مدل‌سازی اولویت‌بندی سیاست‌های توسعه صنعت تولید برق ایران با استفاده از LEAP [1]

مهدی بریمانی [2]

کارشناس مدیریت دانش شرکت برق منطقه‌ای مازندران، دکتری اقتصاد انرژی،
m.barimani12@gmail.com

آشوت سالنزریان

استاد دانشکده اقتصاد دانشگاه دولتی ایروان، ارمنستان، sabmas1@rambller.ru

عبدالرزاق کعبی نژادیان

استادیار دانشکده محیط‌زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران،
kaabi@Iranenergy.org.ir

حسین صادقی

استاد گروه اقتصاد دانشگاه تربیت مدرس، sadeghih@modares.ir

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۹/۰۷ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۷/۰۹

چکیده

هدف این مقاله بررسی اثرات سیاست‌های توسعه هر یک از منابع انرژی تولید برق (فسیلی، هسته‌ای و تجدیدپذیر) بر توسعه نیروگاهی کشور و اولویت‌بندی این سیاست‌ها، با استفاده از قابلیت هزینه- فایده ابزار مدل‌سازی LEAP می‌باشد. الگوی پیشنهادی این تحقیق، تحت سناریوهای چندگانه سیاست‌های توسعه منابع انرژی تولید برق میزان تولید برق و سهم هر یک از این منابع در تولید برق ایران را در بازه زمانی ۲۵ ساله (۱۴۲۰-۱۳۹۵) تعیین می‌کند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد سیاست توسعه بهینه نیروگاه‌ها به‌عنوان سیاست ارجح و سیاست توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر (با هدف‌گذاری ۲۰ درصد از سهم تولید) با فاصله اندکی در رتبه دوم سیاست‌های توسعه صنعت برق ایران قرار می‌دارد.

طبقه‌بندی **JEL**: E23, D284, O21, Q28

کلید واژه‌ها: برنامه‌ریزی بلندمدت، تولید برق، سیاست‌های انرژی، سناریونگاری، مدل‌ساز LEAP

---

۱. این مقاله برگرفته از پایان‌نامه دکتری اقتصاد انرژی مهدی بریمانی به راهنمایی Professor.Ashot Salnasaryan، دکتر عبدالرزاق کعبی نژادیان و دکتر حسین صادقی در دانشکده اقتصاد آکادمی ملی علوم ارمنستان می‌باشد.

۲. نویسنده مسئول

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

۱- مقدمه

جهان در آینده‌ای نه چندان دور با دو بحران بزرگ آلودگی زیست‌محیطی در اثر احتراق سوخت‌های فسیلی و شتاب فزآینده در جهت اتمام این منابع مواجه خواهد شد، با توجه به این موضوع اگر دولت‌ها به‌دنبال توسعه مطلوب و پایدار، بدون لطمه زدن به توانایی نسل‌های آینده باشند. لازم است از دو سیاست مشخص یعنی اعمال مدیریت مصرف انرژی و ایجاد و تنوع در سیستم عرضه انرژی پیروی کنند. اعمال مدیریت مصرف انرژی با ارتفاء بازده و کارایی انرژی، ضمن صیانت و بهره‌برداری مطلوب و اقتصادی از آن، به کاهش آلودگی ناشی از انرژی منتهی خواهد شد. همچنین ایجاد تنوع در سیستم عرضه انرژی و به‌کارگیری منابع انرژی جایگزین (هسته‌ای، تجدیدپذیر) نیز ضمن کاهش وابستگی به یک حامل انرژی، دو مزیت صرفه‌جویی انرژی و کاهش آلودگی ناشی از انرژی را نیز به همراه دارد.

سیاست‌های انرژی به آن دسته از طرح‌های راهبردی اتلاق می‌شود که یک دولت در بخش‌های صنعتی و غیرصنعتی مصرف انرژی، به‌منظور رسیدن به توسعه پایدار اتخاذ می‌کند. در یک سیاست انرژی، اصولا دولت مباحث مربوط به انرژی (شامل تولید، توزیع و مصرف) را مطرح و ارائه طریق می‌نماید. سیاست انرژی می‌تواند شامل قانون گذاری، مشوق‌های سرمایه‌گذاری، دستورالعمل برای صرفه‌جویی انرژی، مالیات، معاهدات بین‌المللی و سیاست‌های کلی باشد. صنعت تولید برق نیز متأثر از سیاست‌های انرژی در توسعه هر یک از منابع تولید برق می‌باشد.

