

## بررسی اثر روش‌های مدیریت در بخش‌های تقاضا و عرضه بر برنامه‌ریزی انرژی بلندمدت در ایران

مرتضی محمدی اردهالی

دانشیار گروه مهندسی برق بخش قدرت و مدیریت انرژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

ardehali@aut.ac.ir

\* کمال امیرنکوئی

دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت انرژی الکتریکی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

amirnekooei@aut.ac.ir

آریا صدری

دانشجوی کارشناس ارشد مدیریت انرژی الکتریکی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

ariasadri@aut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۰/۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۰/۵/۱

### چکیده

وابستگی اقتصاد ایران به درآمدهای حاصل از فروش فرآورده‌های منابع نفت و گاز کشور، توجه به برنامه‌ریزی بلندمدت انرژی و رویکردهای متنوع مدیریتی را اجتناب ناپذیر می‌کند. هدف این مطالعه بررسی اثر روش‌های مدیریت در بخش‌های تقاضا و عرضه بر برنامه‌ریزی بلندمدت انرژی در ایران تا سال ۲۰۳۰ می‌باشد. داده‌های سیستم انرژی کشور از تراژنامه‌ی انرژی که آخرین نسخه‌ی آن در سال ۲۰۰۹ منتشر شده، استخراج شده است. برای تحلیل نتایج سناریوهای ارائه شده، نرم افزار LEAP که از نگرش "پایین به بالا" برخوردار است، برای پیش‌بینی میزان تقاضای انرژی شبکه‌ی عصبی مصنوعی (ANN) به کار گرفته می‌شوند. به منظور آموزش شبکه‌ی عصبی، اطلاعات تولید ناخالص داخلی (GDP)، جمعیت (POP) و میزان مصرف انرژی در بازه‌ی سال‌های (۲۰۰۹-۱۹۹۱) مورد استفاده قرار گرفته است. در گام بعدی با استفاده از شبکه‌ی عصبی آموزش یافته و با استفاده از ورودی‌های تخمین زده شده‌ی GDP و POP برای بیست سال آینده، میزان تقاضای انرژی پیش‌بینی می‌شود. با همین ورودی‌ها با استفاده از روش دیگری موسوم به معادله‌ی دارمستادتر نیز به پیش‌بینی تقاضای انرژی در همان بازه‌ی بیست ساله پرداخته شده است. اما به منظور تخمین پارامتر GDP در بیست سال آتی از روش‌های کلاسیک مدل Grey مرتبه‌ی یک و رویکرد مثلثاتی آن (TGM) و برای پیش‌بینی میزان POP در همان بازه‌ی زمانی، برازش خطی به داده‌های گذشته به کار رفته است. به منظور دستیابی به هدف مطالعه، سناریوهای (ا) جایگزینی لامپ‌های کم توان، (ب) جایگزینی اجاق‌های الکتریکی و (پ) ورود خودروهای الکتریکی به عرصه‌ی حمل و نقل، همگی در کنار تبدیل نیروگاه‌های توربین گازی به سیکل ترکیبی و ورود نیروگاه هسته‌ای مورد بررسی قرار گرفته‌اند و نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که براساس روش پیش‌بینی (ANN-GM)، تا پایان سال ۲۰۳۰، به ترتیب به میزان ۲۶۳۴/۵، ۲۱۷۰/۲ و ۲۵۵۳/۹ میلیون بشکه نفت خام (MBOE) در مقایسه با ادامه‌ی وضع موجود، صرفه‌جویی ایجاد می‌شود. هم‌چنین در مدت زمان مشابه، سناریوی ورود سوخت زغال‌سنگ به شبکه‌ی تولید برق نیز به‌اندازه‌ی ۲۴۴۰/۸ میلیون بشکه‌ی نفت خام برداشت از منابع نفت و گاز را کاهش می‌دهد. مقادیر فوق به ترتیب ۱/۸۵ و ۱/۵۲ و ۱/۸۰ برابر میزان تأمین انرژی اولیه‌ی کل در ایران در سال ۲۰۰۹ هستند.

طبقه‌بندی JEL: Q40, Q41, Q42, Q43, Q47, Q48, Q54, Q55

کلید واژه: برنامه‌ریزی انرژی، پیش‌بینی تقاضای انرژی، نرم افزار LEAP، سیستم انرژی مرجع

## ۱- مقدمه

ایران به عنوان کشوری که ۱۰/۵٪ از ذخایر نفت خام و ۱۵/۹٪ ذخایر گاز طبیعی دنیا را در اختیار دارد<sup>۱</sup>، برای کنترل میزان انرژی مصرفی خود که بیش از نیمی از تولید است، نیازمند برنامه‌ریزی انرژی با رویکرد بررسی تمامی سناریوهای ممکن در دو سوی عرضه و تقاضا است. برنامه‌ریزی انرژی در کشورهای توسعه یافته بر اساس مدل سیستم انرژی مرجع انجام می‌پذیرد. برای مدل سازی سیستم انرژی مرجع ایران از نرم افزار LEAP<sup>۲</sup> استفاده شده است که از ویژگی‌های آن نگرش پایین به بالا<sup>۳</sup> می‌باشد و اهمیت این مدل در کاربرد آن در برنامه‌ریزی بلندمدت انرژی است.

لی و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۶)، نشان دادند که پیش‌بینی تقاضای انرژی به عوامل گوناگونی وابسته است که در بررسی بلندمدت آن بیش‌ترین تأثیر را تولید ناخالص داخلی<sup>۵</sup> (GDP) و جمعیت (POP) داشته‌اند. البته این پیش‌بینی که تنها بر مبنای اطلاعات سال‌های گذشته انجام گرفته است، "ادامه‌ی وضع موجود (BAU)"<sup>۶</sup> نام دارد. بررسی ادبیات موضوع در این مطالعه با رویکرد زیر انجام گرفته است: (آ) برنامه‌ریزی‌های انرژی از دیدگاه عرضه، تقاضا، آثار زیست محیطی و تعریف سناریوهای در دو سوی عرضه و تقاضا، و رابطه‌ی میان تقاضای انرژی در بلندمدت با پارامترهای مرتبط از جمله GDP و POP، (ب) روش‌های پیش‌بینی تقاضای انرژی.

(آ) برنامه‌ریزی‌های انرژی: پارامترهای پژوهش‌های انجام شده در داخل و خارج کشور به برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در دو سوی عرضه و تقاضا پرداخته‌اند. رحمت الله و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۰۷)، با در نظر گرفتن عدم قابلیت اطمینان به موجب دو سناریوی (آ) ترکیب واحدهای استخراج گاز از زغال‌سنگ و (ب) بهره‌گیری از واحدهای سیکل ترکیبی، به برنامه‌ریزی برای انرژی الکتریکی کشور اندونزی پرداخته و صرفه‌جویی ۳/۵

1- U.S. Energy Information Administration, Country Analysis Briefs/, (2010).

2- Long-range Energy Alternative Planning.

3- Bottom-Up.

4- Gross Domestic Product.

۵- تولید ناخالص داخلی عبارت است از ارزش ریالی سالیانه‌ی تمامی کالاها و خدمات نهائی تولید شده به قیمت‌های جاری بازار در اقتصاد ملی و یا به تعبیر دیگر شامل میزان مصرف، هزینه‌های دولت، سرمایه‌گذاری‌ها و تراز تجاری (تفاوت میان صادرات و واردات) می‌باشد (Rouzbehan,2005).

6- Li et al.

7- Business As Usual.

8- Rachmatullah et al.

میلیارد دلاری را در افق ۱۵ ساله‌ی این برنامه‌ریزی نوید داده‌اند. نگرش پایین به بالا، هایمرث و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۰) را بر آن داشته است تا برنامه‌ریزی انرژی را در چهار سطح جمعیتی انجام دهند که کوچک‌ترین آن‌ها روستای/ونگرا و بزرگ‌ترین آن‌ها ناحیه‌ی تومکور هندوستان می‌باشد. این پژوهش علاوه بر طرح چند سناریو، در قالب حل یک مسئله‌ی بهینه‌سازی با توابع هدف چندگانه، هم‌زمان به کمینه‌کردن آلاینده‌های زیست محیطی  $CO_x$ ،  $SO_x$  و  $NO_x$ ، هزینه‌ها و مصرف فرآورده‌های نفتی و بیشینه‌کردن بازدهی سیستم، بهره‌گیری از منابع محلی در اختیار و منابع تجدیدپذیر و کارآفرینی می‌پردازد. وانگ و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۰)، با مطالعه‌ی توسعه‌ی بخش‌های تقاضا و عرضه‌ی انرژی در سال‌های اخیر کشور چین، با استفاده از مدل LEAP، به تصویر دورنمای بخش انرژی تا سال ۲۰۳۰ در آن کشور پرداخته‌اند. از جمله سیاست‌های معرفی شده در آن مطالعه، اختصاص درصدی از مصرف انرژی الکتریکی کشور چین به منابع تجدیدپذیر و واحدهای هسته‌ای، ساخت مخازن ذخیره‌ی نفت، بستن قرارداد با سایر کشورها، در کنار تلاش برای بهبود بازدهی مبدل‌های انرژی، نیروگاه‌ها، صنایع و خانگی - اداری و کاهش حمل و نقل و در نهایت همکاری با ایالات متحده برای ورود تکنولوژی پیل سوختی و سوخت هیدروژن به عرصه‌ی حمل و نقل را می‌توان بر شمرد. نتیجه‌گیری آن مطالعه نشان می‌دهد که با وجود توسعه‌ی نیروگاه‌های هسته‌ای و به‌کارگیری منابع تجدیدپذیر، تا سال ۲۰۲۰ کماکان ۴۳٪ از تولید برق در کشور چین بر عهده‌ی سوخت زغال‌سنگ خواهد بود که حتی در این حالت نیز آثار مخرب زیست محیطی بر جای خواهد گذاشت. یوفی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۰)، به کمک مدل LEAP، به پیش‌بینی بلندمدت عرضه و تقاضای انرژی در کشور تایوان پرداخته‌اند. این مطالعه چهار سناریو در کنار سناریوی ادامه‌ی وضع موجود بررسی شده‌اند: (آ) کاهش شدت انرژی سالانه به میزان ۲٪ در نتیجه‌ی افزایش بازدهی‌ها تا پایان سال ۲۰۲۵، (ب) تأثیراتی که کاهش نرخ رشد اقتصادی تایوان در تقاضای انرژی آینده‌ی این کشور به همراه دارد، (پ) احتمال خروج دائمی نیروگاه‌های هسته‌ای تا سال ۲۰۲۵ و (ت) به‌کارگیری تمامی سناریوهای فوق به طور هم‌زمان که منجر به صرفه‌جویی ۳۷۷/۸

1- Hirermath et al.

2- Wang et al.

3- Yophi et al.

میلیارد کالری (۲۷۲ MBOE<sup>۱</sup>) در بخش تقاضا و ۲۵۹/۳ میلیارد کالری (MBOE) ۱۸۶/۷ در بخش تبدیل انرژی و کاهش تولید دی اکسید کربن به‌اندازه‌ی ۱۱۱ میلیون تن می‌شود. شبیر و احمد<sup>۲</sup> (۲۰۱۰)، طی مطالعه‌ای به بررسی تقاضای انرژی و آلودگی هوای ناشی از حمل و نقل شهری در شهرهای راولپیندی و اسلام‌آباد در کشور پاکستان پرداختند. با تعریف چهار سناریوی BAU، کاهش جمعیت، کاهش وسایل نقلیه‌ی شخصی و تبدیل خودروهای بنزینی و گازوئیلی به خودروهای هیبریدی (برقی-گازی)، با به‌کارگیری مدل LEAP به پیش‌بینی میزان تقاضای انرژی و آلودگی هوا تا سال ۲۰۳۰ اقدام شده است که نتایج کاهش تقاضای انرژی به ترتیب به میزان ۱۸/۳۹، ۲۵/۶ و ۱۰/۰۲ درصد در مقایسه با BAU می‌باشد. توسعه‌ی انرژی در بخش غیرشهری، توسط اردهالی<sup>۳</sup> (۲۰۰۵) با اهداف (آ) معرفی مشکلات موجود در زیرساخت‌های اجتماعی-اقتصادی مربوط به توسعه‌ی انرژی در بخش غیر شهری و (ب) بررسی منابع انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر و ارزیابی نرخ رشد تولید و مصرف انرژی، مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج بررسی‌ها بر این واقعیت استوارند که تا هنگامی که منابع فراوان تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر وجود دارند، موانع فرهنگی و فقدان نگرش صحیح درباره‌ی انرژی مانع از توسعه‌ای می‌شوند که مناطق غیر شهری ایران به شدت نیازمند آن هستند. به منظور برآوردن نیاز انرژی مناطق غیر شهری، لازم است واحدهای انرژی برقآبی و زمین‌گرمایی در مناطق شمالی و غربی، واحدهای انرژی بادی در مناطق شرقی و جنوبی و واحدهای انرژی خورشیدی در فلات مرکزی ایران توسعه یابند، بنابراین توزیع مناسب یارانه‌ها و وضع قوانین کارآمدتر، به عنوان راه‌کارهای بهبود این وضعیت معرفی شده‌اند. هم‌چنین صادقی و حسینی<sup>۴</sup> (۲۰۰۷)، مطالعه‌ای در جهت برنامه‌ریزی انرژی در زیر بخش حمل و نقل با نگاه فنی و اقتصادی در دو سناریوی BAU و سیستم بهینه تا سال ۲۰۲۹ انجام داده‌اند که کاهش ۱۴٪ تقاضای سوخت و در پی آن کاهش ۱۴٪ هزینه‌ی حمل و نقل را در پی داشته است. مطالعه‌ی دیگری توسط جعفری و براتی ملایری<sup>۵</sup> (۲۰۰۸)، به منظور مدیریت مصرف سوخت به خصوص بنزین در زیر بخش حمل و نقل و برنامه‌ریزی انرژی در نقاط انتهایی مصرف انجام گرفته و

1- Million Barrel of Oil Equivalent.

