

## سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی EIA<sup>۱</sup>

رضا محسنی\*

### چکیده

"سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی"، توسط سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) برای فراهم آوردن یک چارچوب محاسباتی سازگار، کامل، اقتصادی و انعطاف‌پذیر جهت 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 برای افق زمانی پنجساله ۲۰۰۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ میسر می‌سازد. 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، دیگرام‌های سیستم و جریانهای زیر سیستم، تشریح معادلات و تعاریف و منابع تمامی متغیرهای مورد استفاده در سیستم را ارائه می‌نماید.

### کلیدواژه‌ها

انرژی، سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی، سازمان مدیریت اطلاعات انرژی

---

۱- این مقاله برگرفته از بخشی از نتایج مطالعه پژوهشی "مروری بر مدل‌های برنامه‌ریزی انرژی FIA با تاکید بر بخش بازار جهانی" است که به سفارش دفتر برنامه‌ریزی انرژی، وزارت نیرو، انجام شده است.  
\* پژوهشگر مؤسسه مطالعات و پژوهشهای بازرگانی.

## ۱- مقدمه

## پیشینه سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی

سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی (WEPS)<sup>۱</sup>، یک چارچوب محاسباتی را جهت برنامه‌ریزی مدل‌های مستقل مهیا کرده و با ترکیب فرض پیش‌بینی شدت انرژی‌بری فعالیت‌های اقتصادی (نسبت مصرف کل انرژی به GDP) و نرخ تجهیزات انرژی مورد نیاز برای گاز طبیعی، زغال سنگ، برق آبی و دیگر منابع تجدیدپذیر با یکدیگر، برنامه‌ریزی‌های مصرف انرژی جهانی را (به طور سالانه توسط سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA)<sup>۲</sup> در نشریه IEO<sup>۳</sup> منتشر می‌گردد) ارائه می‌نماید. سیستم برنامه‌ریزی انرژی جهانی از دو مدل مستقل، "جهانی انرژی" (IEM)<sup>۴</sup> که یک بخش از سیستم مدل‌سازی ملی انرژی است و "انرژی هسته‌ای جهانی" (INM)<sup>۵</sup> که در آن از مدل PC-Version (PC-INM)<sup>۶</sup> جهت برنامه‌ریزی‌های نفت و مصرف انرژی هسته‌ای استفاده می‌شود، تشکیل شده است. هر دو این مدل‌ها در سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی ترکیب شده و نتایج آن در IEO منتشر می‌گردد. مدل انرژی جهانی، برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای و ظرفیت تولیدی نفت را برآورد می‌نماید و همچنین پروژه ظرفیت‌سازی 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 و نتایج آن در نشریه IEO گزارش می‌گردد. پروژه ظرفیت‌سازی نیروگاه اتمی، براساس دو سناریو توسعه داده شده است که عبارتند از: ۱- برنامه‌ریزی در حالت نرخ رشد پایه (مرجع)<sup>۷</sup> و رشد اقتصادی پایین که مبتنی بر دانش تحلیلی برنامه‌های انرژی

---

1- World Energy Projection System.

2- Energy Information Administration.

3- International Energy Outlook.

4- Internatinal Energy Model.

5- International Nuclear Model.

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

7- Reference Case.

هسته‌ای کشورهای مختلف توسعه داده شده است و ۲- برنامه‌ریزی در موقعیت رشد اقتصادی بالا که براساس سیستم ارزیابی هسته‌ای هماهنگ (WINES)<sup>۱</sup> که یک مدل مشتق شده تقاضاست، اجرا می‌گردد.

برای استنتاج جریانهای تجاری زغال سنگ جهانی، از زیربخش صادرات زغال سنگ<sup>۲</sup> (CES) سیستم مدلسازی ملی انرژی استفاده شده است. سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی، یک مجموعه کاملی از صفحه گسترده‌هایی مبتنی بر کامپیوترهای شخصی است که داده‌های ترکیبی، فروض خاص، فرایندهای تجزیه و تحلیل توصیفی و برنامه‌ریزی مدلها را در بر می‌گیرد. سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی برنامه‌ریزی بخشی برای ۷ کشور شامل ۹ منطقه را میسر می‌سازد. سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی مصرف کل انرژی را بر حسب منبع انرژی، مصرف خالص و انتشار گازهای گلخانه‌ای (کربن) برنامه‌ریزی می‌نماید. همچنین این سیستم بر اساس مشاهدات، برنامه‌ریزی‌ها و محاسبات تحلیلی از درصد مصرف انرژی که بر حسب منبع انرژی، سهم مصرف کل انرژی از GDP بر حسب دلار، مصرف سرانه انرژی و شاخص (GDP/انرژی) ارائه شده است، فراهم می‌سازد. 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<sup>۳</sup> (DOE)، توسعه داده شده است. این مطالعه از سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی، آخرین مطالعه‌ای است که در سال ۱۹۹۸ صورت گرفته است.

### هدف سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی

همان طور که گفته شد، سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی، توسط سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) برای فراهم آوردن یک چارچوب محاسباتی سازگار، کامل، اقتصادی و انعطاف‌پذیر جهت تجربه و تحلیل و روندهای برنامه‌ریزی در بازارهای جهانی انرژی توسعه داده شده است. این سیستم، مشاهدات و برنامه‌ریزی مصرف انرژی

1- World Integrated Nuclear Evaluation System.

2- Coal Export Submodule.

3- Department of Energy.

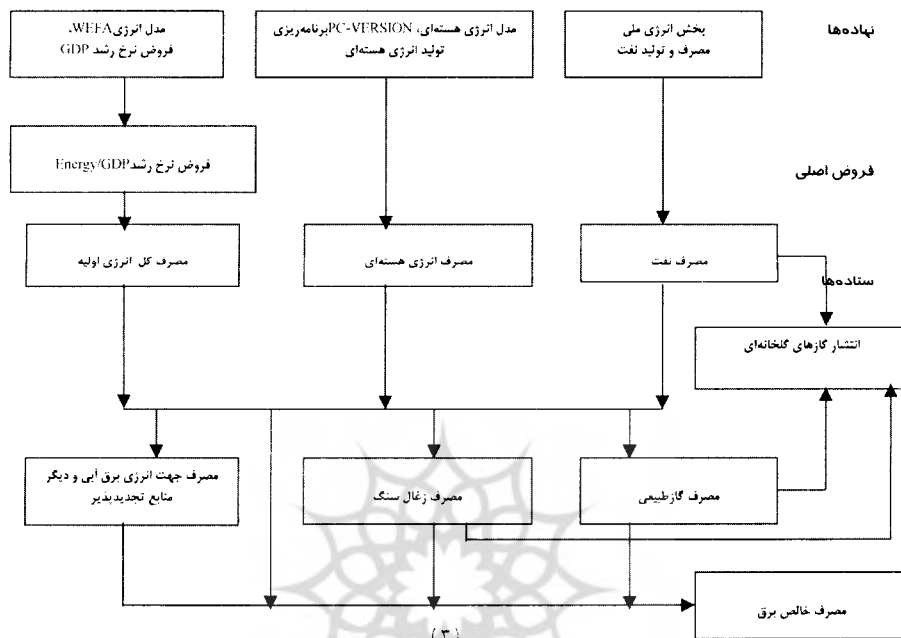
را در میان حیطه‌ای از منابع انرژی اولیه، همگرایی کشورها و مناطق اصلی دنیا و برنامه‌ریزی در افق زمانی پنج‌ساله ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ میسر می‌سازد. جداول مربوطه در یک فرمت خاص در نشریه سالیانه IEO منتشر می‌گردد. در این مقاله، یک دورنمای کلی از سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی را نظیر تشریح پایگاه اطلاعاتی تحت بررسی، تشریح فنی و جزئی، مدلها، دیاگرام‌های سیستم و جریانهای زیر سیستم، تشریح معادلات و تعاریف و منابع تمامی متغیرهای مورد استفاده در سیستم، فراهم می‌سازد. همچنین در این بخش، کاربران برنامه‌ریزی‌های سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) را که مبتنی بر سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی می‌باشند، را قادر می‌سازد تا فرایندهای تحت بررسی را بهتر درک نمایند و قادر به تکرار برنامه‌ریزی مدل گردند.