زمان‌بر بودن پروژه‌های برق و وابسته بودن آن‌ها به اقتصاد، برنامه‌ریزی برای آینده شبکه برق را به‌منظور برآورده نمودن به موقع و اقتصادی تقاضای برق ضروری نموده است. برنامه‌ریزان معمولا با مشاهده روندهای گذشته تقاضا و ارتباط آن‌ها با روندهای اقتصادی، به پیش‌بینی تقاضا می‌پردازند. با توجه به قطعی نبودن عملکرد اقتصادی عدم قطعیت وارد برنامه‌ریزی می‌شود. سناریونگاری در انرژی، می‌تواند راهی مفید برای طراحی برنامه‌های زیرساختی بلندمدت، به‌منظور تأمین تقاضای نامشخص انرژی در آینده باشد، چرا که به کمک این روش، ایجاد مجموعه‌ای از حالات ممکن که وابسته به مسیرهای سیاسی و فنی گوناگونی می‌باشند، میسر و از این طریق عدم قطعیت‌های

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

موجود در مسائل انرژی، اقتصادی و زیست‌محیطی[1] به‌طور مؤثری لحاظ گردند. هدف این مطالعه تحلیل اثرات سیاست‌های توسعه هر یک از منابع انرژی تولید برق (فسیلی، هسته‌ای و تجدیدپذیر) بر توسعه نیروگاهی کشور و اولویت‌بندی این سیاست‌ها در بازه زمانی ۲۵ ساله (۱۴۲۰-۱۳۹۵) می‌باشد.

عموماً تصمیم‌گیران بخش انرژی به‌منظور دستیابی به رهیافتی که بتوان بوسیله آن، بازخوردهای متفاوت سیاست‌های مورد نظر را تحلیل نمود، به توسعه مدل‌های مختلف ریاضی روی آورده اند. بسترهای مجازی ایجاد شده به مثابه مدلی کامپیوتری از سیستم انرژی بوده و ابزاری جهت تحلیل یکپارچه انرژی، اقتصاد و محیط زیست را فراهم می‌آورند. یکی از ابزارهایی که در این زمینه ازآن استفاده می شود، سیستم برنامه ریزی بلندمدت جایگزینی‌های انرژی، LEAP[2] است. در این مطالعه به‌منظور شبیه‌سازی اولویت‌بندی سیاست‌های انرژی در توسعه نیروگاه‌های کشور جهت تأمین تقاضای برق در بلندمدت، همچنین تعیین و تحلیل میزان تولید برق و سهم هر یک از این منابع در تولید برق ایران، سناریوهای چندگانه سیاست‌های توسعه منابع انرژی تولید برق با استفاده از نرم فزار LEAP طراحی و تحلیل شده است.

در پژوهش‌ها و تحلیل‌های بررسی چشم‌انداز سیستم برق و کنش و واکنش حاصل از تقاضا و عرضه برق، برای پوشش مسئله عدم قطعیت‌ها، سناریوهای مختلفی باید تعریف شود. نقطه آغازین و لازمه هرگونه مطالعات برنامه‌ریزی انرژی، تعریف سناریوی مرجع[3] است. که بیانگر تداوم تاریخچه و وضع موجود در آینده می‌باشد. این سناریو اهمیت بالایی داشته و کلیه قیاس‌ها و بهبودها و آثار برنامه‌ها و سیاستگذاری‌ها نسبت به آن سنجیده می شوند. از آنجایی‌که منابع انرژی قابل استفاده برای تولید برق در ایران به سه دسته کلی منابع فسیلی، هسته‌ای و تجدیدپذیر تقسیم می‌شوند، در این مقاله برای آینده صنعت برق علاوه بر سناریوی مرجع، سناریوی بهینه مرجع[4] و سناریوهایی مبتنی بر توسعه انرژی هسته‌ای[5] و توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر[1] (جمعاً در قالب ۴ سناریو) طراحی و تحلیل شده است.

---

1. Economical - Environment – Energy: 3E
2. Long-range Energy Alternative Planning
3. Reference Scenario
4. Optimization
5. Nuclear Development

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

چشم‌انداز توسعه بهینه نیروگاه‌ها در سطح ملی، مطابق با سیاست‌های انـرژی کشـور در قالب ۴ سناریو به شرح زیر ارائه شده که در این مقاله به تحلیـل، مقایسـه و ارزیـابی آن‌ها خواهیم پرداخت.

سناریوی ۱. سناریوی مرجع: اگر سیاست تولید برق کشور، تداوم رونـد فعلـی باشـد، چه برنامه‌ای برای ساخت نیروگاه‌های جدید در آینده باید داشت؟

سناریوی ۲. سناریوی مرجع بهینه: اگر سیاست تولید برق کشور، بهینه سـازی رونـد فعلی باشد، چه برنامه‌ای برای ساخت نیروگاه‌های جدید در آینده باید داشت؟

سناریوی ۳. اگر سیاست تولید برق کشور، توسعه منـابع انـرژی تجدیدپـذیر مـدنظر باشد، چه برنامه‌ای برای ساخت نیروگاه‌های جدید در آینده باید داشت؟

سناریوی ۴. اگر سیاست تولید برق کشور، توسعه انرژی هسته‌ای باشد، چه برنامه‌ای برای ساخت نیروگاه‌های جدید در آینده باید داشت؟

سناریوها در بـازه زمـانی ۲۵ سـاله (۱۴۲۰-۱۳۹۵) و بـر اسـاس فرضـیات منطقـی مختلفی با توسعه تقاضای نهایی و عرضه برق در کل کشور، قیمت برق، نرخ‌های بهـره و تورم، توسعه و رسوخ فناوری، برنامـه‌هـای بهینـه‌سـازی مصـرف بـرق، تـرویج الگوهـا و فناوری‌های نوین برق و تجدیدپـذیرها، کنتـرل آلاینـدگی و انتشـار گازهـای گلخانـه‌ای نیروگاه‌ها در ارتباط خواهد بود.