2- Shabbir and Ahmad.

3- Ardehali.

4- Sadeghi and Hosseini.

5- Jafari and Baratimalayeri.

منتهی به این نتیجه شده که افزایش مصرف بنزین معلول قیمت پایین موتورهای احتراق داخلی و تولید انبوه خودروها با تکنولوژی‌های قدیمی است. در پژوهش دیگری کیانی و پورفخرایی<sup>۱</sup> (۲۰۱۰)، به بررسی مدل دینامیکی برای عرضه و تقاضا و سیاست‌گذاری‌های مربوط به آن‌ها در بخش نفت و گاز ایران پرداخته‌اند که شامل تأثیر متقابل آن‌ها و درآمد نفتی ایران در زیربخش‌های مختلف می‌باشد. از نتایج آن مطالعه، صادرات روزانه‌ی ۵۰۰ تا ۶۲۰ میلیون متر مکعب گاز طبیعی و درآمد ۵۰۰ میلیارد دلار تا سال ۲۰۲۵ است. در پژوهشی از ستوده نیا<sup>۲</sup> (۱۹۷۷)، گذشته از پیش‌بینی ۲۳ هزار مگاواتی توسعه‌ی نیروگاه‌های هسته‌ای در ایران تا سال ۱۹۹۴، به منابع تجدیدپذیر نیز اشاره شده که هزینه‌ی بهره‌برداری بالا مانع از رواج آن‌ها در ایران اعلام شده است. ایده تولید انرژی الکتریکی از نیروگاه‌های خورشیدی-گرمائی، توسط وجدانی و وولام<sup>۳</sup> (۱۹۷۸)، به منظور پیک سایی مطرح شده است. مطالعه‌ی آن‌ها نشان می‌دهد که این تکنولوژی تنها هنگامی از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر است که هزینه‌ی سوخت در ایران حداقل چهار برابر شود. در همین راستا، حسینی و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۴)، به بررسی فنی و اقتصادی نصب و راه‌اندازی یک نیروگاه ۶۷ مگاواتی سیکل ترکیبی خورشیدی در ایران پرداخته‌اند. نتایج آن مطالعه کاهش ۵۹ میلیون دلار در سوخت مصرفی و ۲/۴ میلیون تن دی‌اکسیدکربن منتشر شده طی ۳۰ سال بعد را نشان می‌دهد. د‌وودپور و احدی<sup>۵</sup> (۲۰۰۶)، با مطالعه‌ی روند افزایش سریع جمعیت ایران و نیاز آن‌ها به اشتغال و مسکن در کنار الگوی مصرف انرژی با بازدهی پایین، به بررسی اثر قیمت سوخت و انتشار گازهای گلخانه‌ای اقدام کرده‌اند. نتیجه‌ی آن مطالعه در دو سناریوی BAU و مدیریت وضع موجود خلاصه شده است و نشان می‌دهد که بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱، با به کار بستن سناریوی مدیریت وضع موجود، مصرف سالانه‌ی انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن رشدی به میزان ۴/۹۴٪ و ۳/۱٪ را در مقایسه با ۷/۵٪ و ۶/۸٪ برای شرایط BAU تجربه خواهد کرد. /مجدی و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۰)، به پیش‌بینی تقاضای انرژی

- 1- Kiani and Pourfakhraei.
- 2- Sotudeh Nia.
- 3- Vojdani and Woolam.
- 4- Hosseini et al.
- 5- Davoudpour and Ahadi.
- 6- Amjadi et al.

الکتریکی در ایران با استفاده از دو روش PSO<sup>۱</sup> و GA<sup>۲</sup> پرداخته‌اند که طی آن از اطلاعات GDP، POP، تعداد مشترکان برق و متوسط قیمت انرژی الکتریکی مربوط به سال‌های ۲۰۰۰-۹۸۰ به عنوان داده‌های موجود برای تخمین اطلاعات سال‌های ۲۰۰۶-۲۰۰۱ استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که متوسط خطا بین داده‌های واقعی و محاسباتی در روش GA به میزان ۱/۳۶٪ و در روش PSO به میزان ۱/۵۱٪ است. فروزانفر و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۰)، طی پژوهشی به تحقیق در زمینه‌ی تخمین تقاضای گاز طبیعی در زیر بخش‌های خانگی و تجاری و مدل کردن آن با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی غیرخطی و GA پرداخته‌اند. آن‌ها با استفاده از اطلاعات سال‌های ۲۰۰۶-۱۹۹۷ به تخمین تقاضا در سه سال ۲۰۰۶-۲۰۰۸ اقدام کرده‌اند. با مقایسه‌ی نتایج مطالعه با اطلاعات واقعی سال‌های بعد خطای پیش‌بینی در بخش خانگی برای هر دو روش تقریباً یکسان و حدود ۱٪ بوده است. این تشابه در پیش‌بینی تقاضای بخش تجاری نیز دیده می‌شود. تیچی و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۰)، طی پژوهشی به بررسی تأثیر سیاست قیمت‌گذاری انرژی در استفاده‌ی بهینه از تکنولوژی‌های CHP<sup>۵</sup> و CCHP<sup>۶</sup> با کاربرد روش PSO پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که قیمت بهره برداری از این سیستم‌ها در صورت حذف یارانه از قیمت انرژی، در طول عمر ۲۰ ساله‌ی آن‌ها به ترتیب ۵/۶ و ۲/۹ میلیون دلار می‌باشد که بازگشت سرمایه‌ی به مدت ۱/۳ سال را در پی دارد. در شرایط مشابه و بدون حذف یارانه‌های انرژی این مدت به ترتیب به ۴/۹ و ۵/۲ سال افزایش می‌یابد. در نتیجه‌ی به‌کارگیری سیاست‌های موجود، نرخ نفوذ این تکنولوژی‌ها کاهش خواهد یافت.

برای پیش‌بینی میزان تقاضای انرژی که در این مطالعه انجام خواهد پذیرفت، وجود رابطه‌ی منطقی-ریاضی میان پارامترهای تأثیرگذار در آن مانند GDP و POP، نیازمند اثبات بوده، که در این زمینه نیز مطالعاتی انجام پذیرفته است. فلاحی و هاشمی‌دیزج<sup>۷</sup> (۲۰۱۰)، طی پژوهشی با استفاده از مارکوف سوئیچینگ، به بررسی رابطه‌ی علیت بین مصرف نهایی انرژی و GDP در سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۶۷ پرداخته‌اند و نتایج مطالعه آن‌ها

1- Particle Swarm Optimization.

2- Genetic Algorithm .

3- Forouzanfar et al.

4- Tichi et al.

5- Combined Heat and Power.

6- Combined Cooling, Heating, and Power.

7- Fallahi and Hashemi Dizaj.

بیانگر این واقعیت است که تولید، علت گرنجری<sup>۱</sup> مصرف انرژی است. هم‌چنین در مطالعه‌ای که در زمینه‌ی رشد اقتصادی، انتشار کربن و مصرف سوخت‌های فسیلی در ایران توسط *لطفعلی پور* و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۰) انجام شده، رابطه‌ی بین پارامترهای فوق بین سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۶۷ با استفاده از روش جدید سری زمانی (تودایاماموتو<sup>۳</sup>)، بیان شده است. مشاهدات آن‌ها حاکی از وجود رابطه‌ی علیت گرنجر یک سویه میان میزان انتشار کربن با پارامترهای GDP و دو شاخص مصرف انرژی (تولید نفت خام و مصرف گاز طبیعی) می‌باشد.

(ب) روش‌های پیش‌بینی تقاضای انرژی: محققان تاکنون روش‌های گوناگونی را برای پیش‌بینی تقاضای انرژی مورد استفاده قرار داده‌اند. از آن جمله سوزن و آرکاکیوگلو<sup>۴</sup> (۲۰۰۷)، به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی، به بررسی تأثیر شاخص‌های شاخص‌های اقتصادی GDP و رشد جمعیت در میزان مصرف انرژی کشور ترکیه پرداخته‌اند. بدین منظور در آن مطالعه سه شبکه‌ی عصبی مصنوعی (ANN) متفاوت را با انتخاب تعدادی از داده‌های GDP، تولید ناخالص ملی، POP، ظرفیت نیروگاهی نصب شده، تولید الکتریسته‌ی ناویژه، صادرات و واردات برای مدت ۳۷ سال (۲۰۰۵-۱۹۶۸) آموزش داده که خروجی هر سه شبکه میزان مصرف خالص انرژی بوده است. از بین مدل‌های فوق، شبکه‌ای که ورودی‌های آن GDP و POP بوده‌اند، بر اساس معیار خطای رگرسیون، خطایی معادل ۰/۰۰۹۷٪ داشته و به عنوان بهترین مدل برای پیش‌بینی برگزیده شده است. بیانکو و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۰۹)، به پیش‌بینی خطی میزان تقاضای برق کشور *ایتالیا* پرداخته‌اند. برای این تخمین از داده‌های GDP، GDP سرانه، POP و مصرف انرژی الکتریکی سال‌های (۲۰۰۷-۱۹۷۰) بهره گرفته و مدل‌های برازش مختلفی ارائه شده است. نتایج آن مطالعه نشان می‌دهد که پیش‌بینی بلندمدت تقاضای انرژی الکتریکی در بهترین حالت ۱٪ و در بدترین حالت ۱۱٪ با پیش‌بینی‌های رسمی در ایتالیا تفاوت دارد. پس از آن بیانکو و همکاران (۲۰۱۰)، میزان تقاضای الکتریسته‌ی بخش غیر مسکونی کشور *رومانی* را با استفاده از اطلاعات سال‌های (۲۰۰۷-۱۹۷۵)

---

1- Granger causality.

2- Lotfalipour et al.

3- Toda-Yamamoto.

4- Sozen and Arcaklioglu.

5- Bianco et al.

برای سال‌های (۲۰۲۰-۲۰۰۸) تخمین زده‌اند. روش‌های به کار گرفته شده در آن مطالعه، هالت - وینترز<sup>۱</sup>، مدل Grey و رویکرد مثلثاتی آن TGM<sup>۲</sup> می‌باشد که نتایج مشابهی در برداشته و انحراف از میانگین آن کم‌تر از ۵٪ بوده است.

در ایران نیز به منظور تخمین تقاضای انرژی مطالعاتی انجام پذیرفته است.<sup>۳</sup> زاده و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۸)، به پیش‌بینی رشد تقاضای انرژی الکتریکی در بازه‌ی ۱۳۱ ماهه از مارس ۱۹۹۴ تا فوریه‌ی ۸۴ با استفاده از شبکه‌ی عصبی و روش تحلیل واریانس با معیار MAPE<sup>۴</sup> پرداخته‌اند. مقادیر به دست آمده از این مدل با خطای نسبی ۰/۱۲ محاسبه شده است. عصاره و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۰)، پژوهشی در مورد تخمین تقاضای نفت نفت در ایران بر اساس شاخص‌های اقتصادی-اجتماعی و با استفاده از مدل‌های PSO-DEM<sup>۶</sup> و GA-DEM با در نظر گرفتن شاخص‌های GDP، POP، صادرات و واردات انجام داده‌اند. نمونه‌ی مطالعه شده مربوط به تقاضای نفت در ایران بین سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۸۱ بوده که بر این اساس تقاضا برای سال ۲۰۳۰ تخمین زده شده است. خطای نسبی متوسط مدل GA-DEM با رویکردهای نمایی و خطی به ترتیب ۲/۸۳ و ۱/۷۲٪ و برای مدل PSO-DEM معادل ۱/۴۰ و ۱/۳۶٪ بوده است. از سوی دیگر سهیلی<sup>۷</sup> (۲۰۱۰)، در خصوص ارتباط قیمت بنزین با میزان مصرف و آثار زیست محیطی ناشی از مصرف پژوهشی انجام داده است. آن مطالعه در سال‌های (۲۰۰۸-۱۹۵۹) با استفاده از مدل اقتصادی دینامیکی ARDL<sup>۸</sup> انجام پذیرفته است. براساس نتایج به دست آمده، ۱٪ افزایش قیمت بنزین، می‌تواند به کاهش ۰/۱۲٪ مصرف بنزین در کوتاه‌مدت و کاهش ۰/۲۳٪ آن در بلندمدت بیانجامد. وی در همین سال در مطالعه‌ی دیگری به بررسی حذف یارانه از انرژی الکتریکی و تأثیر آن بر آلودگی هوا در ایران پرداخته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد افزایش ۱٪ در قیمت برق در نتیجه‌ی حذف یارانه‌ها سبب کاهش در میزان مصرف انرژی الکتریکی و آلودگی ناشی از آن به میزان ۰/۰۳ و ۰/۱۴٪ به ترتیب در کوتاه‌مدت و بلندمدت می‌شود.

- 1- Holt-Winters.
- 2- Trigonometric Grey Model with Rolling Mechanism.
- 3- Azadeh et al.
- 4- Mean Absolute Percentage Error.
- 5- Assareh et al.
- 6- Particle Swarm Optimization Demanded Estimation Model.
- 7- Sohaili.
- 8- Auto-Regressive Distributed Lag.