#### ۴- دورنمای سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی

سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA)، نتایج استنتاج شده از سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی را هر ساله در نشریه IEO منتشر می‌سازد. سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی، یک مجموعه کاملی از صفحه‌گسترده‌های 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 مدلها مستقل و فروضی درباره پیش‌بینی شدت انرژی‌بری فعالیت اقتصادی (نسبت مصرف کل انرژی به GDP) و 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. ساختار سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی در شکل (۱) نمایش داده شده است. این سیستم، برنامه‌ریزی مصرف کل جهانی انرژی اولیه و نیز برنامه‌ریزی‌های مصرف انرژی برحسب انرژی مصرف کل جهانی اولیه، برنامه‌ریزی‌های مصرف انرژی بر حسب نوع انرژی اولیه (مانند: نفت، گاز طبیعی، زغال سنگ، هسته‌ای، برق آبی و دیگر منابع تجدیدپذیر) و برنامه‌ریزی مصرف خالص برق را در برمی‌گیرد. همچنین نتایج حاصل از انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی نیز از برنامه‌ریزی مصرف

انرژی سیستم برنامه‌ریزی جهانی استنتاج می‌گردد.

تمام برنامه‌ریزی‌ها تا افق برنامه‌ریزی ۲۰۲۰ صورت گرفته است. انتخاب این محدوده زمانی، به این دلیل است که فرض می‌گردد 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. 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، توسط سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی که یک زیربخش از سیستم مدل‌سازی ملی انرژی است، صورت می‌پذیرد. برنامه‌ریزی‌های مصرف جهانی انرژی هسته‌ای که از برنامه‌ریزی تولید انرژی هسته‌ای مبتنی بر مدل هسته‌ای جهانی (INM) و سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) ناشی شده است، توسط روش PC-Version که به PC-INM مشهور می‌باشد، استنتاج می‌گردد. پروژه ظرفیت‌سازی 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 است. این نرخ مبتنی بر دانش تحلیلی برنامه‌های انرژی هسته‌ای در کشورهای مختلف می‌باشد؛ روش دوم، برنامه‌ریزی براساس سناریوی رشد اقتصادی بالا می‌باشد که یک مدل اشتقاقی از تقاضا بوده، به سیستم ارزیابی هماهنگ جهانی (WINES) معروف می‌باشد و نهایتاً سیستم برنامه‌ریزی جهانی برای برنامه‌ریزی جریانهای تجاری زغال سنگ، از زیربخش صادرات زغال سنگ (Coal Export Submodule, CES) که یک زیربخش از سیستم مدل‌سازی ملی انرژی است، به‌عنوان یک روش برای برنامه‌ریزی منطقه‌ای مصرف زغال سنگ استفاده می‌نماید.



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. این سیستم در طراحی بخشی از سیستم انرژی هفت کشور که شامل برخی کشورهای صنعتی (نظیر: ایالات متحده، کانادا، مکزیک، ژاپن) نیز می‌باشند، 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، 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 اروپای شرقی (EE)<sup>۱</sup> و اتحاد جماهیر شوروی سابق (FSU)<sup>۲</sup>، یک گروه مجزا بوده و جزء کشورهای صنعتی یا در حال توسعه قرار نمی‌گیرد. سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی، مصرف کل انرژی و مصرف انرژی بر حسب منبع انرژی اولیه را برای هر یک از این مناطق برنامه‌ریزی می‌نماید. تولید نفت و ظرفیتهای بهره‌برداری نفت، توسط بخش جهانی انرژی و با استفاده از نرم‌افزار پیش‌بینی جهانی انرژی (معروف به "DESTINY") طراحی می‌گردد.<sup>۳</sup> این سیستم، ظرفیت بهره‌برداری نفت را برای کشورهای عضو اوپک حاشیه خلیج فارس (ایران، عراق، قطر، عربستان سعودی) 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 غیر اوپک (آمریکای مرکزی و جنوبی، خاورمیانه، آفریقا و آسیا) برآورد و منتشر می‌سازد. همچنین تولید نفت را برای کشورهای عضو اوپک، ایالات متحده، کانادا، مکزیک، اروپای شرقی، دیگر کشورهای صنعتی، چین، اتحاد 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 می‌کند.

اگرچه طراحی منطقه‌ای برای سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی تا حدی سیال و متنوع است، اما تغییرات پی‌درپی در تقاضای انرژی بخش‌های مختلف جهان، نظیر سیاستهای مشخص و تحریکات اقتصادی را معین می‌سازد؛ برای مثال، سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی می‌تواند برنامه‌ریزی‌های میان مدت را برای کشورهای عضو OECD ارائه نماید؛ البته این امر به دلیل جمع‌آوری داده‌ها از جمله مصرف انرژی برای اعضاء OECD در سال ۱۹۹۵ و ۱۹۹۶ دشوار می‌باشد؛<sup>۴</sup> به علاوه فروپاشی برخی از

1- Eastern Europe.

2- Former Soviet Union.

3- Petroconsultants 1997, Pallas, Texas.

۴- برای مثال، در جمهوری چک و اسلونی داده‌های مجزا برای مصرف وجود ندارد؛ زیرا چکسلواکی در سال

کشورهای در حال گذار و منشعب شدن آنها، مانند کشورهای اروپای شرقی و اتحاد جماهیر شوروی سابق و ادغام شدن برخی از این انشعابات با یکدیگر، به ویژه با کشورهای آسیایی، این مشکل را تشدید نموده است؛ بدین ترتیب سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی، علاوه بر تقسیم‌بندی کشورها به OECD و غیر OECD، آنها را به گروه‌های صنعتی، در حال توسعه و EE/FSU (در حال گذار) نیز تفکیک می‌نماید (این تقسیم‌بندی در گزارش منتشر شده توسط سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی در سال ۱۹۹۷ صورت پذیرفته است). کاربران سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی، همواره در سالهای آتی تغییرات بیشتری را برای طراحی منطقه‌ای از این مدل انتظار دارند.

#### 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 (شکل ۱). در اینجا یک چشم‌اندازی از هر یک از اجزاء اصلی سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی برحسب برنامه‌ریزی تولید، منابع داده‌ها و روشهای برنامه‌ریزی ارائه می‌گردد. 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 رابطه با سناریوهای مختلف رشد اقتصادی (نرخ رشد اقتصادی بالا یا پایین) (۴) برنامه‌ریزی مصرف خالص برق و سوخته‌های مصرفی جهت تولید برق، انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط سوخته‌های فسیلی (نفت، گاز طبیعی و زغال سنگ) (۵) برنامه‌ریزی مصرف انرژی برحسب نوع سوخت.



