پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران
سال هشتم، شماره ۲۹، زمستان ۱۳۹۷ صفحات ۱۲۹-۱۰۳

شبیه‌سازی ترازنامهٔ انرژی ایران برای سال ۱۴۲۰ و طراحی سناریوهای مدیریت طرف تقاضا و عرضه با استفاده از مدل‌ساز LEAP [1]

شاکر محمدی [2]
علی امامی میبدی [3]
افشین جوان [4]
امیرحسین فاکهی [5]

تاریخ دریافت:۱۳۹۸/۰۲/۰۶ تاریخ پذیرش:۱۳۹۸/۰۳/۲۷

چکیده:

نیاز به برنامه‌ریزی بلندمدت در بخش انرژی و بهره‌گیری از ابزارهای طراحی سیاست‌گذاری در این بخش از موضوعات مهم و راهبردی کشور به شمار می‌رود. هدف اصلی در این مقاله اندازه‌گیری مقدار عرضه و تقاضای انرژی در بازهٔ زمانی ۱۴۲۰-۱۳۹۳ در سناریو مرجع و سناریوهای سیاست‌گذاری و محاسبهٔ میزان صرفه‌جویی نفت و گاز تحت سناریوهای جدید مدیریت عرضه (بخش تبدیل انرژی) و تقاضا نسبت به سناریو مرجع است. نتایج حاصل از مدل‌سازی در زیر بخش‌های مختلف انرژی بیانگر رشد فزایندهٔ تقاضای انرژی از ۱۳۲۱ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۳۹۳ به ۲۴۷۱/۳ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۴۲۰ می‌باشد. با تعریف سناریوهای جدید و اتخاذ سیاست‌های مدیریت سمت تقاضا و عرضه، مقدار صرفه‌جویی در تولید نفت خام در سال افق برنامه‌ریزی به ۷۰۲/۱۱۹ میلیون بشکه معادل نفت خام می‌رسد که از میزان صادرات نفت خام سال پایه بیشتر بوده که می‌تواند به سرجمع صادرات نفت خام در سال افق برنامه‌ریزی اضافه شود. این نتیجه‌گیری حرکت به سمت بهره‌گیری از سیاست‌های مدیریت تقاضا و عرضهٔ انرژی (بخش تبدیل انرژی) و هم چنین جایگزین کردن انرژی‌های تجدیدپذیر بادی و خورشیدی به جای سوخت‌های فسیلی را نمایان می‌سازد.

طبقه‌بندی JEL: Q41 ، D12

کلیدواژه‌ها: شبیه‌سازی، ترازنامه انرژی، مدل‌ساز Leap، سناریو مرجع

---

1 Long-Range Energy Alternatives Program System

۲. دانشجوی دکتری اقتصاد نفت و گاز، دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبائی sh.mohamadi@ilam.ac.ir
۳. دانشیار و عضو هیئت علمی دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی (نویسنده مسئول) ali_meibodi@yahoo.com
۴. تحلیل‌گر مدل‌سازی انرژی، دبیرخانه اوپک ajavan@opec.org
۵. کارشناس انرژی شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور fakehi@yahoo.com

۱. مقدمه

بخش انرژی با توجه به نقش دوگانهٔ آن در خصوص تأمین انرژی و درآمد ارزی در کشور ایران، زیر بنای توسعه به شمار می‌آید. عموماً تصمیم‌گیران این بخش برای دستیابی به رهیافتی که بتواند بازخوردهای متفاوت سیاست‌های مورد نظر را تحلیل نمایند نیازمند توسعهٔ مدل‌های مختلف هستند .

ایران به عنوان کشوری که ۱۰/۵٪ از ذخایر نفت خام جهان و ۱۸/۵٪ ذخایر گاز دنیا را در اختیار دارد، از طرف دیگر ۱۵/۳٪ از تولید ناخالص ملی کشور و ۵۶٪ از درآمد ارزی ایران حاصل صادرات نفتی است[۱]. برای کنترل میزان انرژی مصرفی خود که بیش از نیمی از تولید معادل ۷۳/۲۲ ٪[۲] است، نیازمند برنامه‌ریزی انرژی با رویکرد بررسی سناریوهای ممکن در طرف عرضه و تقاضا در بخش انرژی است. از طرف دیگر امروز گاز طبیعی نزدیک به ۲۵٪ انرژی جهان را تأمین می‌کند. با در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی و کاهش ذخایر نفتی جهان سهم این سوخت در سبد مصرف انرژی جهان نیز در حال افزایش است

با توجه به اهمیت این دو حامل انرژی فسیلی (نفت خام و گاز طبیعی) در فرایند توسعهٔ کشور، مصرف انرژی در کشور ایران بی‌رویه بوده و شاخص شدت مصرف انرژی[۳] در کشور بسیار نامطلوب است. کل انرژی مصرفی در کشور روزانه حدود ۴/۲ میلیون بشکه معادل نفت خام است که با قیمت‌های جهانی ارزش سالیانهٔ آن حدود ۱۰۰ میلیارد دلار است. این مقدار از مصرف انرژی در ایران (۴/۲ میلیون بشکه معادل نفت خام در روز) بدون صادرات نفت خام بوده در حالی که با صادرات نفت خام به ۶/۸ میلیون بشکه در روز می‌رسد که این میزان مصرف انرژی نسبت به کشورهای صنعتی و

---

۱. گزارش اقتصادی و ترازنامه بانک مرکزی - ۱۳۹۳

۲. ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۳

۳- نسبت مقدار مصرف انرژی بر GDP تعریف می‌شود.

حتی کشورهای در حال توسعه بیشتر است[۱]. چنین میزانی از مصرف انرژی با هیچ یک از شاخص‌های اقتصادی مطابقت ندارد.

از سوی دیگر میزان بهره‌وری انرژی[۲] در کشور نسبت به متوسط جهانی پایین است. مقدار آن در ایران معادل ۲۳۸ دلار است یعنی با مصرف هر بشکه معادل نفت انرژی ۲۳۸ دلار تولید ناخالص داخلی ایجاد می‌شود در حالی که میانگین جهانی این شاخص ۷۳۶ دلار بوده و در اتحادیهٔ اروپا این شاخص ۱۴۵۲ دلار است.

با توجه به موارد گفته شده در بالا و هم چنین دستیابی به هدف صرفه‌جویی و کاهش هزینه‌ها در بخش انرژی و گسترش روزافزون نیازهای کشور در بخش‌های مختلف مصرف مانند بخش خانگی، تجاری و عمومی، حمل و نقل، صنعت، کشاورزی و بخش مصارف غیر انرژی به حامل‌های انرژی، برنامه‌ریزی برای مدیریت تقاضا و عرضه در بخش انرژی بسیار حائز اهمیت خواهد بود.

چون موضوع مورد بررسی اکتشافی است فرضیه برای این تحقیق تعریف نشده است اما مسئلهٔ اصلی در این تحقیق که به آن پرداخته می‌شود؛ بررسی کاهش سهم سوخت‌های فسیلی نفت خام و گاز طبیعی در بخش حمل و نقل و خوراک نیروگاهی و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر بادی و خورشیدی و هسته‌ای است که در قالب دو پرسش زیر می‌خواهیم به آن پاسخ دهیم.

۱) اندازه‌گیری مقدار تقاضا و عرضهٔ انرژی (تراز انرژی) در سناریو مرجع و افق برنامه‌ریزی و

۲) محاسبهٔ میزان صرفه‌جویی در مقدار نفت و گاز تحت سناریوهای مدیریت تقاضا و عرضه نسبت به سناریو مرجع

مقالهٔ حاضر مشتمل بر هشت بخش است. بخش اول مقدمه، بخش دوم ادبیات نظری و پیشینهٔ تجربی موضوع، بخش سوم روش پژوهش، بخش چهارم فرمول‌بندی ماتریسی

۱- بانک مرکزی دایره نیرو- ۱۳۸۹

۲- نسبت GDP به مقدار مصرف انرژی تعریف می‌شود.