هدف این مطالعه بررسی اثر روش‌های مدیریت در بخش‌های عرضه و تقاضا بر برنامه‌ریزی انرژی بلندمدت در ایران می‌باشد. داده‌های سیستم انرژی کشور از ترانامه‌ی انرژی که آخرین نسخه‌ی آن در سال ۲۰۰۹ منتشر شده، به‌دست آمده است. برای تحلیل نتایج سناریوهای ارائه شده، نرم افزار LEAP و برای پیش‌بینی میزان تقاضای انرژی، ANN و معادله‌ی دارمستادتر<sup>۱</sup> به کار گرفته می‌شوند. به منظور آموزش شبکه‌ی عصبی، اطلاعات GDP، POP و میزان مصرف انرژی در بازه‌ی سال‌های (۲۰۰۹-۱۹۹۱) مورد استفاده قرار گرفته است. در گام بعدی با استفاده از شبکه‌ی عصبی آموزش یافته و با استفاده از ورودی‌های تخمین زده شده‌ی GDP و POP برای بیست سال آینده، میزان تقاضای انرژی پیش‌بینی می‌شود. با استفاده از همین ورودی‌ها با روش دیگری موسوم به معادله‌ی دارمستادتر نیز به پیش‌بینی تقاضای انرژی در همان بازه‌ی بیست ساله پرداخته شده است، اما به منظور تخمین پارامتر GDP در بیست سال آتی از روش‌های کلاسیک مدل Grey مرتبه‌ی یک و رویکرد مثلثاتی آن (TGM) و برای پیش‌بینی میزان POP در همان بازه‌ی زمانی از برآزش خطی به داده‌های گذشته استفاده شده است. چهار ترکیب متفاوت برای تخمین میزان تقاضای انرژی معرفی شده است که نتایج آن‌ها در بردارنده‌ی ادامه‌ی وضعیت موجود خواهد بود. پس از پیش‌بینی تقاضای انرژی، سناریوهای (آ) جایگزینی لامپ‌های کم توان (CFL)، (ب) ورود اجاق‌های الکتریکی (ES)، (پ) ورود خودروهای الکتریکی (EV)، و (ت) ورود نیروگاه با سوخت زغال‌سنگ (CPP) توسط LEAP مورد بررسی قرار گرفته‌اند. البته با بررسی ورود نیروگاه هسته‌ای و تبدیل واحدهای توربین گازی به سیکل ترکیبی در سناریوهای (آ)، (ب) و (پ)، آن‌ها در دسته‌ی سناریوهای هم‌زمان سمت عرضه و تقاضا قرار می‌گیرند. مطالعه‌ی برخی از این سناریوها پیش از این نیز در کشورهای مختلف انجام گرفته است، برای مثال دانیل و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۹)، به جایگزینی لامپ‌های کم توان، دانیل و همکاران (۲۰۰۹) و رحمت الله و همکاران (۲۰۰۷)، به تبدیل واحدهای گازی به سیکل ترکیبی، وانگ و همکاران (۲۰۱۰)، به ورود خودروهای الکتریکی به عرصه‌ی حمل و نقل و ستوده نیا (۱۹۷۷) و وانگ و همکاران (۲۰۱۰)، به استفاده از نیروگاه‌های هسته‌ای پرداخته شده است.

---

1- Darmstadter.

2- Daniel et al.

در ادامه در بخش ۲، به برخی ویژگی‌های انرژی و اقتصاد ایران، وضعیت سیستم انرژی مرجع آن و معرفی نرم افزار LEAP اشاره می‌کند. بخش ۳، به تخمین مقادیر GDP و POP اختصاص داشته که برای پیش‌بینی GDP، از دو روش مدل Grey و رویکرد مثلثاتی آن TGM و برای تخمین POP از روش برازش خطی استفاده شده است. این بخش به توضیح چگونگی تولید ورودی‌های مورد نیاز روش‌هایی که به پیش‌بینی تقاضای انرژی منجر می‌شوند می‌پردازد. در این مطالعه پیش‌بینی با استفاده از دو روش آموزش ANN و معادله‌ی دارمستادتر انجام شده که در بخش ۴ آمده است. بخش ۵، ابتدا به طرح چند سناریو پرداخته و به دنبال آن نتایج آن‌ها شامل میزان بهره برداری از منابع، آثار زیست محیطی ارائه شده است و سرانجام بخش ۶ به نتیجه‌گیری و ارائه‌ی پیشنهاداتی برای تکمیل و اصلاح ترانزنامه‌ی انرژی ایران و بهبود LEAP می‌پردازد.

## ۲- وضعیت سیستم انرژی مرجع ایران

بیش از ۱۰٪ از GDP و بیش از ۸۰٪ از درآمد ارزی ایران از صادرات فرآورده‌های نفتی حاصل می‌شود.<sup>۱</sup> جدول (۱)، میزان ذخایر، تولید سالانه، مصرف داخلی و صادرات و واردات را برای حامل‌های مختلف انرژی در سال ۲۰۰۹ نشان می‌دهد. بیش‌تر تولیدات نفتی ایران بر پایه‌ی نفت سبک بوده و از این رو در سال‌های گذشته برای جبران کمبود بنزین مصرفی خود به واردات این محصول روی آورده است. تقاضای بنزین ایران در سال ۲۰۰۸ به ۴۰۰ هزار بشکه (۱۱۷۸ MBOE / ۰) در روز رسیده که با واردات ۱۳۰ هزار بشکه (۳۶۲۶ MBOE / ۰) در روز، بخشی از این تقاضا را تأمین کرده است.<sup>۲</sup> در همین رابطه، دولت به منظور کنترل این مصرف، حذف یارانه‌ی بنزین و گازوئیل را در دستور کار خود قرار داده و اقدام به واقعی کردن قیمت انرژی در کشور کرده است. منابع شناخته شده‌ی زغال‌سنگ در ایران ۱۱ میلیارد تن (۱۱۷۲۵ MBOE) تخمین زده می‌شود که البته تکنولوژی‌های موجود تنها قادر به بهره برداری ۶/۳٪ از این منابع و آن هم با قیمتی بسیار بالاتر از سطوح بین‌المللی هستند.<sup>۳</sup> شاید به همین دلیل است که

1- International Atomic Energy Agency, Publications, I.R.Iran; updated on Dec. 2007.

2- U.S. Energy Information Administration, Country Analysis Briefs/, (2010).

3- International Atomic Energy Agency, Publications, I.R.Iran; updated on Dec. 2007.

تاکنون تقاضای زغال‌سنگ برای تولید انرژی حرارتی و الکتریکی در ایران نقش اندکی داشته و در آینده نیازمند بازنگری است.

جدول ۱ - میزان ذخایر مربوط به انواع حامل‌های اولیه و ثانویه انرژی، میزان صادرات، واردات و تولید آن‌ها در سال ۲۰۰۹

واردات	صادرات	مصرف	تولید	ذخیره	حامل
۷۹۶	۹۷۷.۱۰	۶۰۲	۱۴۵۷.۳۵	۱۳۷۶۰۰	نفت خام (میلیون بشکه نفت خام)
۶.۲	۵.۷	۱۳۴.۷۵	۱۳۱.۷۰	۲۹۶۰۰	گاز طبیعی (میلیارد مترمکعب)
۱۷۰۰	۳۹۰۰	۱۶۴۱۰۰	۱۹۶۵۰۰	-	برق (میلیون کیلووات ساعت)
۰.۱۰۵	۰.۰۸	۱.۵۸۵	۱.۵۶	۱۱۰۰۰	زغال‌سنگ (میلیون تن)

منبع: Iran's Energy Balance Sheet; 2009

در دو دهه‌ی اخیر رشد ۴۰٪ جمعیت، ۲/۸ برابر شدن مصرف نهایی انرژی و ۴/۵ برابر شدن تولید برق نشان از رشد روزافزون مصرف انرژی و هم‌چنین روند افزایشی شدت انرژی دارد<sup>۱</sup>. ایران به منظور پاسخ‌گویی به رشد فزاینده‌ی مصرف انرژی الکتریکی، بهره‌گیری از سوخت هسته‌ای را در دستور کار قرار داده است. مطالعه‌ی میزان ذخایر اورانیوم ایران هنوز به طور کامل و دقیق پایان نیافته است، اما در حال حاضر از این نظر در دسته‌ی کشورهای غنی قرار نمی‌گیرد. مطالعات اولیه‌ی سازمان انرژی اتمی ایران تاکنون وجود ۳۰۰۰ تن اورانیوم در کشور را تأیید نکرده است<sup>۲</sup>.

منابع تجدیدپذیر در ایران سهم اندکی از تولید برق را به خود اختصاص داده‌اند (اردهالی، ۲۰۰۶). از دید منابع تجدیدپذیر انرژی، ایران به طور متوسط در سال، ۱۸۰۰ کیلووات ساعت بر متر مربع از تابش خورشید بهره می‌برد<sup>۳</sup>. هم‌چنین پتانسیل‌های بادی و زمین گرمایی در بخش‌هایی از کشور وجود دارند که می‌توانند برای تأمین نیازهای محلی مورد استفاده قرار گیرند (اردهالی، ۲۰۰۶). اگرچه به دلیل محدودیت‌های تکنولوژیکی موجود برای تأمین مداوم و مطمئن انرژی و هم‌چنین هزینه‌ی اولیه‌ی بالای

1- International Atomic Energy Agency, Publications, I.R.Iran; updated on Dec. 2007.

2- International Atomic Energy Agency, Publications, I.R.Iran; updated on Dec. 2007.

3- International Atomic Energy Agency, Publications, I.R.Iran; updated on Dec. 2007.

آن، استفاده از منابع تجدیدپذیر برای تولید برق در آینده‌ی نزدیک چندان متصور نیست. جدول (۲)، ظرفیت اسمی، پتانسیل و میزان تولید برق از منابع تجدیدپذیر را در سال ۲۰۰۹ نشان می‌دهد.

جدول ۲- ظرفیت اسمی، میزان تولید برق و پتانسیل تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران در سال ۲۰۰۹

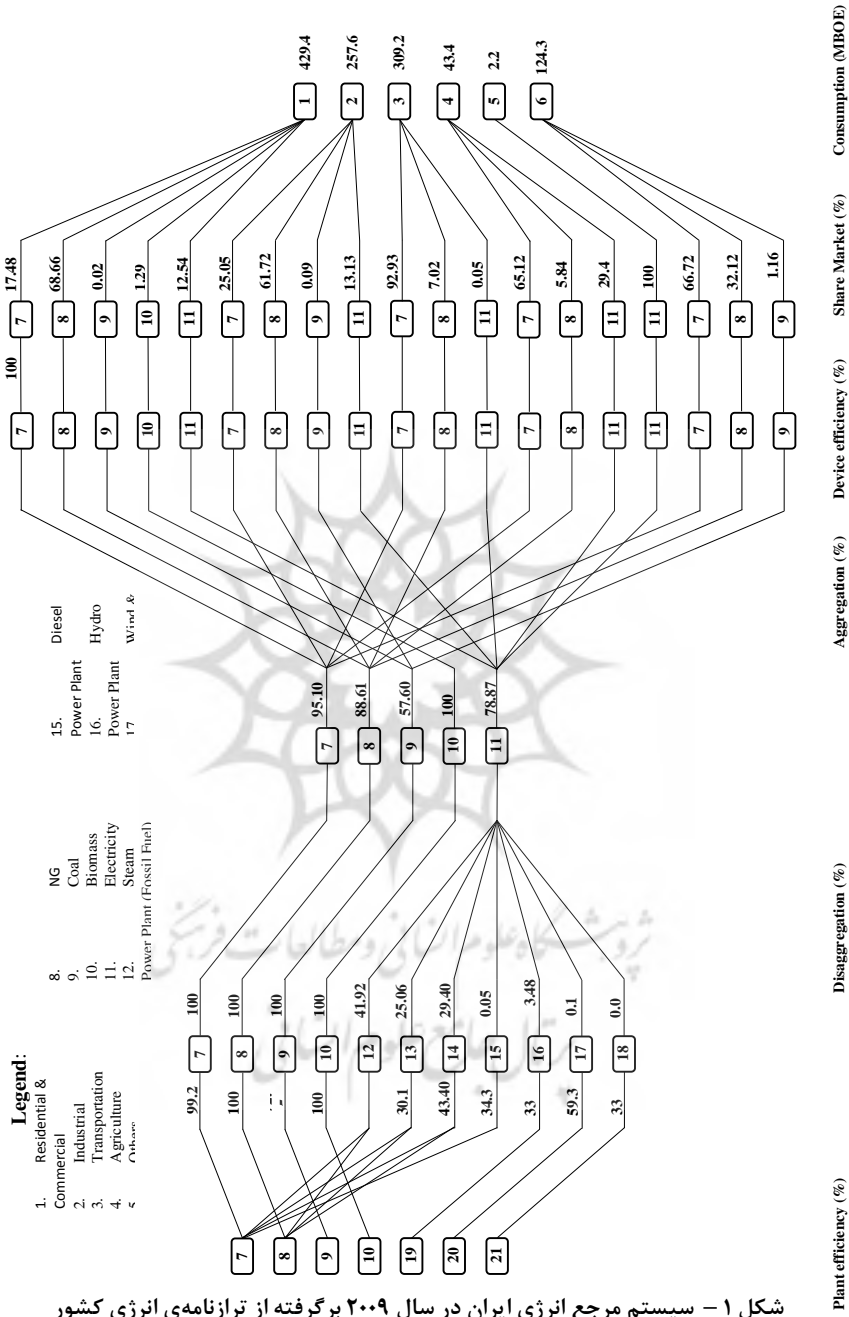
منبع انرژی	ظرفیت اسمی (MW)	تولید ناویژه (GWh)	پتانسیل تولید (GWh)
برقآبی	۷۶۷۲.۵	۵۰۰۰	۴۱۶۸۵
بادی	۸۹.۸۳	۱۹۶	حداقل ۷۱۰
خورشیدی	۰.۰۶۳	۰.۰۷۵	۱۲۵۴.۶
زمین گرمایی	۳۵	-	۴۱۰
زیست توده	-	-	۱۲.۳۱

منبع: Iran's Energy Balance Sheet; 2009 و کیانی و پورفخرایی (۲۰۱۰).