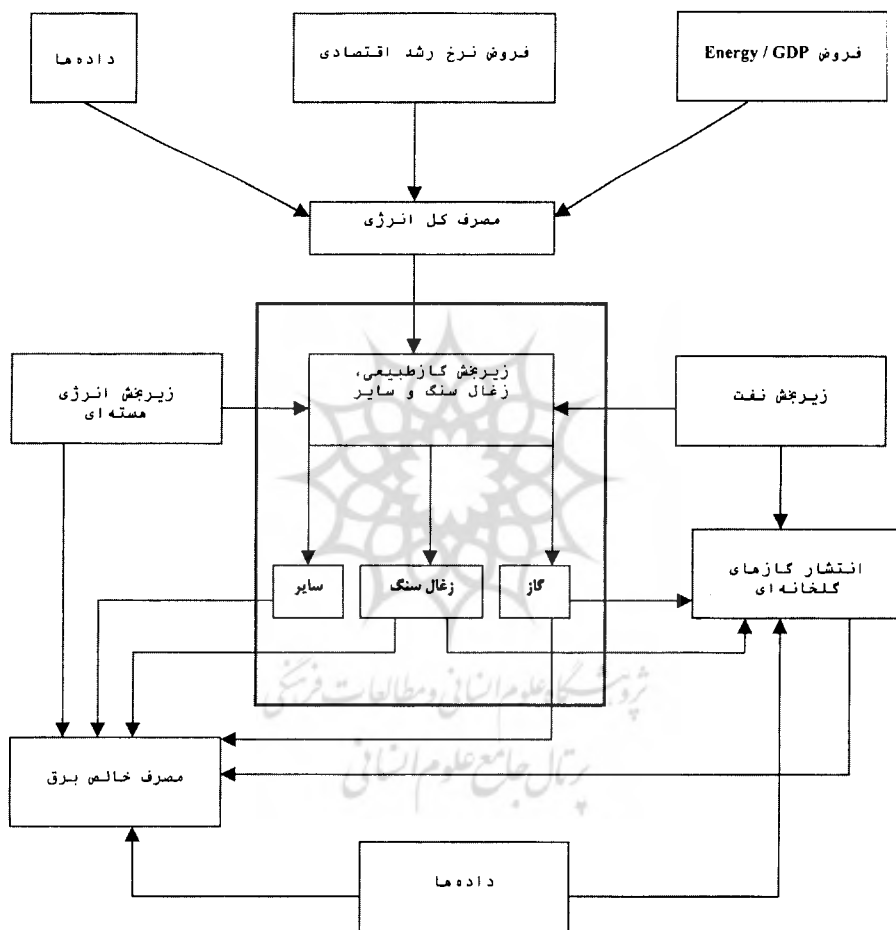
#### ۴-۱- مصرف کل انرژی

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 تا افق زمانی ۲۰۲۰ و به صورت دوره‌های ۵ ساله صورت می‌پذیرد. این برنامه‌ریزی مبتنی بر مجموعه فروشی درباره نرخ رشد GDP، رشد ککش نسبت مصرف انرژی به GDP و مصرف کل انرژی سال قبل می‌باشد. برای مثال، جهت برنامه‌ریزی مصرف، به مقدار مصرف دوره قبل نیاز می‌باشد و این داده برای محاسبات زیربخش‌های آن نیز به کار می‌رود. این مدل، نرخ رشد GDP و فروض ککش برای هر سال را با یکدیگر هماهنگ و اصلاح می‌سازد. نرخهای رشد GDP توسط گزارش گروه WEFA (Wharton Econometric Forecasting Associates) در نشریه IEO، و فروض مربوط به نسبت مصرف انرژی برحسب GDP (ککش)، توسط تحلیلگران سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) فراهم شده است.

#### ۴-۲- مصرف انرژی برحسب نوع انرژی اولیه

همان طور که در شکل (۲) نشان داده شده است، مصرف کل انرژی در مرحله بعد، مصرف انرژی را بر حسب نوع سوخت (نفت، گاز طبیعی، زغال سنگ، انرژی هسته‌ای و برق آبی و دیگر منابع تجدیدپذیر) برآورد می‌نماید. این برآوردها در سه سیستم جهت برنامه‌ریزی استفاده می‌گردد: زیر سیستم نفت، زیر سیستم انرژی اتمی و زیر سیستم گاز طبیعی و سایر منابع اولیه.

زیر سیستم‌های نفت و انرژی اتمی از داده‌های برون‌زا و مدلها برای برنامه‌ریزی مصرف نفت و انرژی هسته‌ای استفاده نموده، زیر سیستم نفت - گاز طبیعی و سایر منابع اولیه، مصرف گاز طبیعی، زغال سنگ و برق آبی و دیگر منابع تجدیدپذیر را برنامه‌ریزی می‌نماید. برنامه‌ریزی مصرف و تولید نفت که زیر سیستم نفت را در بر می‌گیرد، 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 بر حسب مناطق از مدل شبیه‌سازی بازار نفت سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (OMS-PC) با جزئیات بسیاری درباره شرایط بازار نفت سیستم مدلسازی ملی انرژی است.



شکل ۲- اثرات متقابل سیستم مصرف جهانی انرژی

این مدل، عرضه واردات در سطح بخشی برای سازمان نفتی جهت حمایت بخش دفاعی (PAD)<sup>۱</sup> را برحسب نوع محصول تصفیه شده و درجه‌بندی نفت خام سازگار با قیمت برآوردی نفت جهانی برآورد می‌نماید. نتایج مدل جهانی انرژی، شامل قیمت پیش‌بینی شده نفت خام، تولید اوپک و غیراوپک، تولید و ظرفیت بهره‌برداری نفت اوپک و همچنین مصرف منطقه‌ای نفت جهانی است. مدل جهانی انرژی، پیش‌بینی‌های تولید نفت را براساس دو سناریوی افزایش و کاهش قیمت جهانی نفت برآورد می‌نماید. این سیستم سناریوهای نرخ رشد اقتصادی بالا و پایین را برای پیش‌بینی‌های مصرف نفت، همان طور 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 روش برنامه‌ریزی در سناریوی نرخ رشد پایه، پیش‌بینی‌هایی را درباره مصرف انرژی اتمی بر حسب 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. این مدل با استفاده از یک تکنیک 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 تمام کشورهای تحت پوشش و در هر دوره زمانی معین به کار گرفت. در حال حاضر، یک گروه از هشت کشور مختلف براساس این مدل تا سال ۲۰۱۵ سیستم انرژی هسته‌ای کشور خود را برنامه‌ریزی نموده‌اند. برای محاسبه پیش‌بینی‌ها، سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) یک مجموعه فروض مؤثر را برای عوامل ظرفیتی، روزهای توان کامل، اندازه راکتور و مقادیر مجدد بارگذاری، توسعه داده است. این فروض به طور آماری از داده‌ها و از برنامه‌ریزی کاربردی طرح‌های مدیریت سوخت استخراج شده و تمامی آنها در برنامه‌های مدیریت سوخت تلفیق گردیده است. تخمین‌های ناشی 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 برای مصرف انرژی اتمی بدینگونه استفاده می‌نماید که زیر سیستم زغال سنگ - گاز طبیعی و سایر منابع اولیه، مقدار تغییر در مصرف کل انرژی را بدون توجه به فروض مربوط به مصرف نفت و انرژی هسته‌ای برآورد می‌نماید. در این زیر سیستم، هر تغییر باقیمانده در مصرف کل از یک دوره به دوره بعد 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 برون‌زا صورت می‌پذیرد. سهم‌های زغال سنگ در تطابق با فروض و برنامه‌ریزی‌های زیر بخش صادرات زغال سنگ (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 Graw-Hill DRI/Mc). 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.