سیستم انرژی در ایران، بخش پنجم شبیه‌سازی ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۳ با نرم‌افزار لیپ را شامل می‌شود. بخش ششم ایجاد و بررسی سناریو انرژی مرجع در ایران برای سال افق برنامه‌ریزی (۱۴۲۰) را تحلیل می‌کند. در بخش هفتم ارزیابی سناریوهای سیاست‌گذاری و مقایسهٔ آنها با سناریو مرجع انرژی در ایران را بررسی می‌کند. و در بخش پایانی نتایج و ارایه پیشنهادها آمده است.

۲. مبانی نظری و پیشینهٔ پژوهش

دیدگاه‌های متفاوتی نسبت به نقش انرژی در رشد اقتصادی وجود دارد. اما به طور کلی می‌توان بین دو دیدگاه در رابطه با جایگاه انرژی در تابع تولید و رشد اقتصادی تمایز قائل شد؛ دیدگاه اول به اقتصاددانان بیولوژیست و دیدگاه دوم به اقتصاددانان نئوکلاسیک مربوط می‌شود.

اقتصاددانان بیولوژیست یک مدل بیوفیزیکی برای رشد اقتصادی قائل هستند. این گروه معتقدند انرژی تنها عامل و مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر رشد اقتصادی است و در تبیین دیدگاه خود، از اصل اول ترمودینامیک بهره می‌گیرند. طبق این اصل انرژی در طبیعت میزان ثابتی دارد و جبران‌ناپذیر است و می‌تواند به ماده تبدیل شود ولی به هیچ وجه از بین نمی‌رود. تمامی کالاهای تولید شده در اقتصاد از انرژی به دست می‌آیند. به طور کلی آن چه در اقتصاد به کالا تبدیل می‌شود، ناشی از انرژی به کار گرفته شده از طبیعت است. این گروه از اقتصاددانان که نهادهٔ انرژی را در تابع رشد مسلط می‌دانند، اقتصاددانان اکولوژیست یا بوم‌شناس می‌نامند (اوکول (۲۰۰۸)[1])

اما برخی دیگر از اقتصاددانان از جمله نئوکلاسیک‌ها اعتقاد دارند که انرژی نقش نسبتاً کوچکی در تولید اقتصادی دارد و یک نهادهٔ واسطه‌ای است که با نهادهٔ نیروی کار، سرمایه و زمین برای تولید ترکیب می‌شود. اما پس از بحران نفتی دههٔ ۱۹۷۰، اکثر

1.Ockwell (2008)

اقتصاددانان مانند هامیلتون، بارپیج، و هاریسون، نقش بزرگتری را برای انرژی قائل شده‌اند و در مطالعات زیادی اثر مصرف انرژی یا قیمت‌های آن را بر روی محصول اقتصادی در چارچوب مدل‌های رشد اقتصادی مورد ارزیابی قرار دادند (همتی، ۱۳۸۳، ۶۸).

استیگلتز[1] (۱۹۷۴) به نقل از اقتصاددانان نئوکلاسیک با اشاره به امکان جانشینی میان عوامل تولید بیان می‌کند که پیشرفت دانش و تکنولوزی از طریق افزایش بهره‌وری در سرمایه و نیروی کار، نیاز به مصرف انرژی در فرآیند تولید را کاهش خواهد داد. از این رو، فرآیند رشد و تولید اقتصادی با وجود محدودیت در ذخایر انرژی امکان‌پذیر است. در این رابطه برنت و وود[2] (۱۹۷۸) بیان می‌کنند انرژی به عنوان نهادهٔ واسطه‌ای و به منظور بکارگیری سرمایه در فرآیند تولید مورد استفاده قرار می‌گیرد که با افزایش بهره‌وری در سرمایه و رشد تکنولوژی نیاز به نهادهٔ انرژی کاهش می‌یابد. بنابراین انرژی رابطهٔ ضعیف و تفکیک‌پذیری با نهادهٔ نیروی کار دارد و به عنوان یک عامل مؤثر و ضروری در رشد اقتصادی مطرح نمی‌شود. از این رو از دیدگاه نئوکلاسیک‌ها، انرژی عامل محرک رشد اقتصادی نیست، بلکه رشد اقتصادی میزان تقاضا و مصرف انرژی را تعیین می‌کند. بدین جهت سیاست‌های تهدیدکنندهٔ مصرف انرژی به عنوان عامل بازدارندهٔ رشد اقتصادی محسوب نمی‌گردد.

در کنار نظریات مطرح شده پیندیک[3] (۱۹۷۹) معتقد است نحوهٔ اثرگذاری قیمت انرژی بر تولید به نقش انرژی در ساختار تولید بستگی دارد. از این رو در صنایعی که انرژی به عنوان نهادهٔ واسطه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد، افزایش قیمت انرژی که به

1.Stiglitz (1974)
2.Berndt and Wood (1978)
3 Pindyck (1979)

دنبال خود کاهش در مصرف را به همراه دارد، از کانال تغییر امکانات و ترکیبات تولید منجر به کاهش میزان تولید خواهد شد.

در داخل و خارج کشور در حوزهٔ برنامه‌ریزی بر اساس مدل سیستم انرژی مرجع مطالعات زیادی انجام شده است که به پاره‌ای از آنها به شرح زیر خواهیم پرداخت.

اشراقی و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعهٔ خود با عنوان «شبیه‌سازی تقاضا و عرضهٔ حامل‌های انرژی تا سال ۲۰۳۵ در ایران با استفاده از مدل‌ساز LEAP» با طراحی دو سناریو یکی ادامهٔ روند پیشین و دیگری استفاده از ۱۰ گیگا وات ظرفیت نیروگاه‌های حرارتی- خورشیدی (CSP[1]) تا سال ۲۰۳۵، به این نتیجه رسیدند که نصب این میزان از واحدهای CSP، در مجموع سبب جلوگیری از انتشار ۱۵۳ میلیون تن دی اکسید کربن شده و منافعی را از نقطه نظر ایجاد هزینه فرصت صادرات گازوئیل و گاز طبیعی نصیب کشور می‌کند.

اردهالی و همکاران (۱۳۹۰) در مقالهٔ خود تحت عنوان «بررسی اثر روش‌های مدیریت در بخش‌های تقاضا و عرضه بر برنامه‌ریزی انرژی بلندمدت» به منظور دست یابی به هدف مطالعه، سناریوهای (آ) جایگزینی لامپ‌های کم توان، (ب) جایگزینی اجاق‌های الکتریکی، و (پ) ورود خودروهای الکتریکی به عرصهٔ، همگی در کنار تبدیل نیروگاه‌های توربین گازی به سیکل ترکیبی و ورود نیروگاه هسته‌ای مورد بررسی قرار گرفته‌اند و نتایج آنها نشان می‌دهد که بر اساس روش پیش‌بینی ANN-GM)، تا پایان سال ۲۰۳۰، به ترتیب به میزان ۲۶۳۴/۵، ۲۱۷۰/۲ و ۲۵۵۳/۹ میلیون بشکه نفت خام در مقایسه با ادامهٔ وضع موجود، صرفه‌جویی ایجاد می‌شود. هم چنین در مدت زمان مشابه، سناریوی ورود سوخت زغال سنگ به شبکه تولید برق نیز به اندازهٔ ۲۴۴۰/۸

1 Concentration Solar Power

میلیون بشکه نفت خام برداشت از منابع نفت و گاز را کاهش می‌دهد. مقادیر فوق به ترتیب ۱/۸۵، ۱/۵۲، ۱/۸، ۱/۷۲ برابر میزان انرژی اولیهٔ کل در ایران در سال ۲۰۰۹ هستند.