اطلاعات مورد نیاز به منظور تشکیل سیستم انرژی مرجع<sup>۱</sup>، ترازنامه‌ی انرژی کشور است، این مرجع به عنوان جزئی‌ترین اطلاعات موجود برای تقاضا، فقط تا سطح زیربخش‌های خانگی، تجاری، صنعتی، حمل و نقل و کشاورزی داده‌ها را ارائه کرده است. شکل (۱)، نشان دهنده‌ی RES ایران در سال ۲۰۰۹ می‌باشد. در این مطالعه به منظور محاسبه‌ی میزان کل تولید، واردات و صادرات انرژی با هدف پاسخ‌گویی به تقاضا، با دریافت داده‌هایی از زیر بخش‌های مصرف انرژی، انواع تلفات، میزان ذخایر، بازدهی بخش تبدیلات از LEAP استفاده شده است. علاوه بر این LEAP با در دست داشتن روش‌های ریاضی شرایط را برای پیش‌بینی و مقایسه‌ی نتایج برنامه‌ریزی‌های متفاوت در خصوص تقاضا، انتقال و تولید انرژی فراهم می‌کند. نرم افزار LEAP در سال ۱۹۸۰ میلادی برای اولین بار جهت پروژه‌ی "سوخت و غذا" در انستیتوی Beijer کشور کنیا به کار گرفته شده است. پایه‌گذاری اساسی نرم افزار با همکاری کشورهای سوئد، آلمان، هلند و در نهایت امریکا انجام پذیرفته است. اولین نسخه‌ی عمومی LEAP در سال ۲۰۰۱ در دسترس قرار گرفته و با راه‌اندازی سایت [www.energycommunity.org](http://www.energycommunity.org) تعداد استفاده کنندگان از این نرم افزار در ابتدای سال ۲۰۰۶ به ۱۵۰۰ کاربر در بیش از ۱۳۰ کشور دنیا رسیده است.<sup>۲</sup>

1- Reference Energy System (RES).

2- Community for Energy, Environment and Development (COMMEND).



شکل ۱ - سیستم مرجع انرژی ایران در سال ۲۰۰۹ برگرفته از ترازنامه‌ی انرژی کشور

### ۳- پیش‌بینی GDP و POP

مصرف انرژی در یک ناحیه به عوامل گوناگونی هم‌چون میزان منابع انرژی در اختیار، میزان صنعتی شدن، جمعیت، میزان درآمد سرانه، سیاست دولت‌ها در برنامه‌ریزی طولانی مدت و امنیت انرژی، سطح کیفی زندگی و دست‌آورد مسائل زیست‌محیطی و فرهنگی بستگی دارد. از این بین میزان رشد GDP، POP و میزان شدت انرژی پارامترهای مرتبطی هستند (لی و همکاران، ۲۰۰۶) و به منظور بررسی میزان مصرف انرژی در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برای اثبات این ارتباط می‌توان از تابع ریاضی هم‌بستگی<sup>۱</sup> برای داده‌های سال‌های پیشین مصرف انرژی با هر یک از این دو عامل بهره برد.

نتایج محاسبه‌ی ضریب هم‌بستگی برای سال‌های ۱۹۹۱-۲۰۰۹ یک بار بین پارامترهای GDP به عنوان (x) و میزان مصرف انرژی زیربخش‌ها (y)، و بار دیگر بین POP به عنوان (x) و مصرف انرژی در زیربخش‌ها (y) در جدول (۳) آورده شده است. در این رابطه  $C(x,y)$ ، تابع هم‌بستگی بین x و y، و  $\mu_x$  و  $\mu_y$  به ترتیب معرف میانگین، انحراف از معیار هر متغیر بوده، و E امید ریاضی است.

$$C(x,y) = \frac{E\left[(x - \mu_x) \cdot (y - \mu_y)\right]}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (1)$$

به عبارت دیگر، تابع مصرف انرژی یک تابع دو متغیره فرض شده است که متغیرهای مستقل آن GDP و POP هستند. در نتیجه، چنان‌چه پیش‌بینی تقاضای انرژی در آینده مدنظر باشد، ابتدا باید نسبت به تخمین این دو عامل در طول زمان مورد مطالعه اقدام کرد. سپس با به‌کارگیری ارتباطی که این سه عامل، در سال‌های گذشته با یکدیگر داشته‌اند و با در دست داشتن مقادیر آینده‌ی دو متغیر POP و GDP، می‌توان نسبت به تخمین عامل سوم که میزان تقاضای انرژی است، مبادرت ورزید. از آن‌جا که در ادامه به بررسی سناریوهای مختلف برای آینده‌ی انرژی کشور پرداخته خواهد شد، پیش‌بینی مقادیر تقاضای انرژی در سال‌های پیش رو مورد نیاز است. همان‌گونه که در قبل گفته شد، میزان تقاضای انرژی نتیجه‌ی رفتار عوامل زیر لایه‌ای نامبرده می‌باشد. بدیهی است روند رشد تقاضای انرژی در آینده به چگونگی تغییر این مقادیر وابسته خواهد بود، بنابراین در ابتدا به پیش‌بینی کمیت‌های GDP و میزان POP پرداخته می‌شود.

1- Correlation.

**پیش‌بینی GDP**

در این مطالعه به منظور تخمین GDP، دو روش مدل Grey و TGM مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

**پیش‌بینی به روش Grey**

تئوری Grey به واسطه‌ی سادگی و قابلیت مدل کردن یک سیستم ناشناخته با تعداد داده‌های اندک، نسبت به سری‌های زمانی دارای شهرت است (سهیلی، ۲۰۱۰). از بین مدل‌های خانواده‌ی Grey، مدل مرتبه‌ی یک یا GM(1,1) برای پیش‌بینی متداول‌ترین مدل به سبب سادگی و دقت هم‌زمان است.

جدول ۳ - هم‌بستگی میان مصرف انرژی با GDP - هم‌بستگی میان مصرف انرژی با میزان POP در

ایران

Energy Consumption Sector	Correlation Index	
	Residential, Commercial	GDP
Population		۰/۹۸۳۹۹۱
Industrial	GDP	۰/۷۸۶۴۹۲
	Population	۰/۷۲۱۵۸۱
Transportation	GDP	۰/۹۷۹۶۲۷
	Population	۰/۹۹۳۲۵۰
Agriculture	GDP	۰/۴۷۳۹۲۲
	Population	۰/۳۱۸۱۳۵
Non-Energy Sector	GDP	۰/۵۲۶۳۹۶
	Population	۰/۴۷۵۳۹۴
Total Energy Consumption	GDP	۰/۹۸۰۰۳۷
	Population	۰/۹۶۶۲۳۱

منبع: یافته‌های تحقیق

**پیش‌بینی به روش TGM**

به‌وسیله‌ی این روش اطلاعات به‌دست آمده از سری باقی‌مانده، یعنی سری اختلاف بین داده‌های مشاهده شده و تخمین زده شده، به منظور اصلاح مقادیر تخمین مدل Grey مرتبه‌ی یک استفاده می‌شود. برتری استفاده از رویکرد مثلثاتی، محاسبات کم‌تر آن است (سهیلی، ۲۰۱۰). جدول (۴)، ضرایب دو روش فوق را برای پیش‌بینی GDP نشان می‌دهد.

جدول ۴ - ضرایب پیش‌بینی GDP به روش مدل Grey و مدل TGM

GM	a = -۰/۰۴۴۹		b = ۰/۴۵۴۵	
TGM	b <sub>0</sub> = -۰/۱۳۰۵	b <sub>1</sub> = ۰/۰۱۷	b <sub>2</sub> = -۰/۰۰۹۹	b <sub>3</sub> = ۰/۰۵۵۶

منبع: یافته‌های تحقیق

### POP و پیش‌بینی آن

پارامتر بعدی مورد نیاز برای پیش‌بینی میزان تقاضای انرژی، POP است. تحقیقات انجام شده توسط *میراندا و لیما*<sup>۱</sup> (۲۰۱۰)، برای پیش‌بینی جمعیت جهان طی سال‌های آینده، منجر به ارائه‌ی روش‌های گوناگونی شده است که همگی بر اساس رشد نمایی جمعیت استوار هستند. با توجه به ترکیب جمعیتی کشور که از دو بخش شهری و غیر شهری تشکیل شده است و تأثیر به‌سزای رشد مهاجرت بخش غیر شهری به شهرهای کشور، نرخ رشد جمعیت، کم‌تر با الگوی سال‌های پیش از این متناسب خواهد بود، چرا که در سال‌های آتی، رشد POP غالباً متأثر از جمعیت متمرکز در شهرها بوده که تمایل کم‌تری به داشتن فرزندان بیشتر خواهند داشت. در این مطالعه پیش‌بینی رشد POP بر اساس برآزش خطی انجام پذیرفته است.

### ۴- پیش‌بینی تقاضای انرژی

همان‌طور که پیش از این بیان شد برای پیش‌بینی میزان تقاضای انرژی نیاز به تخمین مقادیر POP و GDP وجود دارد (لی و همکاران، ۲۰۰۶). اکنون با در دست داشتن نتایج این تخمین‌ها، می‌توان با روش‌هایی تابع تقاضای انرژی را پیش‌بینی کرد. بر اساس نتایج جدول (۳) مشخص می‌شود که میان POP، GDP و انرژی مصرفی هم‌بستگی وجود دارد، این امر این امکان را فراهم می‌کند که از اطلاعات مذکور برای آموزش یک ANN بهره‌برده و سپس از شبکه‌ی آموزش دیده به منظور پیش‌بینی استفاده کرد. روش دیگر معادله‌ای است که *دارمستادتر* (۲۰۰۴)، در کتاب *دایره‌المعارف جمعیت در مقاله‌ی انرژی و جمعیت ارائه می‌دهد که ارتباط انرژی مصرفی با POP و سرانه‌ی GDP را بیان می‌کند. در ادامه به توضیح این دو روش، برای پیش‌بینی میزان تقاضای انرژی پرداخته خواهد شد.*

1- Miranda and Lima.



## پیش‌بینی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)

در این مطالعه به منظور پیش‌بینی میزان تقاضای انرژی، اطلاعات مربوط به POP و GDP سال‌های پیش رو - که در بخش ۴ محاسبه شده‌اند - به عنوان ورودی‌های یک ANN محسوب می‌شوند (سوزن و آرکاکلیوگلو، ۲۰۰۷). از رابطه‌ی (۲) برای نرمالیزه کردن اطلاعات ورودی شبکه‌ی عصبی استفاده می‌شود که در آن مقدار نرمالیزه شده‌ی  $Y_k$  و بیش‌ترین مقدار داده‌ها می‌باشد.

$$\hat{y}_k = \frac{Y_k}{Y_{\max}}, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

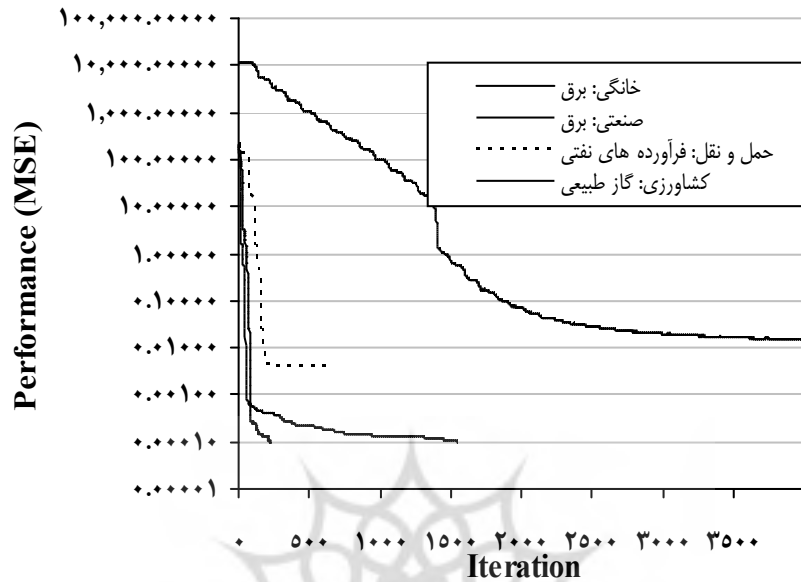
جدول (۵)، نتایج انتخاب بهترین جواب با استفاده از معیار رگرسیون  $R^2$  را نشان می‌دهد. این معیار در رابطه‌ی (۳) آمده و در آن  $\hat{y}_k$  k امین مقدار رشته‌ی پیش‌بینی،  $Y_k$  مقدار واقعی و n تعداد داده‌هاست. شکل (۲)، هم‌گرایی ANN Model را نشان می‌دهد.

$$R^2(\%) = 1 - \frac{\sum_{k=1}^n [\hat{y}_k - Y_k]^2}{\sum_{k=1}^n Y_k^2} \quad (3)$$

جدول ۵- معیار خطای  $R^2$  در آموزش شبکه‌ی عصبی به تفکیک حامل‌های انرژی مصرفی در هر زیر بخش

