیلی i است.

بنابراین برآوردهای متوسط انتشار کربن مبنی بر داده‌ها عبارت خواهد بود از:

(۲۱)

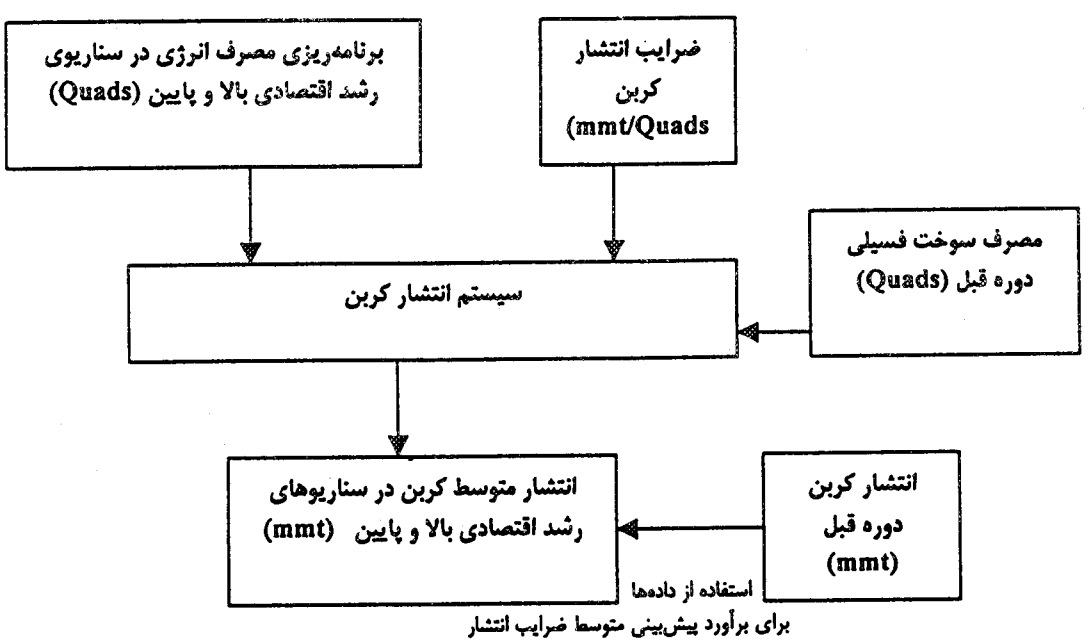
$$SM\text{-}EMIT_{t,i}=EMIT_{t,i}{}^{*}$$
$$(H\ EMIT_{۱۹۹۵,I}/EMIT_{۱۹۹۵,i})$$

به طوری که $SM\text{-}EMIT_{t,i}$ بیانگر متوسط انتشار کربن برای سال پیش‌بینی t و سوخت فسیلی i است

و $H\text{-}EMIT_{۱۹۹۵,i}$ برآورد ضریب انتشار کربن در سال ۱۹۹۵ و سوخت فسیلی i است. ضریب انتشار کربن در سناریوهای رشد اقتصادی بالا و پایین به طور مشابه محاسبه می‌گردد (شکل ۹). در نتیجه خواهیم داشت:

(۲۲)

$$EMIT\text{-}H_{t,i}=QUAD\ H_{t,i}{}^{*}COEF_i$$



Quads = Quardrillion Btu

Mmt=million metric tons

شکل ۹: فرایند زیرسیستم انتشار کربن گازهای گلخانه در سناریوها رشد اقتصادی بالا و پایین

(۲۳)

$$EMIT\text{-}L_{t,i}=QUAD\ L_{t,I}{}^{*}COEF_i$$

به طوری که $QUAD\ H_{t,i}$ بیانگر مصرف انرژی از سوخت i (نفت و گاز یا زغال سنگ) در سال پیش‌بینی t برای سناریوی رشد اقتصادی بالا و $QUAD\ L_{t,i}$ بیانگر مصرف انرژی در سناریوی رشد اقتصادی پایین و $COEF_i$ ضریب کربن متناظر با سوخت فسیلی i است.