امامی میبدی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعهٔ خود تحت عنوان «بررسی تبدیل نیروگاه‌های گازی ساده به چرخهٔ ترکیبی و تأثیر آن بر میزان مصرف سوخت‌های فسیلی» به مقایسهٔ بین مولدهای چرخهٔ ترکیبی با مولدهای گازی ساده پرداخته است. نتیجه این که مولدهای چرخهٔ ترکیبی دارای راندمان بالاتر یا مصرف سوخت کمتری دارند. و با فرض تبدیل کلیهٔ مولدهای گازی به چرخهٔ ترکیبی، سالانه تقریباً معادل ۳/۵ میلیارد متر مکعب در مصرف گاز طبیعی صرفه‌جویی خواهد شد.

مرادی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهش خود با عنوان «توسعهٔ مدل تقاضای انرژی در سطح ملی با استفاده از مدل‌ساز LEAP»، روند تقاضای انرژی در زیر بخش‌های خانگی، تجاری و خدمات عمومی، صنعت، حمل و نقل، کشاورزی و روشنایی معابر با استفاده از مدلساز لیپ مورد بررسی و تحلیل قرار داده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که رشد فزاینده تقاضای انرژی در زیربخش‌های مختلف در رشد اقتصادی مورد نظر بوده و ارتباط این دو، حرکت به سمت بهره‌گیری بهینه از منابع را ضرورتی انکارناپذیر می‌داند.

یوفی و همکاران (۲۰۱۰) به کمک مدل LEAP، به پیش‌بینی بلندمدت عرضه و تقاضای انرژی در کشور تایوان پرداخته‌اند. در این مطالعه چهار سناریو در کنار سناریوی ادامهٔ وضع موجود بررسی شده‌اند: (آ) کاهش شدت انرژی سالانه به میزان ۲۰٪ در نتیجهٔ افزایش بازدهی‌ها تا پایان سال ۲۰۲۵، (ب) تأثیراتی که کاهش نرخ رشد اقتصادی تایوان در تقاضای انرژی آیندهٔ این کشور به همراه دارد، (پ) احتمال خروج دائمی نیروگاه‌های هسته‌ای تا سال ۲۰۲۵ و (ت) بکارگیری تمامی سناریوهای فوق به طور همزمان که منجر به صرفه‌جویی ۳۷۷/۸ میلیارد کالری (۲۷۲ میلیون بشکه معادل نفت خام) در بخش تقاضا و ۲۵۹/۳ میلیارد کالری (۱۷۶/۷ میلیون بشکه معادل نفت خام) در بخش تبدیل انرژی و کاهش تولید دی‌اکسیدکربن به اندازهٔ ۱۱۱ میلیون تن می‌شود..

وانگ و همکاران (۲۰۱۰) با مطالعهٔ توسعهٔ بخش‌های تقاضا و عرضهٔ انرژی در سال‌های اخیر کشور چین، با استفاده از مدل LEAP، به تصویر دورنماهای بخش انرژی تا سال ۲۰۳۰ در آن کشور پرداخته‌اند. از جمله سیاست‌های معرفی شده در آن مطالعه، اختصاص درصدهایی از مصرف انرژی الکتریکی کشور چین به منابع تجدیدپذیر و واحدهای هسته‌ای، ساخت مخازن ذخیرهٔ 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 عرصهٔ حمل و نقل را می‌توان بر شمرد. نتیجه‌گیری آن مطالعه نشان می‌دهد که با وجود توسعهٔ نیروگاه‌های هسته‌ای و بکارگیری منابع تجدیدپذیر، تا سال ۲۰۲۰ کماکان ۴۳٪ از تولید برق در کشور چین توسط سوخت زغال سنگ انجام خواهد شد که در این حالت آثار مخرب زیست‌محیطی زیادی بر جای خواهد گذاشت.

از ویژگی‌های مقالهٔ حاضر نسبت به سایر مطالعات در حوزهٔ انرژی می‌توان چنین بیان کرد که در مطالعات پیشین عمده پیش‌بینی‌ها در حوزهٔ تولید برق بر اساس سناریوهای جدید با تکیه بر فناوری‌های جدید در حوزهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر مانند بادی، خورشیدی و هسته‌ای بوده و عمدتاً در بخش میانی زنجیرهٔ انرژی یعنی بخش تبدیل انجام گرفته است. اما در مطالعهٔ حاضر سناریوهای جدید در دو بخش زنجیرهٔ انرژی یعنی بخش تقاضا و بخش تبدیل انرژی (بخش نیروگاهی و پالایشگاهی) انجام گرفته است و تأکید بر جایگزینی گاز طبیعی و برق در بخش تقاضا (حمل و نقل) و انرژی‌های تجدیدپذیر بادی و خورشیدی و گاز طبیعی به جای نفت خام در بخش نیروگاهی دارد.

۳. روش‌پژوهش

۳-۱. کلیات مدل‌سازی

مدل‌سازی تقاضای انرژی ایران با ویژگی‌های چند بخشی، چند حاملی و بلندمدت انجام می‌شود؛ که تلفیقی از روش‌های مختلف برآورد تقاضا با استفاده از مدل‌های آماری، اقتصادسنجی و شبیه‌سازی فنی و مهندسی در گروه‌های منتخب و بر اساس نیازها و

بخش‌های مختلف مصرف‌کنندهٔ انرژی تا افق ۱۴۲۰ تحت سناریوهای منتخب و منطقی انجام خواهد گرفت. بخش تقاضا به ۵ بخش اصلی خانگی، عمومی و تجاری، صنعت، حمل و نقل، کشاورزی و مصارف غیرانرژی تقسیم می‌شود که هر کدام از این بخش‌ها به زیربخش‌ها و در نهایت به فناوری ختم می‌گردند. در مدل‌های تقاضای انرژی هر فعالیتی متأثر از دو عامل است؛ سطح فعالیت و شدت مصرف انرژی یعنی:

$$E = AL \times EL \qquad (۱)$$

AL[1]= سطح فعالیت

EI[2]= شدت انرژی

بخش عرضه از شاخه‌های ویژه موسوم به ماژول‌ها جهت مدل‌کردن عرضه انرژی و بخش‌های تبدیل نظیر تولید برق، تولید نفت، گاز طبیعی، تولید نفت خام و پالایش فرآورده‌های نفتی، انتقال و توزیع استفاده می‌کند. هر ماژولی محتوی یک یا چند فرآیند است که یک فناوری منفرد نظیر نوع ویژه‌ای از نیروگاه برق یا پالایشگاه نفت یا تولید یک یا چند سوخت خروجی را نشان می‌دهد. این فرآورده‌ها، انرژی تولید شده توسط ماژول را نمایش می‌دهند.

پیکربندی سمت عرضه نیز بر اساس نیازی که بر روی هر ماژول است، تعیین می‌شود. این نیاز از بخش‌های مختلف سمت تقاضا و نیز ماژوهای پایین‌دستی هر ماژول خاص نشأت می‌گیرد و با مقادیر صادرات و واردات به تعادل می‌رسد.

مدل‌های فنی- اقتصادی تفصیلی‌تر از مدل‌های اقتصادسنجی است. زیرا در مدل‌های اقتصادسنجی پیش‌بینی آینده با استفاده از روند گذشته انجام می‌پذیرد، میزان بهینهٔ مصرف و تقاضای انرژی مشخص نیست و از طرف دیگر نقاط شکست که خطاها را افزایش می‌دهد در پاره‌ای موارد مشخص نیستند.