حامل	روش	خانگی	صنعت	حمل و نقل	کشاورزی	مصارف غیرانرژی
نفت	ANN-GM	۰/۹۹۹۹	۰/۹۷۰۴	۰/۹۹۹۰	۰/۹۹۸۷	۰/۹۱۸۸
	ANN-TGM	۰/۹۹۰۱	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۰/۹۹۸۴
گاز طبیعی	ANN-GM	۰/۹۹۹۵	۰/۹۹۶۳	۰/۹۹۹۰	۰/۹۸۴۷	۰/۹۸۶۱
	ANN-TGM	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۷	۰/۹۹۹۹	۰/۹۸۸۲
زغال سنگ	ANN-GM	۱/۰۰۰۰	۰/۹۹۲۵	-	-	۰/۹۷۱۲
	ANN-TGM	۰/۹۹۸۷	۰/۸۵۵۶	-	-	۰/۹۹۹۴
برق	ANN-GM	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۸۶	۰/۹۹۳۵	۰/۹۹۵۲	-
	ANN-TGM	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۸۳	۰/۹۴۳۱	۰/۹۹۶۶	-
	ANN-TGM	۰/۹۹۱۵	-	-	-	-

منبع: یافته‌های تحقیق



شکل ۲- منحنی‌های هم‌گرایی ANN Model براساس روش متوسط مربعات خطای تنظیم شده برای زیر بخش‌های مختلف

#### پیش‌بینی با استفاده از معادله‌ی دارمستادتر

دارمستادتر (۲۰۰۴)، در مقاله‌ی انرژی و جمعیت رابطه‌ای را میان میزان تقاضای انرژی با GDP، POP و شدت انرژی بیان می‌کند. وی در آن مطالعه نشان می‌دهد که هرگاه درصد تغییرات عوامل POP، سرانه‌ی GDP و شدت انرژی نسبتاً "کوچک باشد، می‌توان از رابطه‌ی (۴) استفاده کرد:

$$\frac{\frac{GDP(t+1) - GDP(t)}{POP(t+1) - POP(t)} + \frac{\frac{GDP(t+1)}{POP(t+1)} - \frac{GDP(t)}{POP(t)}}{\frac{GDP(t)}{POP(t)}}}{\frac{EC(t+1) - EC(t)}{GDP(t+1)} + \frac{\frac{EC(t+1)}{GDP(t+1)} - \frac{EC(t)}{GDP(t)}}{\frac{EC(t)}{GDP(t)}}} = \frac{EC(t+1) - EC(t)}{EC(t)} \quad (1)$$

که در معادله‌ی فوق  $POP(t)$  میزان جمعیت و  $GDP(t)$  میزان تولید ناخالص داخلی در سال  $t$  و  $EC(t)$  تقاضای انرژی در همان سال است. جملات معادله‌ی دارمستادتر (JD model)، معرف رشد نسبی پارامترهای جمعیت، سرانه‌ی تولید ناخالص داخلی  $GDP/POP$ ، شدت انرژی  $EC/GDP$  در سمت چپ رابطه و رشد نسبی تقاضای انرژی در سمت راست هستند. تمامی پارامترهای مذکور در سال  $t$ ، معلومات معادله می‌باشند، هم‌چنین پیش‌تر، متغیر  $GDP(t+1)$  از طریق پیش‌بینی به روش‌های Grey و TGM و متغیر  $POP(t+1)$  از طریق پیش‌بینی به روش خطی به‌دست آمده‌اند. مجهول این معادله‌ی  $EC(t+1)$  است که تقاضای انرژی در سال  $(t+1)$  می‌باشد و توسط این معادله پیش‌بینی می‌شود. شکل (۳)، معرف مسیر طی شده برای ارائه‌ی چهار روش پیش‌بینی در این مطالعه است.

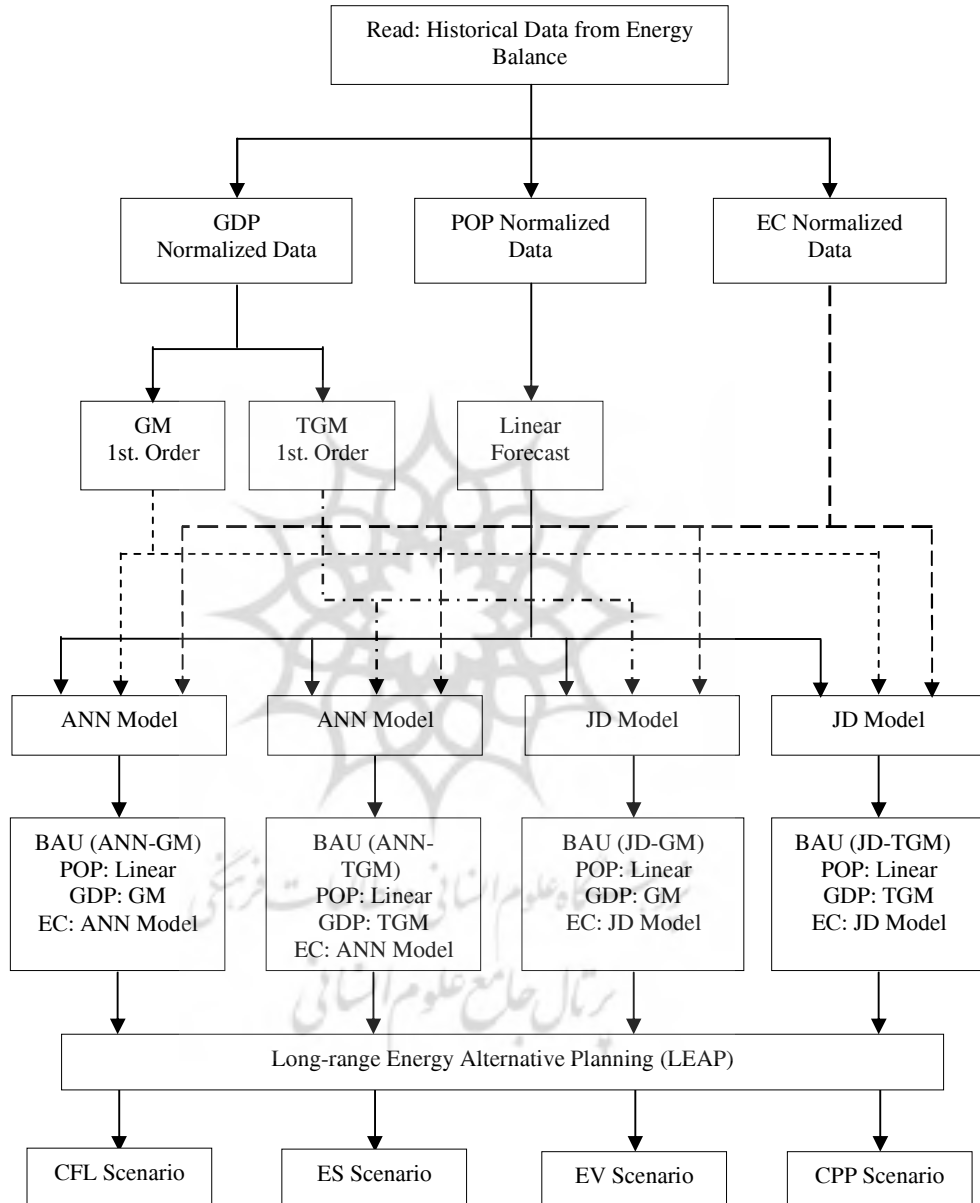
##### ۵- ارزیابی سناریوهای مختلف

پس از برآورد میزان تقاضای انرژی در هر یک از زیر بخش‌های خانگی - تجاری - عمومی، صنعتی، حمل و نقل، کشاورزی و غیر انرژی با استفاده از روش‌های ANN و JD، ورودی‌های LEAP به دست آمده است. وسیله‌ی خواندن داده‌های مذکور از فایل‌های Excel و ورود آن‌ها به محیط LEAP، می‌توان نسبت به بررسی سناریوهای زیر مبادرت ورزید. در هر یک از متدها، چهار سناریو مورد بررسی قرار گرفته و نتایج مربوط به هر سناریو در ادامه آمده است. سناریوهای مورد نظر در این خصوص می‌توانند در زمینه‌های مختلفی هم‌چون برنامه‌ریزی، سیاست‌گذاری، اقتصادی، امنیت انرژی و زیست محیطی کاربرد داشته باشند. سناریوها در حالت کلی می‌توانند به چهار دسته تقسیم شوند:

- (۱) سناریوی ادامه‌ی وضع موجود (BAU)، (۲) سناریوی مدیریت تقاضا (DSM)<sup>۱</sup>، (۳) سناریوی مدیریت عرضه (SSM)<sup>۲</sup> و (۴) سناریوهای مدیریت هم‌زمان عرضه و تقاضا.

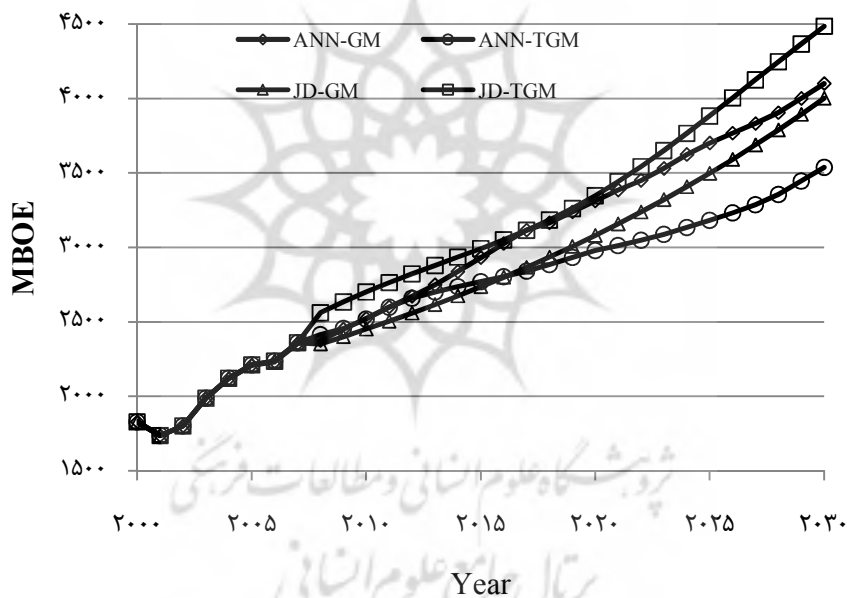
1- Demand Side Management.  
2- Supply Side Management.

## سناریوی ادامه‌ی وضع موجود (BAU)



شکل ۳- فلوچارت روش‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی بلندمدت انرژی

در صورتی که تمامی متغیرها و پارامترهای سیستم انرژی مورد بحث در سال‌های پیش‌رو، کماکان روند سال‌های قبل را دنبال کنند، سناریوی مورد بررسی BAU نامیده می‌شود. از جمله این پارامترها تکنولوژی‌های نیروگاهی و پالایشگاهی، راندمان آن‌ها، تلفات شبکه‌های انتقال و توزیع حامل‌های انرژی، سهم هر تکنولوژی نیروگاهی از تولید و سهم انواع سوخت مصرفی هر نیروگاه می‌باشد. از بین متغیرهای سیستم انرژی نیز می‌توان به میزان تقاضای هر حامل، ظرفیت نصب شده نیروگاهی، توسعه شبکه‌های برق رسانی و گاز رسانی اشاره کرد. براساس این که کدام یک از روش‌های مذکور در شکل (۳) برای پیش‌بینی این سناریو به کار گرفته شود، نتایج متفاوتی حاصل می‌شود که در شکل (۴) قابل مشاهده‌اند.



شکل ۴ - مقایسه‌ی پیش‌بینی تأمین انرژی اولیه در سناریوی BAU تا سال ۲۰۳۰ میلادی

#### مدیریت هم‌زمان در سمت عرضه و تقاضا

در سمت عرضه فرض شده است که تمامی نیروگاه‌های توربین گاز با بازدهی بسیار پائین به نیروگاه‌های سیکل ترکیبی تبدیل شوند. هم‌چنین نیروگاه هسته‌ای نیز به عنوان تأمین بار پایه‌ی شبکه به مجموعه‌ی تولید انرژی افزوده شود. این مفروضات برای

هر سه سناریوی CFL، ES و EV برقرار است (آ) تمامی واحدهای نیروگاهی توربین گاز با بازدهی حدود ۲۵٪ به سیکل ترکیبی با بازدهی حدود ۵۰٪ تبدیل می‌شوند<sup>۱</sup>، (ب) تبدیل تمامی واحدهای توربین گاز به سیکل ترکیبی از سال ۲۰۱۱ آغاز و در سال ۲۰۱۶ به پایان می‌رسد، (پ) نیروگاه هسته‌ای در سال ۲۰۱۱ با ۵٪ از سهم تولید شبکه وارد مدار شده و در سال ۲۰۱۵ این مقدار به ۱۰٪ افزایش می‌یابد، (ت) بازدهی نیروگاه هسته‌ای ۳۳٪ فرض شده است<sup>۲</sup>.

### سناریوی جایگزینی لامپ رشته‌ای با لامپ کم توان در بخش خانگی، تجاری (CFL)<sup>۳</sup>

در سمت تقاضا فرض بر این است که لامپ‌های رشته‌ای معمولی با بهره‌ی نوری بسیار پایین (حدود ۱۲ لومن بر وات) و تلفات بالای انرژی الکتریکی، با لامپ‌های کم توان، جایگزین شوند. در این سناریو نکات زیر قابل توجه هستند (آ) توان لامپ‌های کم توان به طور متوسط ۲۰٪ لامپ‌های رشته‌ای در نظر گرفته شده است، (ب) تقریباً ۳۰٪ مصارف برق بخش خانگی و تجاری صرف روشنایی می‌شود، (پ) ۸۰٪ روشنایی از لامپ‌های رشته‌ای و فلورسنت تأمین می‌شود و ۵۰٪ این لامپ‌ها رشته‌ای است، بنابراین سهم روشنایی که توسط لامپ‌های رشته‌ای تأمین می‌شود ۱۲٪ از کل مصرف الکتریکی زیربخش خانگی- تجاری خواهد بود. در صورتی که این جایگزینی به گونه‌ای باشد که (ت) طول دوره‌ی جایگزینی لامپ‌ها ۵ سال، (ث) شروع جایگزینی لامپ‌ها از سال ۲۰۱۲، (ج) نرخ نفوذ آن در پله‌های ۲۰، ۵۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰٪ از کل لامپ‌های رشته‌ای موجود در هر سال در نظر گرفته شوند، و (چ) تا انتهای سال ۲۰۱۶ تمامی لامپ‌های رشته‌ای با کم توان جایگزین شوند.