### ۳-۴. سناریوهای رشد اقتصادی بالا و پایین

برنامه‌ریزی‌های بلندمدت مصرف انرژی، نسبت به نااطمینانی‌های ذاتی موجود در اقتصاد، محدود می‌گردند. 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 متغیرهاست که براساس آن، شرایط روش برنامه‌ریزی براساس سناریوی نرخ رشد پایه صورت می‌پذیرد. برای تشریح یک حیطه از نااطمینانی در 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 می‌نماید. اقتصادهای صنعتی به علت اینکه به رشد مطلوب رسیده‌اند، دارای نرخ رشد کمتری هستند و تغییرات کمتری را

نسبت به آن دسته از کشورهای در حال توسعه و کشورهای اروپای شرقی و اتحاد جماهیر شوروی سابق دارای باشند و رشد اقتصادی این کشورها 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 منعکس‌کننده نااطمینانی ذاتی برای پیش‌بینی رشد اقتصادی در اقتصادهای در حال توسعه است. همچنین الگوی مشابهی برای تغییر در شدت نسبی انرژی به تغییرات نسبی در GDP (کشش) برای موقعیت‌های نرخ رشد بالا و پایین جهت برنامه‌ریزی در شرایط سناریوی نرخ رشد پایه فرض شده است. جهت کشورهای صنعتی، نرخ رشد برنامه‌ریزی در شرایط سناریوی نرخ رشد پایه، به ترتیب افزایش‌های  $+1$  و  $-1$  درصدی برای نرخ‌های رشد بالا و پایین به نرخ رشد پایه‌ای آنها اضافه شده است. در 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  $+1/5$  و  $-1/5$  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 و مناطق اروپایی شرقی و اتحاد جماهیر شوروی سابق یک رکود اقتصادی طاقت‌فرسا را داشته‌اند. 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 شوروی سابق یک نرخ رشد افزایش ذاتی برای معتدل نمودن مشکلات نهادی و سیاست‌های جاری‌شان جهت 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  $3$ - درصد و برای شرایط نرخ رشد اقتصادی بالا به میزان  $1/5$  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،  $+3$  و  $-1/5$  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 جهت 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

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 جهت تولید برق توسط سوخت، سهم هر سوخت مصرف شده در شرکت برق برای برنامه‌ریزی‌های مصرف انرژی اولیه برحسب نوع منبع استفاده می‌گردد. سابقاً از سناریوی 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 و همچنین سهم هر یک از سوخت‌های فسیلی (نفت، گاز طبیعی 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 تجدیدپذیر در شرکت برق دولتی مصرف شده است.

#### ۴-۵- انتشار جهانی گازهای گلخانه‌ای توسط 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 (میلیون متر کربن بر حسب Btu) برای هر سوخت فسیلی (بویژه نفت) برحسب کشور یا منطقه محاسبه شده است و سپس در برنامه‌ریزی‌های مصرف نفت، گاز طبیعی 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)<sup>۱</sup> و دفتر مصارف Enduse (که در نشریه Energy Review Annual، DOE/EIA-۰۳۸۴، منتشر شده در سال ۱۹۹۷)<sup>۲</sup> 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 دی‌اکسیدکربن برای زغال سنگ» توسط E.R.Slotick و B.D.Hong (که در گزارشات EIA منتشر می‌شود) استخراج شده است.<sup>۳</sup> این ضرایب بر حسب نوع گازهای گلخانه‌ای حاصل از زغال سنگ تقسیم می‌گردد (برای مثال: انتراکسید و ۲۷/۸۵ متر تن کربن بر حسب بیلون<sup>۴</sup> Btu، بیتومینوس ۲۵/۱۲ و لیگنیت ۲۶/۳۵). این ضرایب از گزارش سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) در International Energy Annual استخراج شده است. نتیجه منحصر بفرد ضریب کربن برای برنامه‌ریزی‌های مصرف زغال سنگ در طول تمامی کشورها و مناطق (۲۵/۱۶) سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی به کار گرفته شده است. ضرایب مربوط به گاز طبیعی و نفت از گزارش سالیانه<sup>۵</sup> Gases Emissions in the United States of Greenhouse، ضرایب مربوط به نفت از گزارش Emissions (که براساس تولید نفت محاسبه شده است) و ضرایب مصرف فرآورده نفتی تصفیه شده از گزارش سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) در نشریه<sup>۶</sup> International Energy Annual قابل دسترسی می‌باشند. ضرایب انتشار کربن برای نفت با استفاده از متوسط وزنی محصولات نفتی مصرفی بر حسب منطقه یا کشور محاسبه می‌گردد. ضرایب برآوردی در جدول (۱) نشان داده شده است. ضریب گاز طبیعی به عنوان متوسط وزنی از داده‌های تولید گاز طبیعی خشک جهانی (۱۴/۴۷ میلیون متر تن کربن بر حسب کواردیلیون Btu) و داده‌های گاز شعله‌ور (۱۴/۹۲)

1- Office of Energy Markets.

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

3- Quarterly Coal Report, January - March 1994, DOE/EIA-0121(94/IQ).

4- DOE-EIA- 0219.

5- DOE/EIA-0573

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

میلیون متر کربن بر حسب کواردیلیون (Btu) در گزارش سازمان مدیریت اطلاعات (EIA) در نشریه International Energy Annual ارائه می‌گردد. این ضریب در طول تمامی کشورها و مناطق در سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی برای به دست آوردن نتایج انتشار گاز گلخانه‌ای حاصل از مصرف گاز طبیعی به کار گرفته شده می‌شود.

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

(میلیون متر تن کربن بر حسب کواردیلیون)

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
اتحاد جماهیر شوروی سابق	۱۹/۹۷۱۶۳۲
اروپای شرقی	۲۰/۲۹۰۸۵۵
کشورهای آسیایی در حال توسعه	۲۰/۱۴۶۳۱۹
چین	۲۰/۱۸۰۱۴۷
هند	۱۹/۹۷۴۴۴۳
خاورمیانه	۲۰/۱۱۰۹۹۶
آفریقا	۲۰/۰۴۸۴۸
آمریکای مرکزی و شمالی	۱۹/۸۴۴۱۳۳
برزیل	۱۹/۸۷۳۸۴۷

Source: DOE/EIA-۰۲۱۹(۹۵) و DOE/EIA-۰۵۷۳(۹۵)

### ۵- مدل‌سازی همدلسازی سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی

در این بخش، به تشریح جزئیات منابع داده‌ها و روش‌های برآوردی هر یک از زیر



سیستم‌های 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.

### ۱-۵- زیر سیستم مصرف کل انرژی

اجزاء زیرسیستم مصرف کل انرژی در شکل (۳) نشان داده شده است. مقدار نرخ رشد پایه برای مصرف کل انرژی (TOTQUAD) بر حسب کاردیلیون<sup>۱</sup> (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 را مطابق با نرخ رشد GDP (نرخ رشد شدت مصرف کل انرژی) تعیین می‌سازد و t بیانگر سال است.

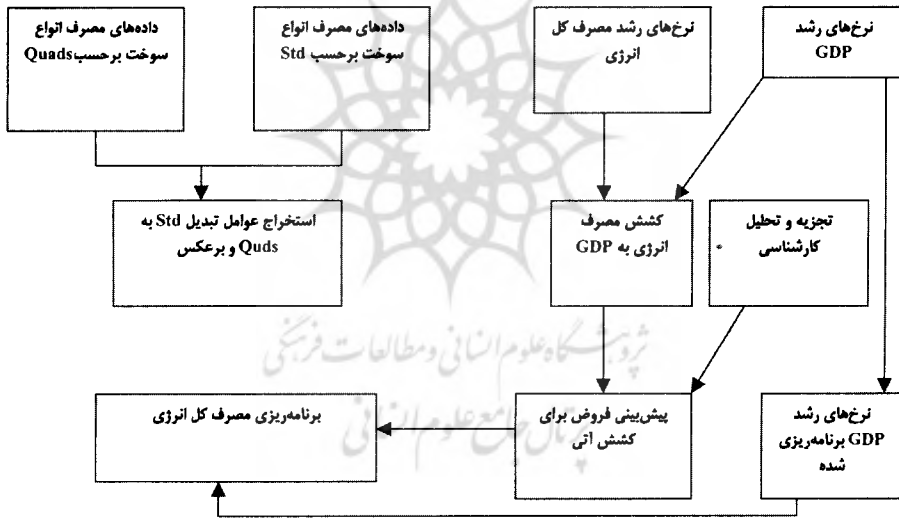
مصرف کل انرژی سال ۱۹۹۵ برای هر کشور و منطقه به عنوان مجموع مصارف نفت، گاز طبیعی، زغال سنگ، انرژی اتمی، برق آبی و دیگر منابع تجدیدپذیر - که واحد تمامی آنها برحسب کاردیلیون Btu می‌باشد - در نظر گرفته شده است. معادله برآوردی برای تعیین مصرف کل اولین دوره برنامه‌ریزی (سال ۲۰۰۰) عبارت خواهد بود از:

$$TOTQUAD_{2000} = TOTQUAD_{1995}^{*(((GDPGR_{2000} * ELAST_{2000}) / 100) + 1)^5} \quad (2)$$

داده‌هایی که برای مدل سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی به عنوان داده‌های برون‌زا فرض می‌گردند، از نشریه "International Energy Annual" 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 WEAFA استخراج شده است مشخص می‌سازد. همچنین این سیستم از داده‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۵ برای

متوسط نرخ رشد اقتصادی از گروه WEFA جهت 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.



GDP = تولید ناخالص داخلی

Quads = Quadrillion Btu

Std. = Standard physical units

شکل ۳- فرایند ساختار زیر سیستم مصرف کل انرژی

## ۵-۲- زیر سیستم نفت

سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی، مصرف نفت، گاز طبیعی، 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 توسط مدل‌هایی مستقل از سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی برآورد می‌گردد. زیرسیستم‌های گاز طبیعی، نفت، برق آبی و سایر منابع تجدیدپذیر که توسط زیر سیستم زغال سنگ، گاز و سایر منابع برآورد می‌گردند، مبتنی بر مقادیر پیش‌بینی شده مصرف نفت و انرژی هسته‌ای می‌باشند.

برنامه‌ریزی مصرف نفت در سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی توسط بخش جهانی انرژی که یک بخش مجزا از سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی و جزء سیستم مدل‌سازی ملی انرژی است، صورت می‌پذیرد. مدل‌سازی سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) که تقریباً یک مدل میان‌مدت بازار جهانی نفت است، به دو فرض کلیدی وابسته است: ۱- نفت یک سوخت نهایی است<sup>۱</sup> و ۲- کشورهای عضو اوپک عرضه‌کننده اصلی نفت در قیمت‌هایی می‌باشند که موجب تثبیت بازار و عدم نفوذ فن‌آوری‌های جدید، به ویژه مربوط به سوخت‌های ترکیبی می‌گردند. تحت این فروض، قیمت‌های نفت جهانی جهت حصول به تعادل عرضه و تقاضای 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 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، چون همانگونه که فن‌آوری‌های جدید بر بازار مسلط می‌شوند، منجر به کاهش تقاضای نفت به اندازه‌ای که قیمت آن را کاهش دهد می‌گردد. واردات نفت خام در ایالات متحده بر انواع مختلف کیفی نفت تطبیقی از قیمت جهانی نفت، ذخایر منابع تولید، هزینه حمل‌ونقل، 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 در سیستم حمل‌ونقل می‌بایست به واحد سالانه کواردیلیون Btu تبدیل نمود، به این ترتیب که:

$$QUAD_{t,oil} = STD_{t,oil} * (QUAD_{1995,oil} / STD_{1995,oil}) \quad (3)$$

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

### ۵-۳- زیرسیستم انرژی هسته‌ای

مدل جهانی انرژی هسته‌ای (INM) یا PC Version (PC-INM) زیرسیستم هسته‌ای سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی است که در این 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 و تقاضای ادواری سوخت و 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 دوره زمانی معین به کار گرفت. اخیراً ۸ گروه از کشورهای مختلف جهان از این مدل جهت برنامه‌ریزی انرژی هسته‌ای کشور خود تا افق

برنامه‌ریزی ۲۰۱۵ استفاده نموده‌اند. جهت برآورد چنین پیش‌بینی‌هایی، سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) یک مجموعه از فروض مؤثر را برای فاکتورهای گسترش ظرفیت، روزهای توان کامل تولید، اندازه یا حجم راکتور و بارگذاری مجدد مقادیر، ارائه می‌دهد. این برنامه‌ها با هماهنگی برنامه‌های کلان مدیریت سوخت استخراج شده‌اند. برآورد روندهای ادواری سوخت هسته‌ای توسط مطالعه بر روی شرکت‌های برق دولتی، فروشندگان سوخت و دیگر کارشناسان صنعتی تعیین می‌گردد. سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی جهت برنامه‌ریزی مصرف سوخت از سناریوهای نرخ رشد اقتصادی بالا و پایین استفاده می‌نماید؛ بدین نحو که برنامه‌ریزی سالانه مصرف انرژی هسته‌ای را بین سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ بر حسب واحدهای استاندارد (میلیارد کیلو وات 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:

$$QUAD_{t,nuclear} = STD_{t,nuclear} * (QUAD_{1995,nuclear} / STD_{1995,nuclear}) \quad (4)$$

به طوری که  $QUAD_{t,nuclear}$  مصرف انرژی هسته‌ای بر حسب کاردیلیون Btu در سال مورد پیش‌بینی  $t$  و  $QUAD_{1995,nuclear}$  مصرف انرژی هسته‌ای بر حسب کاردیلیون Btu برای آخرین سال قابل دسترس را (برای مثال: در اینجا ۱۹۹۵) نشان می‌دهد. به طور مشابه،  $STD_{t,nuclear}$  بیانگر مصرف انرژی هسته‌ای بر حسب میلیوات ساعت در سال مورد پیش‌بینی  $t$  و  $STD_{1995,nuclear}$  مصرف انرژی هسته‌ای بر حسب 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 بر حسب واحدهای استاندارد و هم بر حسب کاردیلیون Btu توسط سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) در نشریه "Energy Annual International" ارائه شده است.

۵-۴- زیرسیستم زغال سنگ، گاز طبیعی و سایر منابع

سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی، مصرف سالیانه زغال سنگ، گاز طبیعی، برق آبی و دیگر منابع تجدیدپذیر (که در اینجا با کلمه سایر منابع اشاره می‌گردد) با فاصله زمانی ۵ ساله طی 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 زیرسیستم در شکل (۴) نشان داده شده است. سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی مقادیر مصرف زغال سنگ، گاز طبیعی و سایر منابع برای هر سال پیش‌بینی در هر کشور یا منطقه به طور مجزا توسط معادله زیر تعیین می‌گردد:

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

مقدار اولیه برای سال ۵-۱ از داده‌های برونزا برای هر منبع انرژی اولیه استفاده می‌گردد. زیرنویس *i* به ترتیب بیانگر زغال سنگ، گاز طبیعی و سایر منابع است. متغیر  $SHARE_{t,i}$  به‌طور برونزا با توجه به درصد نوع انرژی (نظیر: زغال سنگ، گاز یا سایر منابع) همراه با مقادیر تخصیص یافته از باقیمانده رشد مصرف کل انرژی ( $RESHG$ ) تعیین می‌گردد. تغییر در مصرف انرژی برای هر کشور یا منطقه به صورت زیر برآورد می‌گردد:

$$RESCHG = TOTQUAD_t - TOTQAD_{t-5} - (QUAD_{t,oil} - QUAD_{t-5,oil}) - \tag{6}$$