---

1 Activity Level
2 Energy Intensity

در مدل‌های فنی- اقتصادی هدف اولیهٔ آنها پیش‌بینی روند تقاضای انرژی به تفکیک بخش‌ها و زیر بخش‌ها با لحاظ کردن شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی، جمعیتی و فنی است. بنابراین این مدل‌ها بر مطالعات و تحقیقات اقتصادی، فنی و مهندسی و حسابداری انرژی استوار است. به همین دلیل، طراحی و بهره‌گیری از این روش‌ها در شبیه‌سازی تقاضای انرژی مستلزم آگاهی بر علوم اقتصادی، فنی و مهندسی و انرژی است.

سیستم برنامه‌ریزی جایگزین‌های انرژی بلند مدت (لیپ)، ابزار مدل‌سازی جامع انرژی- اقتصاد و محیط زیست بر اساس سناریوهاست. سناریوها بر اساس چگونگی ساختار مصرف، تبدیل و تولید انرژی در منطقه یا اقتصاد خاصی بر اساس متغیرهای جمعیت، توسعه اقتصادی، فناوری، قیمت، هزینه سرمایه‌گذاری و ... طراحی می‌شوند. این مدل‌ساز، به دلیل ساختار داده‌های انعطاف پذیر، امکان تجزیه و تحلیل قدرتمند مشخصه‌های فناوری و جزئیات مصارف نهایی را بر اساس انتخاب کاربران فراهم می‌کند (مؤسسه محیط زیست استکهلم[1]، ۲۰۱۱). از این رو از آن به عنوان ابزار پیش‌بینی که کاربران را قادر می‌سازد تا عرضه و تقاضای انرژی را در افق برنامه‌ریزی پیش‌بینی نمایند، استفاده می‌شود

٤. فرمول‌بندی ماتریسی سیستم انرژی در ایران

در این بخش، سیستم انرژی کشور فرمول‌بندی ماتریسی می‌شود. ایدهٔ اصلی فرمول‌بندی ماتریسی ایجاد برش‌های عمودی در سیستم انرژی است. مقادیر ماتریس‌ها با استفاده از ترازنامه انرژی ایران در سال **۱۳۹۳** (سال صفر برنامه‌ریزی) جمع‌آوری شده‌اند و روابط حاکم بر این ماتریس‌ها به شرح زیر هستند:

●ماتریس V^{12}: با توجه به ترازنامه انرژی سال **۱۳۹۳** کل مصارف برای بخش‌های مختلف به صورت ماتریس زیر نمایش داده می‌شود.

---

1. Stockholm Environment Institute (SEI)
2 End Use by Matrix

$$V_1 = \begin{bmatrix} 443/8 \\ 323/1 \\ 341/3 \\ 50/3 \\ 2/3 \\ 160/2 \end{bmatrix} : \begin{bmatrix} Household, Public \& Commercial \\ Industry \\ Transportation \\ Agriculture \\ Other \\ Non-Energy \end{bmatrix}$$

●ماتریس T_{12}[1]: ماتریس انتقال بر حسب بخش‌های انرژی به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$T_{12} = \frac{V_2}{V_1} \qquad (۲)$$

●ماتریس V_2[2]: این ماتریس مصارف نهایی را بر حسب حامل‌های انرژی برای بخش‌های مصرف نمایش می‌دهد.

$$V_2 = T_{12} \times V_1 \qquad (۳)$$

●ماتریس T_{23}[3]: این ماتریس را ماتریس کارایی حامل‌های انرژی می‌گویند و بازدهی هر یک از حامل‌ها را نشان می‌دهد. این ماتریس یک ماتریس قطری است که درآیه‌های قطر اصلی آن معکوس بازدهی را نمایش می‌دهد. در این جا با فرض بازدهی صد در صد، ماتریس یک ماتریس همانی ۱۹*۱۹ در نظر گرفته شده است که درآرایه‌های قطر اصلی آن یک است. برای بدست آوردن این ماتریس از رابطهٔ زیر استفاده می‌شود:

$$T_{23} = \frac{V_2}{Efficiency} \qquad (۴)$$

---

1 Transition Matrix Market
2 End Use by Device
3 Device Efficiency Matrix

●ماتریس V_3[1]: این ماتریس میزان مصرف سوخت هر یک از بخش‌های مصرف نهایی را نشان می‌دهد و برابر ماتریس V_2 است.

●ماتریس T_{34}[2]: این ماتریس را ماتریس جمع‌کنندهٔ انرژی می‌نامند به طوری که انرژی مورد نیاز هر وسیله را به حامل انرژی مربوط به آن ارتباط می‌دهد.

●ماتریس V_4[3]: این ماتریس میزان تقاضای (مصرف) نهایی هر یک از حامل‌های انرژی (سوخت) ماتریس را نشان می‌دهد.

$$V_4 = T_{34} \times V_3 \quad (۵)$$

●ماتریس T_{45}[4]: این ماتریس میزان تلفات در خطوط انتقال و توزیع را نشان می‌دهد.

●ماتریس V_5: این ماتریس میزان مورد نیاز از هر حامل انرژی را نشان می‌دهد.

$$V_5 = T_{45} \times V_4 \quad (۶)$$

●ماتریس T'_{45}: با اضافه کردن میزان زغال سنگ مورد نیاز واحدهای کک‌سازی و کوره بلند به ماتریس V_5، ماتریس V'_5 بدست می‌آید.

$$V'_5 = T'_{45} \times V_5 \quad (۷)$$

ماتریس V'_5 مقدار تقاضای نهایی بخش‌های مختلف مصرف با احتساب واحدهای کک‌سازی و کوره بلند را نشان می‌دهد.

---

1 Fuel Use by Device
2 Transition Matrix for Aggregation
3 Total Fuel Demand
4 Inverse Transmition Efficiency

●ماتریس T''_{45}: با توجه به صادرات و واردات برق، برای بدست آوردن مقدار برق تولیدی باید صادرات به مقدار مصرف کل (تقاضای کل) بخش‌های مصرفی اضافه گردد سپس مقدار واردات از آن کم شود. در نهایت ماتریس V''_5 حاصل می‌شود.

●ماتریس V''_5:

$$V''_5 = T''_{45} \times V'_5 \qquad (۸)$$

●ماتریس T_{56}[1]: این ماتریس سهم هر حامل انرژی را در تأمین انرژی الکتریکی (برق) تعیین می‌کند.

●ماتریس V_6: این ماتریس سهم نیروگاه‌های مختلف در تولید برق در سال صفر برنامه‌ریزی را نشان می‌دهد.

$$V_6 = T_{56} \times V''_5 \qquad (۹)$$

$$V_6 = \begin{bmatrix} 10000 \\ 01000 \\ 00100 \\ 00010 \\ 00000/2724 \\ 00000/6877 \\ 00000/0039 \\ 00000/00022 \\ 00000/0178 \\ 00000/00043 \\ 00000/0174 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 518/1 \\ 770/7 \\ 8/9 \\ 8/4 \\ 161/5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 518/1 \\ 770/7 \\ 8/9 \\ 8/4 \\ 44 \\ 111/1 \\ 0/6299 \\ 0/03553 \\ 2/8747 \\ 0/6945 \\ 2/8101 \end{bmatrix} : \begin{bmatrix} Oil \\ NaturalGas \\ Coal \\ Biomass \\ Oil \\ NaturalGas \\ Coal \\ Biomass \\ Hydroelectric \\ \mathrm{Re}newableEnergy \\ NuclearEnergy \end{bmatrix}$$

یا

1 Disaggregation Matrix

$$V_6 = T_{56} \times Total \quad \text{Electrical Energy Produced} \qquad (۱۰)$$

●ماتریس [۱] T_{67}: این ماتریس میزان بازدهی هر یک از انواع نیروگاه‌ها را در تولید برق نشان می‌دهد.