### سناریوی جایگزینی اجاق خوراک پزی گاز سوز با الکتریکی در بخش خانگی (ES)

با توجه به بازدهی بالاتر اجاق‌های الکتریکی نسبت به انواع گاز سوز آن‌ها، در این سناریو به اثر جایگزینی این نوع از تکنولوژی پرداخته می‌شود. این خوراک پزها با ظرف

1- SIEMENS, Combined Cycle Power Plants.

2- Nuclear Efficiency: Martin Volkmer: Kernenergie basiswissen. Informationskreis Kernenergie, Berlin June 2007.

3- CFL: Compact Fluorescent lamp Scenario.

4- Penetration Rate.

مستقیماً" اتصال فیزیکی برقرار کرده و ائتلافی برای گرم کردن هوا ندارند. از این گذشته عدم تولید آلودگی در محل مصرف مزیت دیگری برای این تغییر به شمار می‌رود. در این سناریو نکات زیر قابل توجه هستند (آ) بازدهی یک اجاق الکتریکی حدود ۱/۴۲۵ برابر یک اجاق گازسوز است<sup>۱</sup>، (ب) برای هر خانواده یک عدد اجاق خوراک پزی اختصاص داده می‌شود، (پ) جمعیت متوسط هر خانواده ۴/۵ نفر محاسبه می‌شود، (ت) مصرف سالانه‌ی یک اجاق خوراک پزی گازسوز ۶۰ متر مکعب گاز طبیعی و برای یک اجاق خوراک پزی الکتریکی ۱/۴۴ گیگاژول در سال است<sup>۲</sup>، (ث) این جایگزینی از سال ۲۰۱۱ آغاز می‌شود، (ج) هر اجاق گازسوز با یک اجاق الکتریکی جایگزین می‌شود و (چ) این سناریو به مدت ۱۰ سال و سالانه برای ۱۰٪ از کل اجاق‌های موجود انجام می‌پذیرد و پس از آن تمام اجاق‌های موجود الکتریکی خواهند بود.

#### **سناریوی جایگزینی خودروی بنزینی با الکتریکی در بخش حمل و نقل (EV)**

مصرف انرژی یک خودرو به عوامل مختلفی از جمله جرم، سرعت، شتاب، سطح مقطع مؤثر در برابر هوای روبرو، ضریب اصطکاک سطح جاده، خصوصیات ترمودینامیکی هوای محل و طول عمر موتور خودرو بستگی دارد، اما هرگاه یک خودروی الکتریکی در شرایط یکسان با یک خودروی بنزینی قرار گیرد، مصرف انرژی آن حدود ۳۳٪ خواهد بود<sup>۳</sup>، بنابراین این جایگزینی می‌تواند به عنوان یکی از تکنیک‌های مدیریت سمت تقاضا مورد بررسی قرار گیرد. در این سناریو نکات زیر قابل توجه هستند (آ) بازدهی خودرو الکتریکی ۳ برابر خودروی بنزینی در نظر گرفته شده است<sup>۴</sup>، (ب) سناریو از سال ۲۰۱۴ آغاز می‌شود، (پ) سالانه تعداد ۷۰۰ هزار دستگاه از کل خودروهای موجود بنزینی (ترجیحاً" فرسوده) با الکتریکی جایگزین می‌شود (روزانه ۲۰ هزار دستگاه به ازای ۳۵۰ روز کاری)، (ت) این سناریو تا سال ۲۰۳۰ ادامه پیدا می‌کند، اما به دلیل حجم بالای خودروهای بنزینی در ناوگان حمل و نقل شهری و در مقابل محدودیت تولید خودروهای الکتریکی، تا پایان این سال امکان خروج کامل خودروهای بنزینی میسر نبوده ولی ۶۸٪ از کل خودروها در سال ۲۰۳۰ با الکتریکی جایگزین می‌شود.

---

1- Community for Energy, Environment and Development (COMMEND)

2- Community for Energy, Environment and Development (COMMEND).

3- European Commission Mobility and Transport.

4- European Commission Mobility and Transport.

**مدیریت در سمت تولید****ورود نیروگاه‌های بخاری با سوخت زغال‌سنگ به عرصه‌ی عرضه‌ی انرژی****الکتریکی (CPP)**

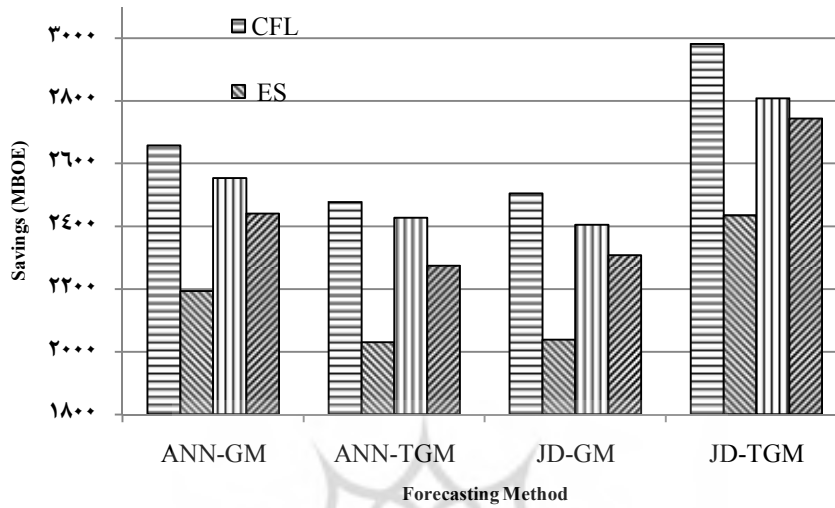
تمرکز انرژی در محل عرضه به مراتب بیش‌تر از سمت تقاضا است و به سبب کنترل آسان‌تر تولیدکنندگان نسبت به تعداد زیاد مصرف‌کنندگان، این مدیریت به مراتب کم‌هزینه‌تر خواهد بود. با توجه به منابع زیاد زغال‌سنگ در کشور، به‌کارگیری این سوخت در تولید انرژی الکتریکی قابل بررسی است. در این سناریو نکات زیر قابل توجه هستند (آ) سوخت این نیروگاه زغال‌سنگ بوده که تا به حال از این سوخت برای تولید انرژی الکتریکی در کشور استفاده نشده است، (ب) این سناریو از سال ۲۰۱۳ آغاز می‌شود، (پ) هر سه سال یک نیروگاه زغال‌سنگی وارد مدار می‌شود، (ت) ظرفیت هر نیروگاه زغال‌سنگی جدید ۲۰۰۰ مگاوات است، (ث) این نیروگاه از دسته‌ی نیروگاه‌های بخاری بوده و بازدهی آن‌ها مشابه است، (ج) ورود این نیروگاه در سمت عرضه، سبب تغییر در سهم سوخت نیروگاه‌های سوخت فسیلی پیشین خواهد شد.

**نتایج سناریوها**

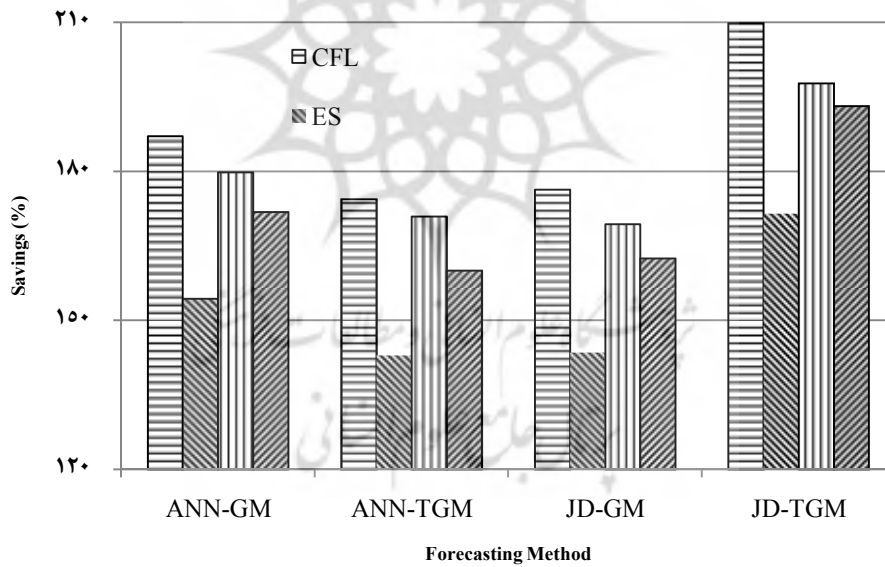
میزان تقاضای حامل‌های مهم همانند نفت و گاز از دید امنیت انرژی، صادرات و واردات حائز اهمیت می‌باشد. حامل برق از دید صنعتی شدن، آلودگی زیست محیطی در نقطه‌ی انتهای تقاضا، انتقال آسان و سریع و به عنوان یکی از عوامل معرف میزان رفاه عمومی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. هم‌چنین استفاده از سوخت زغال‌سنگ در تولید انرژی الکتریکی می‌تواند تأثیر به‌سزایی در زمان تخلیه‌ی منابع استراتژیک نفت و گاز کشور به جای بگذارد. از این رو در این بخش به ارائه‌ی نتایج حاصل از سناریوهای مختلف برای این حامل‌ها پرداخته می‌شود. شکل (۵)، میزان تجمعی صرفه‌جویی در نتیجه‌ی به‌کارگیری هر یک از سناریوها تا سال ۲۰۳۰ نسبت به سناریوی BAU را نشان می‌دهد. به عنوان معیار مناسبی برای مقایسه‌ی این اعداد می‌توان آن‌ها را نسبت به میزان تأمین انرژی اولیه‌ی کل<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۹ سنجید، که مقدار آن ۱۵۳۶/۱ MBOE است. شکل (۶)، نشان می‌دهد که صرفه‌جویی تجمعی حاصل از هر سناریو چند برابر عدد مذکور می‌باشد. صرفه‌جویی سناریو CPP به مفهوم میزان برداشت کم‌تر از منابع نفت و گاز است.

1- Total Primary Energy Supply (TPES).





شکل ۵- صرفه‌جویی تجمعی سناریوها تا سال ۲۰۳۰ در مقایسه با BAU (MBOE)



شکل ۶- درصد صرفه‌جویی تجمعی سناریوها تا سال ۲۰۳۰ نسبت به TPES ایران در سال ۲۰۰۹

با توجه به شکل (۴)، دو روش پیش‌بینی ANN-GM و ANN-TGM به عنوان حدود بالا و پایین پیش‌بینی بوده و برای سادگی تنها به ارائه‌ی نتایج این دو روش

بسنده می‌شود. جدول (۶)، به تفکیک حامل‌ها، نتایج را برای سال‌های نمونه‌ی ۲۰۱۰ (پیش از شروع سناریوها)، ۲۰۳۰ (افق مطالعه) نشان می‌دهد.

### تأثیر بر روی ذخایر سوخت فسیلی

یکی از مواردی که بررسی سناریوها را ارزشمند می‌کند تأثیری است که بر میزان مخازن سوخت‌های فسیلی کشور بر جای می‌گذارد. ذخایر سوخت فسیلی در حال استحصال ایران برای حامل گاز طبیعی ۳۲۱۵۰ میلیارد متر مکعب (MBOE ۱۸۹۰۸۵)، برای نفت خام MBOE ۱۳۷۰۱۰ و برای زغال‌سنگ ۱۱ میلیارد تن (MBOE ۱۱۷۲۵) می‌باشد<sup>۱</sup>. درصد باقی‌مانده‌ی این ذخایر پس از اعمال سناریوهای مورد مطالعه تا سال ۲۰۳۰، به تفکیک روش‌های پیش‌بینی، مطابق جدول (۷) خواهد بود.

جدول ۶- مقایسه‌ی میزان تقاضای نفت خام، گاز طبیعی، زغال‌سنگ، سوخت هسته‌ای و برق در سناریوها برای دو روش نمونه (MBOE).