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

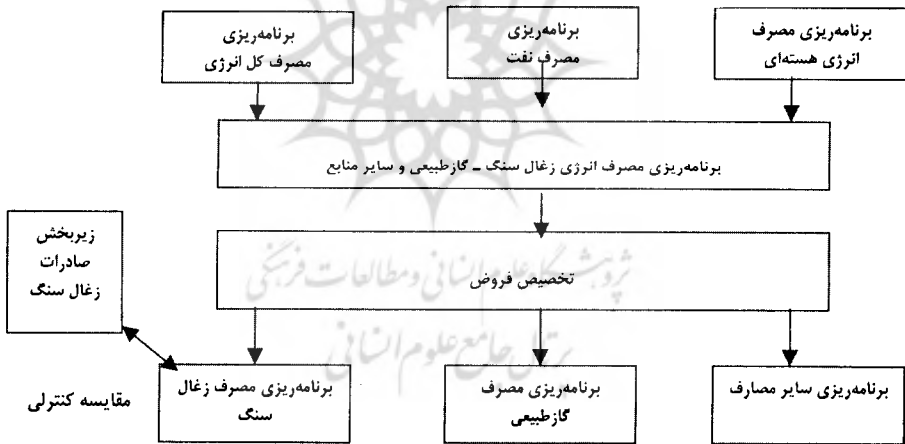
$$QUAD_{t,i} = QUAD_{t-5,i} + (RESCHG * SHARE_{t,i}) / 100 \tag{7}$$

جهت دستیابی به واحدهای فیزیکی استاندارد از برآوردهای زغال سنگ و گاز طبیعی و دیگر منابع که بر حسب کواردیلیون Btu بیان شده است، می‌توان از معادله زیر استفاده نمود:

$$STD_{t,i} = QUAD_{t,i} * (STD_{1995,i} / QUAD_{1995,i}) \tag{8}$$

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

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



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

#### ۵-۵- سناریوهای رشد اقتصادی بالا و پایین

شکل (۵)، فرایند برنامه‌ریزی مصرف انرژی را در سناریوهای رشد اقتصادی بالا و پایین (به صورت کل و برحسب نوع سوخت) نشان می‌دهد. این فرایند با مصرف انرژی کل، در دو حالت رابطه مستقیم دارد: یک حالت مربوط به تعیین نرخ‌های رشد اقتصادی

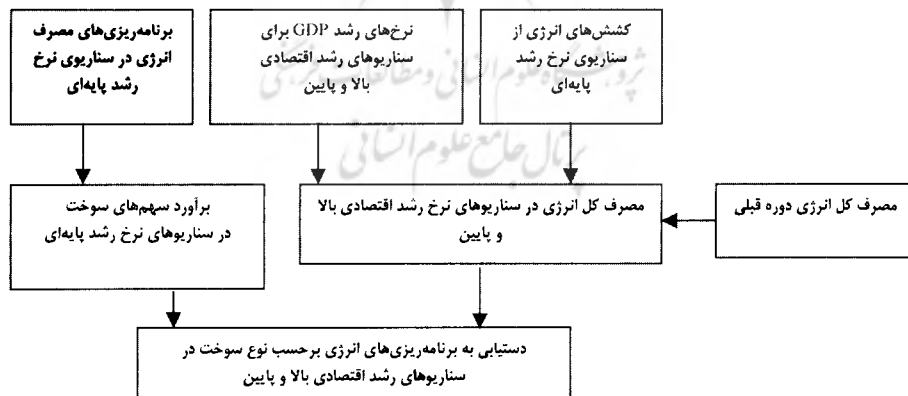
بالا و پایین و دیگری به کارگیری فرایند سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی همانند روش مورد استفاده در فرایند نرخ رشد پایه‌ای برای هر دو سناریوست. فروض کشش‌های انرژی، مانند فروض نرخ رشد پایه‌ای در نظر گرفته می‌شوند؛ یعنی برای سناریوی رشد اقتصادی بالا خواهیم داشت:

$$\text{TOTQUAD-H}_t = \text{TOTQUAD-H}_{t-5} * \{[(\text{GDPGR-H}_t * \text{ELAST}_t) / (100 + 1)]^5\} \quad (9)$$

و برای سناریوی رشد اقتصادی پایین:

$$\text{TOTQUAD-L}_t = \text{TOTQUAD-L}_{t-5} * \{[(\text{GDPGR-L}_t * \text{ELAST}_t) / (100 + 1)]^5\} \quad (10)$$

که در آن متغیرهای  $\text{TOTQUAD-H}_t$  و  $\text{TOTQUAD-L}_t$  به ترتیب مصرف کل انرژی برجسب کاردیلیون (Btu) برای سناریوهای نرخ رشد اقتصادی بالا و پایین در سال پیش‌بینی  $t$  و به طور مشابه  $\text{GDPGR-H}_t$  و  $\text{GDPGR-L}_t$  به ترتیب نرخ‌های رشد اقتصادی مفروض برای سناریوهای نرخ رشد اقتصادی بالا و پایین می‌باشند.  $\text{ELAST}_t$  کشش انرژی در سال پیش‌بینی است.



نمودار ۵- فرایند ساختار زیر سیستم‌های مدل برنامه‌ریزی جهانی انرژی تحت شرایط

در سناریوهای نرخ رشد اقتصادی بالا و پایین



در هر یک از این سناریوها، نرخ‌های رشد اقتصادی پایین و بالا برای هر کشور و منطقه تعیین شده، توسط سیستم برنامه‌ریزی جهانی انرژی و اضافه یا کم نمودن نرخ‌های نرخ 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 شده‌اند.

برنامه‌ریزی برحسب نوع سوخت در سناریوهای رشد اقتصادی بالا و پایین با فرض اینکه سهم هر نوع سوخت خاص نسبت به مصرف کل انرژی مشابه پیش‌بینی‌های سناریوی نرخ رشد پایه‌ای صورت می‌پذیرد، طراحی شده است. برای سناریوهای نرخ رشد اقتصادی بالا و پایین خواهیم داشت:

$$QUAD-H_{t,i} = TOTQUAD-H_t * (QUAD_{t,i} / TOTQUAD_t) \quad (11)$$

$$QUAD-L_{t,i} = TOTQUAD-L_t * (QUAD_{t,i} / TOTQUAD_t) \quad (12)$$

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

جدول ۲- حیطه تغییرات نرخ رشد تولید ناخالص داخلی از نرخ رشد پایه‌ای

بر حسب 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

\* EE/FSU بیانگر کشورهای اروپای شرقی و اتحاد جماهیر شوروی سابق است.

## ۵- زیر سیستم مصرف برق

شکل (۶)، فرایند ساختار زیر سیستم 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:

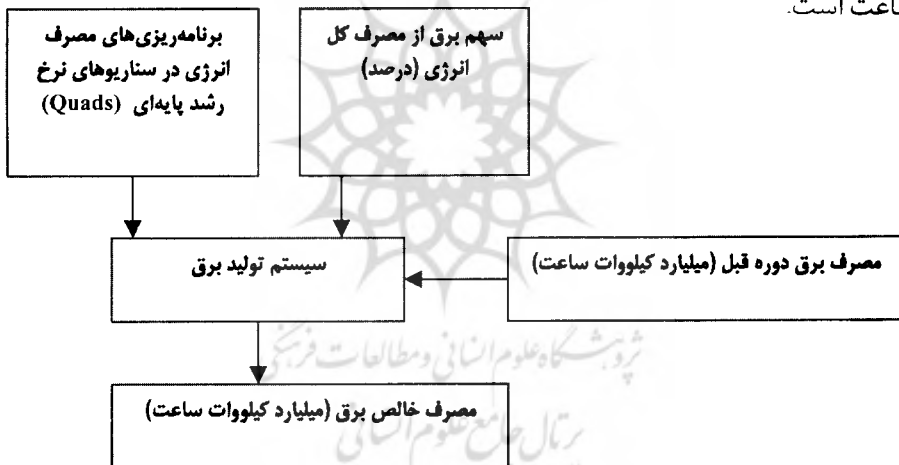
$$ELEC-Q_t = PCT-ELEC_t * TOTQUAD_t \quad (13)$$