●ماتریس V_7: این ماتریس مقادیر حامل‌های انرژی (سوخت) را نشان می‌دهد.

$$V_7 = T_6 \times T_{67} \qquad (۱۱)$$

می‌توان گفت ماتریس V_7 مقدار سوخت ورودی به نیروگاه‌ها را نمایش می‌دهد.

$$V_7 = \begin{bmatrix} 125/2 \\ 316/1 \\ 1/8 \\ 0/1 \\ 8/2 \\ 0/2 \\ 8 \end{bmatrix} : \begin{bmatrix} Oil \\ NaturalGas \\ Coal \\ Biomass \\ HydroElectric \\ \text{Re}newableEnergy \\ NuclearEnergy \end{bmatrix}$$

●ماتریس [۲] T_{78}: با توجه به این که برخی از حامل‌های انرژی اولیه هم به صورت مستقیم در تأمین تقاضا به کار می‌روند و هم در تولید برق از آنها استفاده می‌شود لذا این مقادیر بایستی با هم جمع شوند که برای این منظور از ماتریس واسطه‌ای T_{78} که یک ماتریس جمع‌کننده است استفاده می‌کنیم.

●ماتریس V_8:

$$V_8 = T_{78} \times V_7 \qquad (۱۲)$$

---

1 Inverse Electricity Generation Efficiency Matrix

2 Aggregation Generation Matrix

●ماتریس T_{89}: این ماتریس بیانگر سهم حامل‌های انرژی از انتقالات و پالایشگاه‌های نفتی است.

●ماتریس V_9: این ماتریس عرضهٔ کل انرژی اولیه را نشان می‌دهد.

$$V_9 = T_{89} \times V_8 \quad (۱۳)$$

●ماتریس T_{910}: این ماتریس بخش تغییر در ذخایر ایجاد شده و اختلافات آماری را نمایش می‌دهد.

$$V_{10} = T_{910} \times V_9 \quad (۱۴)$$

●ماتریس T_{911}: این ماتریس سهم حامل‌ها از سوخت هواپیماها و کشتی‌های بین‌المللی را نشان می‌دهد.

$$V_{11} = T_{911} \times V_{10} \quad (۱۵)$$

● ماتریس T_{912} بر اساس ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۳ اعمال صادرات را نشان می‌دهد.

$$V_{12} = T_{912} \times V_{11} \quad (۱۶)$$

●ماتریس T_{913} اعمال واردات را بر اساس ترازنامه سال ۱۳۹۳ نشان می‌دهد.

$$V_{13} = T_{913} \times V_{12} \quad (۱۷)$$

$$V_{13} = \begin{bmatrix} 1241/4 \\ 1109/9 \\ 4/7 \\ 8/5 \\ 8/2 \\ 0/2 \\ 8 \end{bmatrix} : \begin{bmatrix} Oil \\ NaturalGas \\ Coal \\ Biomass \\ HydroElectric \\ \mathrm{Re}newableEnergy \\ NuclearEnergy \end{bmatrix}$$

ماتریس V_{13} تولید کل هر یک از حامل‌های انرژی در سال **۱۳۹۳** را نشان می‌دهد.

چنانچه مشاهده می‌شود در روش فرمول‌بندی ماتریسی سیستم انرژی، مکانیسم از پایین به بالا بوده، یعنی از مصرف بخش‌های موجود در کشور (خانگی، عمومی و تجاری، حمل و نقل، صنعت، کشاورزی و مصارف غیرانرژی) به مقدار تولید هریک از حامل‌های انرژی (نفت خام و فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی، زغال سنگ، ....) دست پیدا کردیم.

۵. شبیه‌سازی ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۳ (۲۰۱٤ میلادی) با نرم‌افزار Leap

در این مرحله ضرایب ماتریسی بدست آمده در بخش ۶ را پس از ساختن زیربخش‌های چهارگانه نرم‌افزار لیپ شامل بخش مفروضات کلیدی، تقاضا، تولید و تبدیل انرژی و منابع انرژی شامل منابع اولیه و ثانویه، تمامی قسمت‌های ترازنامه را به طور دقیق وارد نرم‌افزار کرده و ترازنامه سال **۱۳۹۳** با نرم‌افزار لیپ را به شکل زیر شبیه‌سازی کرده‌ایم.

جدول (۱): متغیرهای اقتصاد کلان در سال پایه (۲۰۱٤=۱۳۹۳)

نام متغیر	مقدار	واحد	منبع
درآمد ملی سرانه	۵۹۲۹	دلار	بانک جهانی به قیمت‌های سال ۲۰۱۰
جمعیت	۷۹۶۸۶۰۰۰	نفر	ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۳
بعد خانوار	۳/۴۴	نفر	بانک مرکزی ج.ا.ا
تعداد خانوار	۲۳۱۶۴۵۳۵	خانوار	بانک مرکزی ج.ا.ا
تولید ناخالص داخلی	۴۲۵۳۲۶	میلیون دلار	ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۳
نرخ رشد درآمد ملی	۳	درصد	بانک مرکزی ج.ا.ا
نرخ رشد جمعیت	۱/۲۴	درصد	مرکز آمار ایران
درصد شهرنشینی سال پایه	۷۳/۴	درصد	مرکز آمار ایران

جدول (۲): ترازنامه انرژی سال پایه (۲۰۱٤=۱۳۹۳)/سناریو مرجع/ واحد: میلیون بشکه معادل نفت خام

شرح	برق	گاز طبیعی	زغال سنگ	نفت خام و فرآورده‌های نفتی	برق آبی	انرژی خورشیدی و بادی	انرژی هسته‌ای	منابع تجدیدپذیر قابل احتراق	کل انرژی
تولید	–	۱۱۱۳/۱۰	۵/۳۰	۱۲۰۵/۴۱	۸/۲۰	۰/۲۰	۷/۹۹	۸/۵۰	۲۳۴۸/۷۰
صادرات	۶/۲۰	۴۷/۴۰	۲/۶۹	۲۳/۸۰	–	–	–	۰/۰۲	۸۰/۱۱
واردات	-۹/۶۷	-۶۱/۱۰	-۱	-۵۸۶/۳۰	–	–	–	–	-۶۵۸/۰۷
تغییر در ذخایر ایجاد شده	-/۵۰	-۹/۵۰	۳/۹۰	۳۹/۷۰	–	–	–	–	۳۳/۶۰
عرضه کل انرژی اولیه	-۳/۹۷	۱۰۸۹/۹۰	۱۰/۸۹	۶۸۲/۶۱	۸/۲۰	۰/۲۰	۷/۹۹	۸/۵۲	۱۸۰۴/۳۴
انتقالات	–	–	–	-۲۲/۶۶	–	–	–	–	-۲۲/۶۶
پالایشگاه‌های نفت	–	–	–	-۱۶/۶۳	–	–	–	–	-۱۶/۶۳
نیروگاه‌ها	۱۶۱/۵۰	-۳۱۵/۷۰	-۱/۸۰	-۱۲۵/۲۴	-۸/۲۰	-۰/۲۰	-۷/۹۹	-۰/۱۲	-۲۹۷/۷۵
واحدهای کک‌سازی	–	–	-۱/۷۲	–	–	–	–	–	-۱/۷۲
واحدهای کوره بلند	–	–	-۲/۶۳	–	–	–	–	–	-۲/۶۳
مصارف بخش انرژی و تلفات انتقال و توزیع	-۲۷/۲۲	-۷۷/۵۰	-۱/۵۵	-۳۵/۵۹	–	–	–	–	-۱۴۱/۸۶
تبدیل کل	۱۳۴/۲۸	-۳۹۳/۲۰	-۷/۶۹	-۲۰۰/۱۲	-۸/۲۰	-۰/۲۰	-۷/۹۹	-۰/۱۲	-۴۸۳/۲۴
خانگی، عمومی و تجاری	۶۲/۵۰	۳۲۷/۶۰	۰/۱۰	۴۵/۳۰	–	–	–	۸/۴۰	۴۴۳/۹۰
صنعت	۴۴/۶۰	۲۴۱/۹۰	۱	۳۵/۶۰	–	–	–	–	۳۲۳/۱۰
حمل و نقل	۰/۲۱	۴۴/۵۰	–	۲۹۶/۵۹	–	–	–	–	۳۴۱/۳۰
کشاورزی	۲۰/۷۰	۸/۵۰	–	۲۱/۱۰	–	–	–	–	۵۰/۳۰
سایر مصارف	۲/۳۰	–	–	–	–	–	–	–	۲/۳۰
مصارف غیرانرژی	–	۷۴/۲۰	۲/۱۰	۸۳/۹۰	–	–	–	–	۱۶۰/۲۰
کل مصرف نهایی	۱۳۰/۳۱	۶۹۶/۷۰	۳/۲۰	۴۸۲/۴۹	–	–	–	۸/۴۰	۱۳۲۱/۱۰
ضایعات	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