Scenario/Year		Method									
		ANN-GM					ANN-TGM				
		Crude Oil	Natural Gas	Coal	Nuclear	Electricity	Crude Oil	Natural Gas	Coal	Nuclear	Electricity
BAU	۲۰۱۰	۱۶۶۸.۵	۸۴۰.۱	۶.۱	-	۱۰۲.۵	۱۶۹۴.۴	۸۰۷.۰	۷.۷	-	۱۰۷.۳
	۲۰۳۰	۲۱۶۹.۶	۱۹۰۰.۶	۱۱.۶	-	۲۲۰.۵	۱۸۸۴.۴	۱۰۷۲.۳	۸.۷	-	۱۴۹.۲
CFL	۲۰۱۰	۱۶۶۸.۵	۸۴۰.۱	-	۰.۰	۱۰۲.۵	۲۱۷۶.۱	۱۳۲۸.۰	۱۵.۲	-	۲۰۱.۳
	۲۰۳۰	۲۱۰۶.۶	۱۷۲۳.۰	-	۵۲.۴	۲۰۹.۵	۱۶۹۴.۴	۸۰۷.۰	-	۰.۰	۱۰۷.۳
ES	۲۰۱۰	۱۶۶۸.۵	۸۴۰.۱	-	۰.۰	۱۰۲.۵	۱۸۴۱.۶	۹۵۱.۹	-	۳۵.۴	۱۴۱.۶
	۲۰۳۰	۲۱۱۶.۷	۱۷۴۱.۲	-	۵۶.۴	۲۲۵.۴	۲۱۱۸.۴	۱۱۶۵.۶	-	۴۷.۷	۱۹۱.۰
EV	۲۰۱۰	۱۶۶۸.۵	۸۴۰.۱	-	۰.۰	۱۰۲.۵	۱۶۹۴.۴	۸۰۷.۰	-	۰.۰	۱۰۷.۳
	۲۰۳۰	۱۸۹۰.۸	۱۸۸۹.۷	-	۷۸.۵	۳۱۳.۹	۱۸۴۹.۴	۹۶۴.۶	-	۳۸.۴	۱۵۳.۷
CPP	۲۰۱۰	۱۶۶۸.۵	۸۴۰.۱	۶.۱	-	۱۰۲.۵	۲۱۲۸.۱	۱۱۸۲.۶	-	۵۱.۶	۲۰۶.۲
	۲۰۳۰	۲۰۹۶.۹	۱۷۱۹.۳	۲۷۱.۹	-	۲۲۰.۵	۱۶۹۴.۴	۸۰۷.۰	-	۰.۰	۱۰۷.۳

منبع: یافته‌های تحقیق

**آثار زیست محیطی**

رشد سریع جمعیت و صنعتی شدن سبب افزایش شدید شیب تقاضای انرژی در سرتاسر دنیا شده است. از سوی دیگر رشد عرضه انرژی سبب تولید گازهای گلخانه‌ای و آلودگی زیست محیطی خواهد شد. بخش‌های مختلف انرژی شامل تقاضا، تبدیلات و عرضه، از قبیل برق، پالایشگاه‌های نفت و گاز، فرآوری زغال‌سنگ و سایر موارد، منبع تولید کننده‌ی آلودگی و انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند. جدول (۸)، تن کربن آزاد شده در سناریوهای مختلف را در مقایسه با یکدیگر نمایش می‌دهد.

جدول ۷- درصد باقی‌مانده از منابع سوخت فسیلی ناشی از اجرای سناریوها با روش‌های چهارگانه‌ی

پیش‌بینی - خروجی LEAP

Scenario		Method			
		ANN-GM	ANN-TGM	JD-GM	JD-TGM
BAU	Natural Gas	۸۴.۱	۸۷.۸	۸۷.۹	۸۴.۱
	Crude Oil	۶۹.۸۵	۶۹.۶	۶۹.۶	۶۷.۵
	Coal	۹۹.۷	۹۹.۶	۹۹.۵	۹۹.۴
CFL	Natural Gas	۸۵.۵	۸۹.۱	۸۷.۹	۸۵.۶
	Crude Oil	۷۰.۴	۷۰.۲	۶۹.۶	۶۸.۲
	Coal	۹۹.۷	۹۹.۶	۹۹.۵	۹۹.۴
ES	Natural Gas	۸۵.۳	۸۸.۹	۸۷.۸	۸۵.۴
	Crude Oil	۷۰.۳	۷۰.۱	۶۹.۵	۶۸.۱
	Coal	۹۹.۷	۹۹.۶	۹۹.۵	۹۹.۴
EV	Natural Gas	۸۴.۷	۸۸.۳	۸۷.۳	۸۴.۹
	Crude Oil	۷۱.۵	۷۱.۳	۷۰.۷	۶۹.۳
	Coal	۹۹.۷	۹۹.۶	۹۹.۵	۹۹.۴
CPP	Natural Gas	۸۵.۱	۸۸.۷	۸۷.۶	۸۵.۲
	Crude Oil	۷۰.۳	۷۰.۱	۶۹.۵	۶۸.۱
	Coal	۹۵.۲	۹۵.۵	۹۵.۴	۹۴.۵

منبع: یافته‌های تحقیق

با توجه به پیمان کیوتو<sup>۱</sup> که در سال ۱۹۹۷ بین کشورهای صنعتی جهان منعقد شد، آن‌ها متعهد شدند تا نسبت به کاهش گازهای گلخانه‌ای (GHG)<sup>۲</sup> در سطح کشورهای خود اقدام کنند. بدین سبب صنایع تولیدکننده‌ی این گازها به ازای مقدار کربن آزاد شده، مالیات پرداخت می‌کنند. این معیار جهانی متغیر بوده و جریمه‌ی آن در سال ۲۰۱۰ به ازای هر تن کربن منتشر شده، معادل ۲۳ دلار آمریکا وضع شده است.<sup>۴</sup>

### ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این‌جا به اختصار تنها به نتایج روش اول (ANN-GM) در سال ۲۰۱۰ اشاره شده است، اما برای سایر روش‌های پیش‌بینی نیز نتیجه‌گیری‌های کیفی مشابهی وجود دارد:

۱- جایگزینی لامپ رشته‌ای با کم‌توان: همان‌گونه که از جدول (۶) پیداست، به‌کارگیری این سناریو در مقایسه با BAU، موجب صرفه‌جویی می‌شود. این صرفه‌جویی برای سال ۲۰۳۰ به میزان ۶۳ و ۱۷۷/۶ MBOE به ترتیب برای حامل‌های نفت خام و گاز طبیعی رسیده و کاهش تقاضای انرژی الکتریکی به میزان ۱۱ MBOE را به دنبال دارد.

۲- جایگزینی اجاق گازسوز با اجاق الکتریکی: همان‌طور که جدول (۶) نشان می‌دهد، به‌کارگیری این سناریو در مقایسه با BAU، سبب کاهش میزان بهره‌برداری از منابع نفت خام و گاز طبیعی به ترتیب ۵۹/۹ و ۱۵۹/۴ MBOE در سال ۲۰۳۰ می‌شود. دی‌اکسید کربن تولیدی در این سناریو به میزانی که در جدول (۸) آمده کاهش یافته است.

۳- جایگزینی خودروی بنزینی با الکتریکی: اعداد جدول (۶) بیانگر این واقعیت است که این سناریو در سال ۲۰۳۰ سبب صرفه‌جویی ۲۷۸/۸ و ۱۰/۹ MBOE به ترتیب از منابع نفت خام و گاز طبیعی خواهد شد.

1- Kyoto Commitment.

2-Green House Gas (GHG).

3-Conference of the Parties., 1997. Report of the Conference of the Parties on its Third Session. Held at Kyoto. United Nation.

4- Carbon Tax Center, Pricing Carbon Efficiently and Equitably.

جدول ۸- میزان کربن منتشر شده و هزینه‌ی جریمه‌ی انتشار آن در سناریوها با چهار روش پیش‌بینی از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰

Scenario		Method			
		ANN-GM	ANN-TGM	JD-GM	JD-TGM
BAU	Total GHG*	۴۱۰۷۱.۸۰	۳۴۸۶۶.۶۰	۳۸۱۵۷.۷۰	۴۴۱۰۳.۴۰
	Carbon Tax**	۹۴۴۶۵۱.۴۰	۸۰۱۹۳۱.۸۰	۸۷۷۶۲۷.۱۰	۱۰۱۴۳۷۸.۲۰
CFL	Total GHG*	۳۸۷۴۴.۷۰	۳۲۶۶۸.۵۰	۳۵۹۳۹.۹۰	۴۱۵۰۷.۸۰
	Carbon Tax**	۸۹۱۱۲۸.۱۰	۷۵۱۳۷۵.۵۰	۸۲۶۶۱۷.۷۰	۹۵۴۶۷۹.۴۰
ES	Total GHG*	۳۸۹۸۴.۹۰	۳۲۸۹۸.۸۰	۳۶۱۸۰.۹۰	۴۱۷۹۷.۷۰
	Carbon Tax**	۸۹۶۶۵۲.۷۰	۷۵۶۶۷۲.۴۰	۸۳۲۱۶۰.۷۰	۹۶۱۳۴۷.۱۰
EV	Total GHG*	۳۹۱۸۸.۹۰	۳۳۱۰۳.۲۰	۳۶۳۶۴.۹۰	۴۱۹۸۶.۴۰
	Carbon Tax**	۹۰۱۳۴۴.۷۰	۷۶۱۳۷۳.۶۰	۸۴۶۳۹۲.۷۰	۹۶۵۶۸۷.۲۰
CPP	Total GHG*	۴۰۶۵۸.۷۰	۳۴۴۶۸.۰۰	۳۷۷۳۰.۳۰	۴۳۶۴۹.۰۰
	Carbon Tax**	۹۳۵۱۵۰.۱۰	۷۹۲۷۶۴.۰۰	۸۶۷۷۹۶.۹۰	۱۰۰۳۰۹۲۷.۰۰
		**million US\$	*million tons of released carbon		

منبع: یافته‌های تحقیق

۴- ورود نیروگاه‌های بخاری با سوخت زغال‌سنگ به عرصه‌ی تولید انرژی الکتریکی: اعداد جدول (۶) نشان می‌دهند که به کار بستن این سناریو تا سال ۲۰۳۰ سبب حفظ منابع نفت خام و گاز طبیعی به میزان ۲۴۴۰/۸ MBOE خواهد شد.

۵- افزایش سطح برق‌رسانی در همه‌ی کشورها، امری است که به دلیل مزایای استفاده از انرژی الکتریکی بر آن تکیه می‌شود. در صورتی که در سوی عرضه، تغییراتی در تکنولوژی نیروگاهی و به دنبال آن بازدهی آن‌ها انجام نگیرد و روند تولید به شیوه‌ی گذشته ادامه یابد، جایگزینی ادوات الکتریکی به جای مصرف‌کننده‌های سوخت فسیلی،

نه تنها سبب حفظ منابع ملی نمی‌شود، بلکه به دلیل بازدهی پایین تولید، نتیجه‌ی معکوس در پی خواهد داشت. در این مطالعه سناریوهای خودروی الکتریکی و اجاق الکتریکی در بخش مدیریت تقاضا، با هدف ترویج مصرف‌کننده‌های الکتریکی مطرح شده‌اند. مطالعات اولیه نشان می‌دهد که ادامه‌ی روند فوق به کاهش عدد کل تقاضای انرژی نمی‌انجامد و حتی گاهی به افزایش آن و نتایج نامطلوب زیست محیطی ختم می‌شود. به نظر می‌رسد، دلیل این امر را بتوان در بازدهی پایین نیروگاه‌های تولید برق و تلفات بالای شبکه‌های انتقال و توزیع یافت. برای مثال در سناریوی جایگزینی اجاق‌های الکتریکی، بازدهی این ادوات،  $1/425$  برابر نوع گازسوز آن است و انتظار می‌رود که در پایان سناریو، این جایگزینی منجر به کاهش تقاضا شود، اما به دلیل این که برق مورد نیاز این اجاق‌ها از نیروگاه‌هایی با بازدهی حداکثر  $34\%$  (نیروگاه‌های بخاری) و  $25\%$  (نیروگاه‌های توربین گازی) تأمین می‌شود، از دید کاهش تقاضا، این جایگزینی به تنهایی انتظارات را برآورده نمی‌کند. در جایگزینی خودروهای بنزینی با الکتریکی نیز وضع به همین ترتیب است. افزون بر این، این سناریوها علاوه بر این که امکان بررسی فرایندهای ممانعت از انتشار دی‌اکسید کربن در سمت عرضه و سطح نیروگاهی را فراهم می‌آورند، اهمیت توجه به بازدهی تمامی زیر شاخه‌های شبکه‌ی برق اعم از تولید نیروگاهی، تلفات انتقال و توزیع و جلوگیری از تلفات غیرفنی را روشن‌تر می‌کند. در کشورهای توسعه یافته که بارهای صنعتی از شبکه‌ی فوق توزیع تغذیه می‌شوند، برق مصرفی، تلفات بخش توزیع را نمی‌بیند، اما در کشور ایران مطابق با ترازنامه‌ی انرژی، در سال  $2009$  مصرف انرژی الکتریکی در بخش خانگی، عمومی و تجاری نسبت به بخش صنعتی  $1/54$  برابر است، بنابراین تلفات بخش توزیع به همان نسبت از بخش صنعتی بیش‌تر است. بنا به دلایل فوق، در سناریوهای CFL، EV و ES، تلفیق مدیریت سمت عرضه و تقاضا پیشنهاد می‌شود که در قالب تبدیل نیروگاه‌های توربین گاز به سیکل ترکیبی و افزایش بازدهی آن‌ها از  $25\%$  به حدود  $50\%$  و نیز ورود نیروگاه‌های هسته‌ای انجام گرفته است. در صورت ارائه‌ی سناریویی در سمت مصرف‌کننده و جایگزینی حامل ثانویه‌ی برق با حامل‌های اولیه‌ی نفت و گاز طبیعی، صرفه‌جویی نهایی در انرژی کل مصرفی مشاهده نخواهد شد، مگر آن که بازدهی ادوات برقی جدید نسبت به بازدهی ادوات قبلی آن قدر بالا باشد که پایین بودن بازدهی نیروگاه‌ها و شبکه‌ی انتقال و توزیع را جبران کند.

۶- اعداد جدول (۶) نشان می‌دهد که ورود زغال‌سنگ به عرصه‌ی تولید برق، می‌تواند در حفظ منابع نفت و گاز کشور نقش به‌سزایی داشته باشد و با اجرای این سناریو زمان تخلیه‌ی آن‌ها به تعویق خواهد افتاد.