به طوری که متغیر  $ELEC-Q_t$  کشش مصرفی در زمان  $t$  برحسب کاردیلیون Btu است، متغیر  $PCT-ELEC_t$  سهم کشش از مصرف کل انرژی در زمان  $t$  (رجوع کنید به جدول (۳)) و  $TOTQUAD_t$  برنامه‌ریزی مصرف کل انرژی در زمان  $t$  بر حسب کاردیلیون Btu است. مرحله بعد در این زیرسیستم تبدیل مصرف به واحدهای فیزیکی استاندارد (در اینجا میلیارد کیلووات ساعت) است؛ بنابراین خواهیم داشت:

$$ELEC-STD_t = ELEC-Q_t * (10^6/3412) \quad (14)$$

که در آن متغیر  $ELEC-STO_t$  مصرف برق خالص بر حسب میلیارد کیلو وات

ساعت است.



$Quads = Quadrillion Btu$

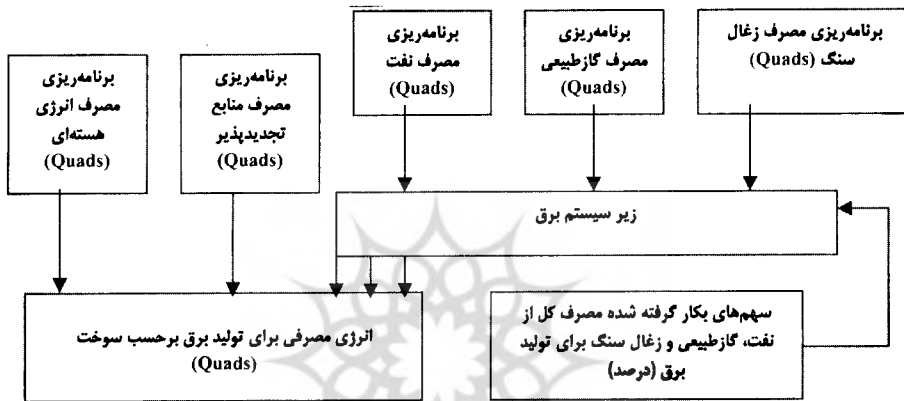
شکل ۶- فرایند ساختار زیرسیستم مصرف برق

همچنین مصرف انرژی جهت تولید برق در زیرسیستم برق برحسب نوع سوخت برنامه‌ریزی می‌گردد (شکل ۶). برنامه‌ریزی مصرف برحسب منبع انرژی در سناریوی نرخ رشد پایه‌ای به عنوان یک نهاده برای سیستم تولید برق استفاده می‌شود. مقدار هر میزان سوخت فسیلی استفاده شده در شرکت برق دولتی براساس معادله زیر تعیین می‌گردد:

$$ELEC-F_t = PCT-FUEL_t * QUAD_{t,i} \quad (15)$$

به طوری که  $PCT-FUEL$  سهم سوخت فسیلی استفاده شده برای تولید برق در سال  $i$  استفاده شده برای تولید برق در سال  $t$ ،  $QUAD_{t,i}$  مصرف برنامه‌ریزی شده در سناریوی

نرخ رشد پایه‌ای از مصرف سوخت فسیلی  $i$  برحسب کاردیلیون (Btu) برای سال  $t$  و  $ELEC-Q_{t,i}$  مقدار مصرف سوخت فسیلی  $i$  برای تولید برق در سال  $t$  برحسب کاردیلیون (Btu) است. در این مدل فرض می‌گردد که تمامی مصارف انرژی هسته‌ای و منابع تجدیدپذیر جهت تولید برق به کار گرفته می‌شود.



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

برآورد مصرف خالص برق و انرژی مصرفی برای تولید برق (در سناریوی 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 زیرسیستم 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:

$$ELEC-Q-L_t = PCT - ELEC_t * TOTQUAD-L_t \quad (16)$$

$$ELEC-Q-H_t = PCT - ELEC_t * TOTQUAD-H_t \quad (17)$$

به طوری که  $L$  پسوندی برای رشد اقتصادی پایین و  $H$  پسوندی برای رشد اقتصادی بالاست. به‌طور مشابه برای انرژی مصرفی جهت برق برحسب نوع سوخت خواهیم داشت:

$$\text{ELECTF-Q-L}_{t,i} = \text{PCT} - \text{FUEL}_{t,i} * \text{QUAD-L}_{t,i} \quad (18)$$

$$\text{ELECTF-Q-H}_{t,i} = \text{PCT} - \text{FUEL}_{t,i} * \text{QUAD-H}_{t,i} \quad (19)$$

جدول ۳ - سهم برق از مصرف کل انرژی (۱۹۹۵-۲۰۲۰) (بر حسب درصدی از کل)

سال	۱۹۹۵	۲۰۰۰	۲۰۰۵	۲۰۱۰	۲۰۱۵	۲۰۲۰
کشور						
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	۱۲/۲۵	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
اتحاد جماهیر 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	۷/۹۷	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 و WEPS (۱۹۹۸)

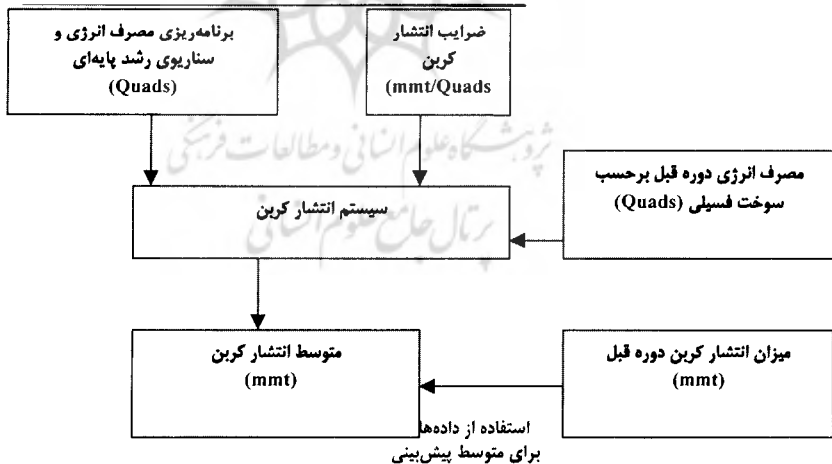
توجه: آسیا - اقیانوسیه، شامل، استرالیا، نیوزیلند و مناطق مرزی ایالات متحده می‌گردد. برنامدریزی‌های مصرف برق ایالات متحده براساس WEPS صورت نمی‌پذیرد؛ علیرغم این موضوع، EIA براساس سیستم NEMS این پیش‌بینی‌ها را در گزارش AEO منتشر می‌سازد.

## ۵-۷- زیر سیستم انتشار کربن گازهای گلخانه‌ای

برنامه‌ریزی‌های انتشار کربن در سناریوی رشد پایه‌ای، برحسب برنامه‌ریزی رشد پایه‌ای مصرف انرژی و 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 زغال سنگ برحسب کواردیلیون (Btu) از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۰ محاسبه می‌گردد.

$$EMIT_{t,i} = QUAD_{t,i} * COEF_i \quad (20)$$

به طوری که  $EMIT_{t,i}$  نشان دهنده انتشار کربن برحسب میلیون تن بر حسب واحد متریک برای سال پیش‌بینی  $t$  و سوخته‌های فسیلی  $i$ ،  $QUAD_{t,i}$  بیانگر مصرف در حالت سناریوی رشد پایه‌ای از سوخت  $i$  (نفت، گاز یا زغالسنگ) در سال پیش‌بینی  $t$ ، و  $COEF_i$  بیانگر ضریب انتشار کربن متناظر با سوخت فسیلی  $i$  است.