بنابراین برآورد متوسط انتشار کربن در تطابق با داده‌ها عبارت خواهد بود از:

(۲۴)

$$SM\text{-}EMIT\text{-}H_{t,i}=EMIT\ H_{t,i}{}^{*}$$
$$(H\ EMIT_{1995,i}/EMIT_{1995,i})$$

(۲۵)

$$SM\text{-}EMIT\text{-}L_{t,i}=EMIT\ L_{t,i}{}^{*}$$
$$(H\ EMIT_{1995,i}/EMIT_{1995,i})$$

به طوری که $SM\text{-}EMIT\text{-}H_{t,i}$ میزان متوسط انتشار برای سال پیش t و سوخت فسیلی i در سناریوی رشد اقتصادی بالا است و $SM\text{-}EMIT\text{-}L_{t,i}$ میزان متوسط انتشار کربن برای سال پیش‌بینی t و سوخت فسیلی i در سناریوی رشد اقتصادی پایین است. $H\text{-}EMIT_{1995,i}$ ضریب برآوردی دوره قبل (برای مثال در اینجا سال ۱۹۹۵) برای انتشار کربن در سناریوی رشد اقتصادی پایه‌ای در سال ۱۹۹۵ از سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی است[۱۵].

۶- نتیجه گیری

سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی توسط سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) برای فراهم آوردن یک چارچوب محاسباتی سازگار، کامل، اقتصادی و انعطاف‌پذیر برای تجزیه و تحلیل و روندهای برنامه‌ریزی در بازارهای جهانی انرژی توسعه داده شده است. سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی مشاهدات و برنامه‌ریزی‌های مصرف انرژی را در میان حیطه‌ای از منابع انرژی اولیه، همگرایی کشورها و مناطق اصلی دنیا و برنامه‌ریزی در افق زمانی پنج ساله میسر می‌سازد و جداول مربوطه در یک فرمت خاص در نشریه سالیانه IEO منتشر می‌گردد. اقتصاد ایران با وجود منابع غنی انرژی فاقد چنین سیستم برنامه‌ریزی انرژی است، بدین ترتیب با توجه به پایان پذیری منابع نفتی و فسیلی، تدوین سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی ضروری است.

منابع و مآخذ

1- DRI/McGraw-Hill, World Energy Service (includes publications, Latin America Outlook, Asia/ Pacific Outlook, and Middle East/ Africa Outlook- Lexington, MA, various annual issues).

2- DRI/McGraw-Hill, The Future of the Electric Power Industry Around the World (Lexington, MA, November 1995).

3- Energy Information Administration, International Petroleum Statistics Report.

4- Energy Information Administration, Annual Energy Review.

5- Energy Information Administration, Nuclear Power Generation and Fuel Cycle Report

6- Energy Information Administration, Annual Energy Outlook, DOE/EIA-0383.

7- Energy Information Administration, International Energy Annual, DOE/EIA-0219

8- International Energy Agency, World Energy Outlook (various annual issues - but no published in 1997)

9- International Energy Agency, Asia Electricity Study (Paris, 1997).

10- International Energy Agency, Energy Policies of IEA Countries (Paris, 1996).

11- International Energy Agency, World Energy Statistics and Balances, 1971-1987 (Paris, France, 1989).

12- International Energy Agency, Energy Statistics and Balances of Non-OECD Countries.

13- International Energy Agency, Energy Statistics of OECD Countries.

14- International Energy Agency, Energy Balances of OECD Countries.

15- International Energy Agency, Coal Information.

16- International Energy Agency, Electricity Information.

17- Quarterly Coal Report, January March 1994, DoE/EIA-0121(94/1Q).

18- PlanEcon, Energy Outlook for Eastern Europe (and the Former Soviet Republics (Washington, DC, various annual issues).

19- PlanEcon, Review and Outlook for the Former Soviet Republics (Washington, DC, various issues).

20- Plan Econ, Energy Outlook for Eastern Europe and the Former Soviet Republics.

21- Plan Econ, Review and Outlook for Eastern Europe and the Former Soviet Republics.

22- United Nations, World Population Prospects.

23- U. S. Department of Energy, Energy Information Administration, NEMS International Energy Module Model Documentation Report, DOE/EIA-M071(Washington, DC, April 1994).

24- U. S. Department of Energy, Energy Information Administration, WINES Model Documentation DOE/EIA-M049(Washington, DC, December 31, 1991).

25- U. S. Department of Energy, Energy Information Administration, Model Documentation, Coal Market Module of the National Energy Modeling System, DOE/EIA-M060(Washington, DC, March 1994, March 1995, April 1996).

26- WEFA Energy, World Power Service (includes reports on Western Europe, Eastern Europe, Far East, Latin America, and China and Indian Subcontinent).

27- WEFA Group, World Economic Outlook: 20-Year Extension.

28- WEFA Group, World Economic Outlook, Volume 1.

29- WEFA Group, Asia Economic Outlook