به منظور بهبود عملکرد سیستم انرژی و افزودن برخی توانمندی‌های مدل LEAP، در زیر پیشنهادهای ارائه شده است:

(آ) تبدیل نیروگاه‌های توربین گازی به سیکل ترکیبی: با توجه به سهم ۲۵/۴٪ نیروگاه‌های توربین گازی کشور در تولید انرژی الکتریکی، با تبدیل این نیروگاه‌ها از وضع موجود با بازدهی حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد به تکنولوژی سیکل ترکیبی با بازدهی حدود ۴۰ تا ۴۵ درصد، برای تولید همان میزان انرژی الکتریکی، سوخت مورد نیاز به حدود نصف تقلیل می‌یابد.

(ب) بهبود راندمان نیروگاه‌های حرارتی: از آن‌جا که نیروگاه‌های سوخت فسیلی با سوخت‌هایی با ترکیبات شیمیایی متفاوت تغذیه می‌شوند، نسبت هوا به سوخت، پارامتر مهمی در بازدهی آن‌هاست. اصلاح سیستم دمپر هوا در بویلر، استفاده از سیستم نمونه برداری هوشمند سوخت ورودی و تنظیم هوای مورد نیاز، می‌تواند بازده را افزایش دهد. در مورد نیروگاه‌های زغال‌سنگی، با پودر کردن<sup>۱</sup> سوخت جامد و ترکیب آن با هوای مورد نیاز و پیش گرم کردن آن می‌توان به احتراق کامل سوخت در بویلر کمک کرد.

(پ) استفاده از نیروگاه‌های مقیاس کوچک (تولید پراکنده) در شبکه‌ی توزیع: به‌کارگیری واحدهای تولید پراکنده در سیستم انرژی کشور می‌تواند به کاهش تلفات انتقال و توزیع و آزاد سازی ظرفیت خطوط انتقال منجر شود.

(ت) می‌توان رسم RES شامل اعداد را به توانمندی‌های LEAP افزود تا جایابی خطا در ورود اطلاعات به آن را تسهیل کرد.

(ث) تأثیر یارانه‌های انرژی به عنوان پارامتر تصمیم‌سازی در برنامه‌ریزی انرژی می‌تواند در محاسبات LEAP لحاظ شود.

(ج) هزینه‌های اجتماعی، هزینه‌هایی است که اثرات تخریب‌کننده یا سوء یک آلاینده یا فعالیت بر محصولات کشاورزی، اکوسیستم‌ها، مواد و سلامت انسان را برآورد

می‌کند<sup>۱</sup>. به عبارت دیگر مجموع پولی است که بتواند صدمات ناشی از انتشار مواد آلاینده و GHG را جبران کند. محاسبات مربوط به این هزینه‌ها می‌تواند در LEAP لحاظ شود. (چ) می‌توان امکان محاسبه‌ی هزینه‌های انتقال و توزیع را به LEAP افزود.

### فهرست منابع

- Amjadi, M.H., Nezamabadi-pour, H., Farsangi, M.M., (2010). Estimation of electricity demand of Iran using two heuristic algorithms. *Energy Conversion and Management*, 51, 493–497.
- Apergis, N., Payne., J.E., (2009). Energy consumption and economic growth: Evidence from the Commonwealth of Independent States. *Energy Economics*, 31, 641–647.
- Ardehali, M.M., (2006). Rural energy development in Iran: Non-renewable and renewable resources. *Renewable Energy*, 31, 655–662.
- Assareh, E., Behrang, M.A., Assari, M.R., Ghanbarzadeh, A., (2010). Application of PSO (particle swarm optimization) and GA (genetic algorithm) techniques on demand estimation of oil in Iran. *Energy*, 35, 5223-5229.
- Azadeh, A., Ghaderi, S.F., Sohrabkhani, S., (2008). A Simulated-Based Neural Network Algorithm for Forecasting Electrical Energy Consumption in Iran. *Energy Policy*, 36, 2637– 2644.
- Bianco, V., Manca, O., Nardini, S., (2009). Electricity consumption forecasting in Italy using linear regression models. *Energy*, 34, 1413–1421.
- Bianco, V., Manca, O., Nardini, S., Minea A.A., (2010). Analysis and forecasting of nonresidential electricity consumption in Romania. *Applied Energy*, 87, 3584–3590.
- Carbon Tax Centre, pricing carbon efficiently and equitably, <[www.carbontax.org](http://www.carbontax.org)>.
- Chung K.L., (1979). *Elementary Probability Theory with Stochastic Process*, second ed. Springer-Verlag.
- Community for Energy, Environment and Development (COMMEND), <[www.energycommunity.org](http://www.energycommunity.org)>, Training Exercises.

1- Iran's Energy Balance Sheet; 2009.



Conference of the parties., (1997). Report of the conference of the parties on its third session. Held at Kyoto. United Nation.

Daniel, J., Dicorato, M., Forte, G., Iniyar, S., Trovato, M., (2009). A methodology for the electrical energy system planning of Tamil Nadu state (India). *Energy Policy* 37, 904–914.

Darmstadter, J., (2004). Energy and Population. In: *Encyclopedia of Population*, Vol. 1, edited by: Demeny, P., McNicoll, G., Published by Macmillan Reference USA.

Davoudpour, H., Ahadi, M.S., (2006). The potential for greenhouse gases mitigation in household sector of Iran: cases of price reform/efficiency improvement and scenario for 2000–2010. *Energy Policy*, 34, 40–49.

De Carmoy, G., (1974). Energy and development policies in Iran: a western view. *Energy Policy*, 293-306.

European Commission Mobility and Transport, <[http://ec.europa.eu/transport/urban/vehicles/road/electric\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/urban/vehicles/road/electric_en.htm)>.

Fallahi, F., Hashemi Dizaj, A., (2010). Energy consumption-GDP relation in Iran: A Markov Switching approach. *Quarterly Energy Economics Review*, vol. 7, No. 26, Autumn 2010, 131-152.

Forouzanfar, M., Doustmohammadi, A., Menhaj, M.B., Hasanzadeh, S., (2010). Modeling and Estimation of the Natural Gas Consumption for Residential and Commercial Sectors in Iran. *Applied Energy*, 87, 268–274.

Hiremath, R.B., Kumar, B., Balachandra, P., Ravindranath, N.H., (2010). Bottom-up approach for decentralised energy planning: Case study of Tumkur district in India. *Energy Policy* 38, 862–874.

Hosseini, R., Soltani, M., Valizadeh, G. (2004). Technical and economic assessment of the integrated solar combined cycle power plants in Iran. *Renewable Energy*, 30, 1541–1555.

Howells, M., Victor, D.G., Gaunt, T., Elias, R.J., Alfstad, T., (2006). Beyond free electricity: The costs of electric cooking in poor households and a market-friendly alternative. *Energy Policy*, 34, 3351-3358.

Hu, J.L., Lin, C.H., (2008). Disaggregated energy consumption and GDP in Taiwan: A threshold co-integration analysis. *Energy Economics*, 30, 2342–2358.

Inglesi, R., (2010). Aggregate electricity demand in South Africa: Conditional forecasts to 2030. *Applied Energy*, 87, 197–204.

International Atomic Energy Agency, Publications, I.R.Iran; updated on Dec. (2007). <http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/cnpp2007/countryprofiles/Iran/Iran2007.htm>.

Iran ministry of energy, TAVANIR <[http://news.tavanir.org.ir/press/press\\_detail.php?id=22103](http://news.tavanir.org.ir/press/press_detail.php?id=22103)>.

Iran energy balance sheet; (2009), <<http://www.iranenergy.org.ir/>>.

Jafari, H.H., Baratimalayeri, A., (2008). The Crisis of Gasoline Consumption in the Iran's Transportation Sector. *Energy Policy*, 36, 2536–2543.

Kamran Azadi, A., Yarmohammad, M.H., (2011). Analysis of Iran crude oil export future capacity. *Energy Policy*, 39, 3316–3326.

Kiani, B., Pourfakhraei, M.A., (2010). A system dynamic model for production and consumption policy in Iran oil and gas sector. *Energy Policy*, 38, 7764–7774.

Lee, C.C., Chang, C.P., (2008). Energy consumption and economic growth in Asian economies: A more comprehensive analysis using panel data. *Resource and Energy Economics*, 30, 50–65.

Li, G.D., Yamaguchi, D., Lin, H.S., Nagai, M., (2006). The Simulation modeling about the developments of GDP, population and primary energy consumption in China based on MATLAB. *IEEE*, 499–504.

Lotfalipour, M.R., Falahi, M.A., Ashena, M., (2010). Economic growth, CO<sub>2</sub> emissions, and fossil fuels consumption in Iran. *Energy*, 35, 5115–5120.

Miranda, L.C.M., Lima, C.A.S., (2010). On the logistic modeling and forecasting of evolutionary processes: Application to human population dynamics. *Technological Forecasting & Social Change*, 77, 699–711.

Nazari, M.E., Ardehali, M.M., Jafari, S., (2010). Pumped-storage unit commitment with considerations for energy demand, economics, and environmental constraints. *Energy*, 35, 4092–4101.

NIOC: National Iranian Oil Company; IFCO: Iranian fuel conservation company: <[http://www.ifco.ir/building/standard/standard\\_homeapp.asp](http://www.ifco.ir/building/standard/standard_homeapp.asp)>.

Nuclear Efficiency: Martin Volkmer : Kernenergie basiswissen. Informationskreis Kernenergie, Berlin June 2007.

OSRAM GmbH, (2007), Indoor and outdoor lighting 2006|2007, Germany. section 3, CFL, page 3.03.

Ouédraogo, I.M., (2010). Electricity consumption and economic growth in Burkina Faso: A cointegration analysis. *Energy Economics*, 32, 524–531.

Rachmatullah, C., Aye, L., Fuller, R.J., (2007). Scenario planning for the electricity generation in Indonesia. *Energy Policy* 35, 2352–2359.

Rouzbehan, M., (2005). *Macro Economy Theory*, fourth ed. Taban, Tehran.

Sadegh Zadeh, S.M., (2007). An energy efficiency plan for the Iranian building sub-sector. *Energy Policy*, 35, 1164–1171.

Sadeghi, M., Hosseini, H.M., (2008). Integrated energy planning for transportation sector: A case study for Iran with techno-economic approach. *Energy Policy*, 36, 850–866.

Shabbir, R., Ahmad, S.S., (2010). Monitoring Urban Transport Air Pollution and Energy Demand in Rawalpindi and Islamabad Using Leap Model, *Energy*, 35, 2323-2332.

Sharifyazdi, A., Mirzazadeh, M.H., Radayi, M.H., The third national energy conference of Iran, assessment of economic effects of incandescent lamps replacement with the CFL. YzREC, Yazd Distribution Electricity Company.

Shrestha, R.M., Bhattarai, G.B., (1995). Utility planning implications of efficient electric cooking in a developing country: Case of Nepal. *Energy*, 20, 195-203.

SIEMENS, Combined Cycle Power Plants, <<http://www.energy.siemens.com/us/en/power-generation/power-plants/gas-fired-power-plants/combined-cycle-power-plant-concept/scc5-4000f-1s.htm>>.

Sohaili, K., (2010a). The effect of determining gasoline price according to market mechanism on environment pollution (case study of Iran). *International Society for Environmental Information Sciences 2010 Annual Conference (ISEIS), Procedia Environmental Sciences* 2, 270–273.

Sohaili, K., (2010b). Analysis of electricity subsidies removing in Iran on air pollution by Using of VECM. *International Society for Environmental Information Sciences 2010 Annual Conference (ISEIS), Procedia Environmental Sciences* 2, 252–255.

Sotudeh Nia, A., (1977). Implementation of Nuclear Energy in Iran. *Annals of Nuclear Energy*, Vol.4 pp. 279-282.

Sozen, A., Arcaklioglu, E., (2007). Prediction of net energy consumption based on economic indicators (GNP and GDP) in Turkey. *Energy Policy*, 35, 4981–4992.

Squalli, J., (2007). Electricity consumption and economic growth: Bounds and causality analyses of OPEC members. *Energy Economics*, 29, 1192–1205.

The Smithsonian/NASA astrophysics data system, reference energy system methodology, Beller, M.  
<<http://adsabs.harvard.edu/abs/1976STIN...7717574B/>>.

Tichi, S.G., Ardehali, M.M., Nazari, M.E., (2010). Examination of energy price policies in Iran for optimal configuration of CHP and CCHP systems based on particle swarm optimization algorithm. *Energy Policy*, 38, 1-11.

Tsani, S.Z., (2010). Energy consumption and economic growth: A causality analysis for Greece. *Energy Economics*, 32, 582–590.

U.S. Energy Information Administration, Country Analysis Briefs/, (2010), <<http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/>>.

US department of energy, (2008), website: < <http://www1.eere.energy.gov> >, <[http://www1.eere.energy.gov/buildings/appliance\\_standards/residential/pdfs/home\\_appliances\\_tsd/appendix\\_6a.pdf](http://www1.eere.energy.gov/buildings/appliance_standards/residential/pdfs/home_appliances_tsd/appendix_6a.pdf)>.

Vojdani, S., Woolam, V.J., (1979). Solar Thermal Electrical Power Plants for Iran. *Solar Energy*, Vol. 22, pp. 205-210.

Wang, Y., Gu, A., Zhang, A., (2010). Recent development of energy supply and demand in China, and energy sector prospects through 2030. *Energy Policy*.

Yophy, H., Jeffrey, B.Y., Chieh-Yu, P., (2010). The long-term forecast of Taiwan's energy supply and demand: LEAP model application. *Energy Policy*.

Zamani, M., (2007). Energy consumption and economic activities in Iran. *Energy Economics*, 29, 1135–1140.