Quads = Quadrillion Btu  
Mmt = million metric tons

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

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

$$SM-EMIT_{t,i} = EMIT_{t,i} * (H-EMIT_{1995,i} / EMIT_{1995,i}) \quad (21)$$

به طوری که  $SM-EMIT_{t,i}$  بیانگر متوسط انتشار کربن برای سال پیش‌بینی  $t$  و سوخت فسیلی  $i$  و  $H-EMIT_{1995,i}$  برآورد ضریب انتشار کربن بر سال ۱۹۹۵ و سوخت فسیلی  $i$  است. ضریب انتشار کربن در سناریوهای رشد اقتصادی بالا و پایین به‌طور مشابه محاسبه می‌گردد (شکل ۹). در نتیجه خواهیم داشت:

$$EMIT-H_{t,i} = QUAD-H_{t,i} * COEF_i \quad (22)$$

$$EMIT-L_{t,i} = QUAD-L_{t,i} * COEF_i \quad (23)$$

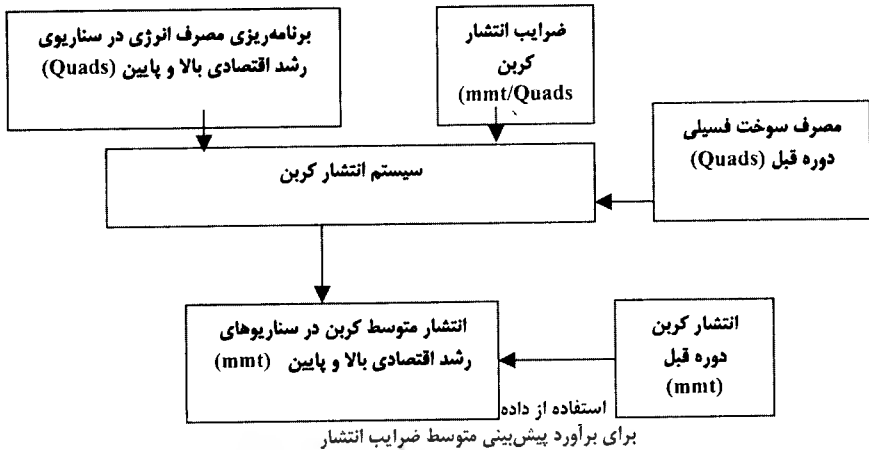
به طوری که  $QUAD-H_{t,i}$  بیانگر مصرف انرژی از سوخت  $i$  (نفت و گاز یا زغال سنگ) در سال پیش‌بینی  $t$  برای سناریوی رشد اقتصادی بالا،  $QUAD-L_{t,i}$  بیانگر مصرف انرژی در سناریوی رشد اقتصادی پایین و  $COEF_i$  ضریب کربن متناظر با سوخت فسیلی  $i$  است.

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

$$SM-EMIT-H_{t,i} = EMIT-H_{t,i} * (H-EMIT_{1995,i} / EMIT_{1995,i}) \quad (24)$$

$$SM-EMIT-L_{t,i} = EMIT-L_{t,i} * (H-EMIT_{1995,i} / EMIT_{1995,i}) \quad (25)$$

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



Quads = Quadrillion Btu

Mmt = million metric tons

شکل ۹- فرایند زیرسیستم انتشار کربن گازهای گلخانه‌ای در سناریوهای رشد اقتصادی بالا و پایین

## ۶- نتیجه‌گیری

سیستم مدلسازی ملی انرژی، یک روش اجرایی مبنی بر برنامه‌های کامپیوتری را جهت مدلسازی سیستم اقتصاد انرژی و بازارهای انرژی در یک دوره کوتاه‌مدت فراهم می‌سازد. سیستم مدلسازی ملی انرژی، فرایند تولید، واردات، تبدیل، مصرف و قیمت‌های انرژی را با توجه به فروض اقتصاد کلان و فاکتورهای مالی، بازارهای جهانی انرژی و قیمت‌های انرژی منابع قابل دسترس و هزینه‌ها، شرایط و معیار انتخاب تکنولوژی، هزینه و مشخصه‌های اجرایی تکنولوژی‌های انرژی و ویژگی‌های جمعیتی کشورها (نظیر: تعداد متولدین، تعداد ازدواج و...) برنامه‌ریزی و طراحی می‌نماید. سیستم مدلسازی انرژی ملی، بیانگر سیستم جامع انرژی کشور است. در این سیستم، همان‌طور که بیان گردید، تمامی نوسانات اقتصادی، سیاست‌های داخلی و خارجی و... بر روی تولید، قیمت، مصرف و واردات انرژی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. از مهمترین قابلیت‌هایی که

سیستم مدلسازی ملی انرژی قادر به تجزیه و تحلیل آن می‌باشد، عبارت از: بررسی تأثیر سیاستهای مالیاتی انرژی بر روی اقتصاد ایالات متحده و سیستم انرژی آن کشور، تجزیه و تحلیل واکنشها در میان سیستم انرژی و سیستمهای اقتصادی کشور به تغییرات شرایط بازار جهانی نفت ناشی از سطوح تغییرات تولید خارجی و تقاضا در کشورهای در حال توسعه، بررسی تأثیر تکنولوژیهای جدید بر روی الگوهای مصرف، تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای (انتشار کربن)، بررسی تأثیر سیاستهای مشخص نظیر کاربرد اجباری ابزار کارا و ایجاد زمینه‌های استاندارد روی مصرف انرژی، تجزیه و تحلیل محدودیت‌های مصرف سوخت (برای مثال: لزوم استفاده از ترکیبات اکسیژن دار و اصلاح فرمولبندی گازوئیل یا لزوم استفاده از وسایل نقلیه چندمنظوره از لحاظ مصرف سوخت) بر روی انتشار گازها، عرضه انرژی، قیمت‌ها و رشد اقتصادی، بررسی تأثیر تولید و قیمت نفت خام و گاز طبیعی در نتیجه بهبود و دستیابی به تکنولوژیهای جدید.

در این رابطه جهت انتخاب متدولوژی و مدلسازی بخش انرژی در اقتصاد ایران موارد

زیر پیشنهاد می‌گردد:

۱. ایجاد پایگاه اطلاعات انرژی جهت شفافیت بازارهای داخلی و خارجی؛
۲. تدوین مدل جامع انرژی جهت برنامه‌ریزی انرژی برای اقتصاد ایران؛
۳. ایجاد ارتباط میان مدل جامع انرژی اقتصاد ایران و سایر مدل‌های جهانی، نظیر سازمان مدیریت اطلاعات انرژی (EIA) جهت تدوین استراتژی جهانی انرژی اقتصاد ایران.

لذا به نظر می‌رسد با توجه به فقدان چنین سیستم جامع انرژی در کشورمان، طراحی

چنین سیستمی ضروری است.



## فهرست منابع

- 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- "Energy Information Administration", International Petroleum Statistics Report.

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, Review and Outlook for Eastern Europe and the Former Soviet Republics.

21- Plan Econ, Review and outlook for Easte Europe and the forme souiet 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 Infromation Adminstration, Model Documentation, Coal Market Module of National Energy Modeling System, DOE/EIA - M060 (Washington, DC, March 1994, March 1995 and 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 Croup, World Economic Outlook: 20- Year Extension.

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

29- WEFA Group, Asia Economic Outlook.