منبع: خروجی نرم‌افزار LEAP

جدول بالا ترازنامه انرژی شبیه‌سازی شده در محیط نرم‌افزار لیپ را نمایش می‌دهد. در ترازنامه بالا مقدار تقاضای کل معادل ۱۳۲۱/۱ میلیون بشکه معادل نفت خام، مقدار مصرف حامل‌های انرژی برای تبدیل معادل ۴۸۳/۲۴ میلیون بشکه معادل نفت خام بوده و در نهایت مقدار عرضهٔ اولیه انرژی معادل ۱۸۰۴/۳۴ میلیون بشکه معادل نفت خام است..

٦. ایجاد و بررسی سناریو انرژی مرجع در ایران برای سال افق برنامه‌ریزی (١٤٢٠)

سناریو مرجع (سناریو ادامهٔ وضع فعلی) معرف روندی است که اعتبار سیاست‌های گذشته در آینده را نشان می‌دهد، لذا نقطهٔ آغازین هر گونه آینده‌پژوهی و برنامه‌ریزی انرژی، ایجاد سناریو مرجع است. یکی از کاربردهای سیستم انرژی مرجع مطالعهٔ اثر تغییرات ساختار تقاضا بر بخش عرضه است. جدول زیر سناریوهای انرژی مرجع را نشان می‌دهد.

جدول (۳): سناریوهای انرژی مرجع

ردیف	عنوان سناریو
۱	درآمد سرانه با نرخ ۳٪ رشد می‌کند.
۲	جمعیت با نرخ ۱٫۲۴٪ رشد می‌کند.
۳	تعداد خانوار با نرخ ۱٫۲۴٪ رشد می‌کند.
۴	شهرنشینی در سال مرجع منطبق با الگوی رشد سال‌های ۹۳-۱۳۸۰ به ۸۱/۶۹ درصد می‌رسد.
۵	در بخش حمل و نقل تقاضا برای بخشی از حامل‌های انرژی (بنزین، گاز طبیعی و برق) با نرخ رشد جمعیت رشد کرده و بخشی دیگر (نفت گاز، گاز مایع و نفت کوره) با نرخ رشد GDP رشد می‌کنند.
۶	در تولید برق، سوخت نیروگاه‌ها، نفت خام- گاز طبیعی- زغال سنگ- انرژی بادی و خورشیدی- انرژی هسته‌ای- انرژی آبی و سوخت جامد و بیوگاز با روند خطی و منطبق بر الگوی رشد سال‌های ۹۳-۱۳۸۰ حرکت می‌کنند.

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول (٤): ترازنامه انرژی سال افق برنامه‌ریزی (۲۰٤۲=۱٤۲۰)/سناریو مرجع/ واحد: میلیون بشکه معادل نفت خام

شرح	برق	گاز طبیعی	زغال سنگ	نفت خام و فرآورده‌های نفتی	برق آبی	انرژی خورشیدی و بادی	انرژی هسته‌ای	منابع تجدیدپذیر قابل احتراق	کل انرژی
تولید	–	۱۴۵۰/۹۰	۵/۳۰	۱۸۷۰/۹۵	۳/۳۵	۰/۰۰	–	۸/۵۰	۳۳۳۹
صادرات	۶/۲۰	۴۷/۴۰	۸۱۸/۵۹	۲۳/۸۰	–	–	–	۳/۳۶	۸۹۹/۳۵
واردات	-۹۴/۶۱	-۶۱/۱۰	-۱	-۵۸۶/۳۰	–	–	–	–	-۷۴۳/۰۱
تغییر در ذخایر ایجاد شده	-/۵۰	۹/۵۰	۳/۹۰	۳۹/۷۰	–	–	–	–	۳۳/۶۰
عرضه کل انرژی اولیه	-۸۸/۹۱	۱۴۲۷/۷۰	۸۲۶/۷۹	۱۳۴۸/۱۵	۳/۳۵	۰/۰۰	–	۱۱/۸۶	۳۵۲۸/۹۴
انتقالات	–	–	–	-۴۴/۷۶	–	–	–	–	-۴۴/۷۶
پالایشگاه‌های نفت	–	–	–	-۳۲/۸۵	–	–	–	–	-۳۲/۸۵
نیروگاه‌ها	۳۸۰/۴۹	-۱۸/۵۴	-۸۰۶/۲۴	-۲۵۸/۰۹	-۳/۳۵	۰	۰	–	-۷۰۵/۷۳
واحدهای کک‌سازی	–	–	-۳/۸۸	–	–	–	–	–	-۳/۸۸
واحدهای کوره بلند	–	–	-۵/۹۴	–	–	–	–	–	-۵/۹۴
مصارف بخش انرژی و تلفات انتقال و توزیع	-۵۰/۳۹	-۱۴۱/۰۶	-۳/۵۰	-۶۹/۵۶	–	–	–	–	-۲۶۴/۵۰
تبدیل کل	۳۳۰/۱۱	-۱۵۹/۶۰	-۸۱۹/۵۶	-۴۰۵/۲۵	-۳/۳۵	۰/۰۰	–	–	-۱۰۵۷/۶۴
خانگی، عمومی و تجاری	۸۸/۲۶	۴۶۲/۶۰	۰/۱۴	۶۳/۹۷	–	–	–	۱۱/۸۶	۶۲۶/۸۲
حمل و نقل	۰/۳۰	۶۲/۸۴	–	۵۵۷/۲۵	–	–	–	–	۶۲۰/۳۹
کشاورزی	۴۷/۳۶	۱۹/۴۵	–	۴۸/۲۸	–	–	–	–	۱۱۵/۰۸
سایر مصارف	۳/۲۵	–	–	–	–	–	–	–	۳/۲۵
مصارف غیر انرژی	–	۱۶۹/۷۶	۴/۸۰	۱۹۱/۹۶	–	–	–	–	۳۶۶/۵۳
صنعت	۱۰۲/۰۴	۵۵۳/۴۵	۲/۲۹	۸۱/۴۵	–	–	–	–	۷۳۹/۲۳
کل مصرف نهایی	۲۴۱/۲۰	۱۲۶۸/۱۰	۷/۲۳	۹۴۲/۹۰	–	–	–	۱۱/۸۶	۲۴۷۱/۳۰
ضایعات	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

منبع: خروجی نرم‌افزار LEAP

جدول بالا ترازنامه انرژی سال افق برنامه‌ریزی (سال ۱۴۲۰) را تحت سناریو مرجع نشان می‌دهد. یعنی در صورتی که وضع موجود بر اساس جدول شماره ۳ ادامه داشته باشد، در سال ۱۴۲۰، تقاضای کل انرژی به ۲۴۷۱/۳ میلیون بشکه معادل نفت خام، در بخش تبدیل انرژی به ۱۰۵۷/۶۴ میلیون بشکه معادل نفت خام و در نهایت عرضه اولیه انرژی به مقدار ۳۵۲۸/۹۴ میلیون بشکه معادل نفت خام خواهد رسید.

۷. ایجاد سناریوهای سیاست‌گذاری و مقایسهٔ آنها با سناریو مرجع انرژی در ایران

پس از برآورد میزان تقاضا و عرضهٔ انرژی (ترازنامه انرژی) به عنوان سناریو مرجع برای سال ۱۴۲۰، در این بخش به بررسی سناریوهای جدید و تأثیر آنها بر بهبود مقدار انرژی‌های فسیلی در مقایسه با سناریو مرجع می‌پردازیم:

جدول (۵): سناریوهای سیاست‌گذاری

ردیف	عنوان سناریو سیاست‌گذاری
۱	کاهش تلفات گاز طبیعی و نفت خام و فرآورده‌های نفتی به ۲٪ در پایان سال ۱۴۲۰
۲	کاهش تلفات انتقال و توزیع برق هر ده سال ۵٪ به نحوی که در پایان سال افق برنامه‌ریزی (۱۴۲۰ ه ش) به ۷/۵٪ برسد.(در کشورهای توسعه یافته تلفات انتقال و توزیع برق ۷/۵٪ است)
۳	افزایش سهم تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر بادی و خورشیدی به ۲۰٪ در سال افق برنامه‌ریزی(۱۴۲۰)
۴	افزایش سهم گاز طبیعی به عنوان سوخت به جای بنزین و نفت گاز در بخش حمل و نقل به ۵۰٪ در سال افق برنامه‌ریزی.(در سال صفر برنامه‌ریزی سال ۱۳۹۳ این سهم ۱۳٪ است)
۵	افزایش سهم برق در بخش حمل و نقل به ۲۰٪ در سال ۱۴۲۰ (این سهم در سال ۱۳۹۳، ۰/۰۶٪ است)
۶	افزایش سهم گاز طبیعی به حدود ۷۵٪ در تولید برق در پایان سال افق برنامه‌ریزی (در سال ۱۳۹۳ این سهم ۶۵٪ است)

منبع: یافته‌های پژوهش

اگر فرض شود که خوراک نیروگاهی در تولید برق با روند خطی و منطبق بر الگوی رشد سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ حرکت کند ماتریس سهم نیروگاه‌ها در تولید برق در سال افق برنامه‌ریزی (۱۴۲۰) به شکل زیر است.

$$v1420 = \begin{bmatrix} 0/405 \\ 0/561 \\ 0/0008 \\ 0/00034 \\ 0/013 \\ 0/00006 \\ 0/0197 \end{bmatrix} \times [336/82] = \begin{bmatrix} 136/41 \\ 188/95 \\ 0/2694 \\ 0/1145 \\ 4/3787 \\ 0/0202 \\ 6/6353 \end{bmatrix} : \begin{bmatrix} SteamPower \\ GasPower \\ CoalPower \\ SolidPower \\ HydroPower \\ SolarPower \\ NuclearPower \end{bmatrix}$$

جدول (٦): سناریو مدیریت تقاضا (DSM[1]) در بخش حمل و نقل (واحد: میلیون بشکه معادل نفت خام)

ردیف	نوع سوخت	مقدار تقاضای سال پایه (۱۳۹۳)	مقدار تقاضای سال مرجع (۱۴۲۰) (سناریو مرجع)	مقدار تقاضا تحت سناریو جدید (سناریو سیاست‌گذاری)
۱	گاز طبیعی	۴۴/۵	۶۲/۸	۱۲۹/۳۷
۲	برق	۰/۲	۰/۳	۵۱/۷۵
۳	فرآورده‌های نفتی	۲۹۶/۶	۵۵۷/۲۵	۴۳۹/۲۷
	کل تقاضای انرژی در بخش حمل و نقل	۳۴۱/۳	۶۲۰/۳۹	

منبع: یافته‌های پژوهش

1.Demand Side Management

جدول (۷): مقدار تولید برق نیروگاه‌های کشور تحت سناریو مرجع و سناریوهای سیاست‌گذاری(واحد: میلیون بشکه معادل نفت خام)

ردیف	نوع نیروگاه	نوع سوخت مصرفی	مقدار سوخت مصرفی سال پایه	مقدار تولید برق سال پایه	مقدار سوخت مصرفی سال مرجع	مقدار تولید برق سال مرجع	مقدار تولید برق تحت سناریوهای سیاست‌گذاری (جدید)
۱	بخاری	نفت خام	۱۲۵/۲	۴۴	۳۸۵,۳۵۹	۱۳۶/۴	۰
۲	گازی	گاز طبیعی	۳۱۶/۱	۱۱۱	۵۳۳,۲۹۳	۱۸۸/۸	۲۴۷/۸۱۷
۳	زغال سنگی	زغال سنگ	۱/۸	۰/۶۳	۰,۷۲۱۴	۰/۳	۰/۳
۴	تجدیدپذیر قابل احتراق	بیوماس جامد و بیوگاز	۰/۱	۰/۰۴	۰,۳۲۳	۰/۱	۰/۱
۵	آبی	آب	۸/۲	۲/۸۷	۱۲,۴۳۹۶	۴/۴	۴/۴
۶	خورشیدی و بادی	خورشید و باد	۰/۲	۰/۰۷	۰,۵۶۴۲	۰/۲	۶۷/۳۶۳۴
۷	هسته‌ای	هسته‌ای	۸	۲/۸۱	۱۸,۷۱۶۷	۶/۶	۱۶/۸۴۱
۸	کل تولید برق			۱۶۱/۵		۳۳۶/۸۱۷	

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول (۸): مقدار و درصد تلفات توزیع و انتقال انرژی کشور تحت سناریو مرجع و سناریوهای سیاست‌گذاری (واحد: میلیون بشکه معادل نفت خام

ردیف	نوع سوخت	مقدار تلفات سال پایه	درصد تلفات سال پایه (درصد)	مقدار تلفات سال مرجع	درصد تلفات سال مرجع (درصد)	درصد تلفات تحت سناریوهای جدید (درصد)	مقدار تلفات تحت سناریوهای جدید
۱	نفت خام و فرآورده‌های نفتی	۳۵/۶	۷	۶۹/۵۶	۸	۲	۱۹/۲۴
۲	گاز طبیعی	۷۷/۲	۱۰	۱۴۱/۰۶	۱۰	۲	۲۵/۸۸
۳	زغال سنگ	۱/۵	۳۲/۶	۳/۵	۳۲/۶۲	۱۲/۶	۱/۰۴
۴	برق	۲۷/۲	۱۷/۲۵	۵۰/۳۹	۱۷/۲۸	۷/۵	۱۹،۵۶
۵	مقدار کل تلفات	۱۴۱/۵		۲۶۴/۵			۶۵/۷۲

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول (۹): محاسبهٔ میزان صرفه‌جویی در سوخت‌های فسیلی (نفت خام و فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی و زغال سنگ) در سناریوهای سیاست‌گذاری (جدید) نسبت به سناریو مرجع (واحد: میلیون بشکه معادل نفت خام)

ردیف	نام بخش	مقدار صرفه‌جویی
۱	حمل و نقل	۱۱۷/۹۸
۲	نیروگاهی	۳۸۵/۳۵۹
۳	بخش تلفات توزیع و انتقال انرژی	۱۹۸/۷۸
مقدار کل صرفه‌جویی در سوخت‌های فسیلی در سال افق برنامه‌ریزی(۱۴۲۰ ه.ش)		۷۰۲/۱۱۹

منبع: یافته‌های پژوهش

۸. نتایج و پیشنهادهای سیاستی

در این مقاله با روش ماتریسی کردن سیستم انرژی کشور و با استفاده از مدل‌ساز لیپ چشم‌انداز عرضه و تقاضای حامل‌های انرژی در افق ۱۴۲۰ با تأکید بر ادامهٔ سیاست‌های پیشین و سناریوهای افزایش سهم انرژی برق و گاز طبیعی در بخش حمل و نقل و جایگزین کردن گاز طبیعی به جای نفت خام به عنوان سوخت نیروگاهی و ایجاد و ساخت نیروگاه‌های بادی و خورشیدی در کشور و کاهش تلفات توزیع و انتقال حامل‌های انرژی مانند نفت خام

و فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی، زغال سنگ و برق پرداخته است. مهم‌ترین یافته‌های پژوهش به شرح زیر می‌باشند:

الف) با فرض نرخ رشد ۱/۲۴٪ در جمعیت کشور و نرخ رشد ۳٪ در GDP، تقاضای نهایی برای حامل‌های انرژی از ۱۳۲۱ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۳۹۳ (سال صفر برنامه‌ریزی) به ۲۴۷۱/۳ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۴۲۰ (سال افق برنامه‌ریزی) می‌رسد.

ب) افزایش سهم برق در بخش حمل و نقل از ۰/۰۰۰۶٪ در سال ۱۳۹۳ به ۲۰٪ در سال ۱۴۲۰، و افزایش سهم گاز طبیعی در بخش حمل و نقل از ۱۳٪ در سال ۱۳۹۳ به ۵۰٪ در سال ۱۴۲۰، مقدار ۱۱۷/۹۸ میلیون بشکه معادل نفت خام در مصرف فرآورده‌های نفتی مانند بنزین، نفت گاز و نفت کوره صرفه‌جویی ایجاد خواهد کرد.

ج) ایجاد و ساخت نیروگاه‌های خورشیدی و بادی که بتواند ۲۰٪ برق مصرفی کشور را تا سال ۱۴۲۰ تأمین نماید می‌تواند معادل ۳۸۵/۳۵۹ میلیون بشکه معادل نفت خام در سوخت‌های فسیلی به ویژه نفت خام صرفه‌جویی نماید.

د) کاهش درصد تلفات توزیع و انتقال حامل‌های انرژی مانند نفت خام و فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی، زغال سنگ و برق مقدار صرفه‌جویی در این حامل‌ها را در سال ۱۴۲۰ به ۱۹۸/۷۸ میلیون بشکه معادل نفت خام می‌رساند.

این مطالعه به دنبال اندازه‌گیری مقدار تقاضا و عرضهٔ انرژی تحت سناریو مرجع و سناریوهای سیاست‌گذاری و هم چنین محاسبهٔ مقدار صرفه‌جویی در سوخت‌های فسیلی به ویژه نفت خام بوده است. یافته‌های تحقیق که در بالا آمده به این پرسش‌ها پاسخ داده به طوری که میزان تقاضا و عرضه برابر ترازنامه انرژی سال مرجع به ترتیب برابر ۲۴۷۱/۳ و ۳۵۲۸/۹۴ میلیون بشکه معادل نفت خام برآورد شده است. و میزان صرفه‌جویی در نفت خام و فرآورده‌های نفتی در سال افق برنامه‌ریزی به ۷۰۲/۱۱۹ میلیون بشکه معادل نفت خام رسیده که می‌توان به سر جمع صادرات نفت خام و فرآورده‌های نفتی در سال ۱۴۲۰ اضافه نمود.

به نظر می‌رسد عملیاتی کردن سناریوهای پیشنهادی تحت عنوان سناریوهای سیاست‌گذاری برای وزارتخانه‌های متولی سیستم انرژی کشور کاری دشوار و می‌توان گفت

هزینه‌بر نبوده (در مقابل منافعی که ایجاد می‌کنند) و از طرف دیگر زمان کافی برای انجام این سناریوها در برنامه‌های این وزارتخانه‌ها وجود دارد.

این مطالعه می‌تواند با بکارگیری و لحاظ کردن پیشنهادهای زیر کامل شود:

الف) سناریوهای مدیریت در قسمت تقاضای نهایی را علاوه بر بخش حمل و نقل به بخش‌های خانگی، عمومی و تجاری، صنعت، کشاورزی و سایر مصارف تسری داده و میزان صرفه‌جویی در سوخت‌های فسیلی را محاسبه نمود.

ب) با افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر مانند باد و خورشید و هسته‌ای در تولید برق، میزان سرمایه‌گذاری در این نیروگاه‌ها را اندازه‌گیری کرده با میزان صرفه‌جویی در سوخت‌های فسیلی مقایسه کرده و هزینه- فایده نمود.

ج) میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای[۳۱] در دو حالت سناریو مرجع و سناریوهای سیاست‌گذاری محاسبه و اندازه‌گیری شوند.

---

[1]. Green House Gas

۸. منابع:

الف)فارسی

اشراقی، هادی، ملکی، عباس و وکیلی، علی (۱۳۹۲)، شبیه‌سازی تقاضا و عرضهٔ حامل‌های انرژی تا سال ۲۰۳۵ در ایران با استفاده از مدلساز LEAP، *پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری انرژی*، سال اول، شماره ۳، صص ۱۳۶-۱۱۳.

امامی‌میبدی، علی (۱۳۸۹)، آزمون پایداری رشد در مورد منابع تجدیدناپذیر (بازبینی مدل هتلینگ) مطالعهٔ موردی نفت اوپک، *پژوهش‌های اقتصادی ایران*، شماره ۴۲، صص ۱۴۹-۱۶۷

آمارنامه مصرف فرآورده‌های نفتی انرژی‌زا (۱۳۹۳)، شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران

تارنمای بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران (https://www.cbi.ir)

تارنمای شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت (https://www.ifco.ir)

تارنمای مرکز آمار ایران (https://www.amar.org.ir)

ترازنامه انرژی کشور (۱۳۹۳)

ترازنامه هیدروکربوری کشور (۱۳۹۴)

دفتر صنایع ماشین‌سازی و نیرو محرکه وزارت صنایع و معادن(https://mimt.gov.ir)

صفاریان، علی و محمدی اردهالی، مرتضی (۱۳۷۸)، تدوین سیستم انرژی مرجع و توسعهٔ مدل برنامه‌ریزی انرژی الکتریکی کشور، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، سال پنجم، شماره ۱۹، صص ۲۰۳-۱۶۳.

قانون برنامه پنجم توسعه کشور

محمدی اردهالی، مرتضی، امیرنکوئی، کمال و صدری، آریا (۱۳۹۰)، بررسی اثر روش‌های مدیریت در بخش‌های تقاضا و عرضه بر برنامه‌ریزی انرژی بلندمدت در ایران، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، سال هشتم، شماره ۳۱، صص ۱۲۰-۸۵

مرادی، محمد، احمدی، سمیه و عمیدپور، مجید (۱۳۹۲)، توسعهٔ مدل تقاضای انرژی در سطح ملی با استفاده از مدل‌ساز LEAP، *پژوهش‌های برنامه‌ریزی وسیاست‌گذاری انرژی*، سال اول، شماره ۳، صص ۸۲-۵۱.

ب)انگلیسی

Heap, C. (2011), LEAP User Guide, Stockholm Environment Institute. IEA (2012), World Energy Outlook 2011, International Energy Agency, Paris. International Energy Outlook, Energy Information Administration (EIA), (2011), Available on: https://www.iea.org

United State Energy Information Administration, (2017), International Energy Outlook2017. Washington, DC. http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/

Wang, Y., Gu, A., (2010). Recent Development of Energy Supply and Demand in China, and Energy Sector Prospects through 2030, *Energy Policy*, Vol.39, Issue.11, pp.6745-6759.

Yophy, H., Jeffrey, B.Y., Chieh- Yu, P., (2010). The Long- Term Forcaste of Taiwan's Energy Supply and Demand: LEAP Model Application. *Energy Policy*, Vol.39, Issue.11, pp.6790-6803.