در ادامه ضمن ارائه پیشینه تحقیق و بررسی وضعیت موجود عرضه انرژی الکتریکـی و روش‌شناسی تحقیق، به تحلیل، ارزیابی، مقایسه و اولویت‌بنـدی سیاسـت‌هـای توسـعه نیروگاهی ایران پرداخته شده است. مکانیزم (ارزیابی، مقایسه و اولویت بنـدی سـناریوها) ارائه شده در این تحقیق، از نقاط قوت این تحقیق است که در آن از تحلیل‌هـای هزینـه فایده[2] نرم‌افزار LEAP استفاده شده است. در نهایت جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشـنهاد حاصل از اجرای تحقیق ارائه می‌گردد.

۲- پیشینه تحقیق

برنامه ریزی مبتنی بر سناریو، در حـوزه انـرژی در نقـاط مختلـف دنیـا مـورد توجـه می باشد. در ایران، شفیعی و همکـاران (۱۳۹۳)، در "گـزارش برنامـه بلندمـدت توسـعه بخش انرژی کشور" که در دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو ارائه شـد، بـا

1. Renewable Development
2. Cost- Benefit

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

استفاده از دو ابزار مدل‌ساز و برنامه‌ریزی بلندمدت انـرژی MESSEAGE و MAED در افق زمانی ۲۷ ساله از سال ۱۳۹۳ تا ۱۴۲۰ به‌عنوان افـق برنامـه‌ریـزی سیسـتم انـرژی، برنامه توسعه بخش انرژی برای تأمین تقاضای انرژی مورد نیاز بخش‌هـای مختلـف را در ۳ سناریوی مرجع، سناریوی رشد تـدریجی قیمـت‌هـای صـادراتی و وارداتـی انـرژی و سناریوی صرفه‌جویی انرژی ارائه دادند.

اشراقی و همکاران (۱۳۹۲)، در مطالعه‌ای بـا عنـوان " شـبیه‌سـازی تقاضـا و عرضـه حامل‌های انرژی تـا سـال ۲۰۳۵ در ایـران بـا اسـتفاده از مـدل‌سـاز LEAP"، سـاختار بخش‌های مختلف تقاضا را مشخص و بـا توجـه بـه سیسـتم مرجـع انـرژی، پیکربنـدی تکنولوژی‌های سمت عرضه را شبیه‌سازی نمودند. در ایـن مطالعـه چشـم‌انـداز عرضـه و تقاضای حامل‌های انرژی در افق ۲۰۳۵ با تاکید بر ادامه سیاست‌های پیشین (سـناریوی مرجع) و سناریوی بهره‌گیری از نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی ارائه گردیده است.

کچویی و عمیدپور (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای با عنوان "تحلیل سـناریو دربـاره پتانسـیل کاهش گازهای گلخانه‌ای در بخش تولید بـرق ایـران بـا اسـتفاده از نـرم‌افـزار LEAP"، انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل کاهش آن‌ها را در بخش تولید بـرق ایـران در چهـار سناریو مورد تحلیل و بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از مدل سـازی در مطالعـه دیگـری که توسط مرادی و همکاران (۱۳۹۲) با عنوان توسعه مدل تقاضای انرژی در سطح ملـی با استفاده از نرم‌افـزار LEAP انجـام شـد، حـاکی از رشـد فزاینـده تقاضـای انـرژی در بخش‌های مختلف در رشد اقتصادی مورد نظر می‌باشد. این نتیجه بیـانگر آن اسـت کـه جهت نیـل بـه چشـم‌انـداز کشـور، شـدت انـرژی و همچنـین مصـرف انـرژی بـه طـرز شگفت‌انگیزی افزایش می‌یابد و این موضوع نیازمند حرکت به سمت بهره‌گیری بهینـه از منابع می‌باشد.

رازینی و همکاران (۱۳۸۹)، در مطالعه‌ای به بررسی "سناریو نگاری بـا هـدف آینـده پژوهی در صنعت تولید برق ایران" پرداخته اند. در این مطالعه که با هدف بررسی اثـرات سیاست‌های انرژی کشور در حوزه تولید برق بر روی سهم انواع نیروگاه‌ها در آینده انجام شد، با توجه به منابع تولید برق در ایران (انرژی هسـته‌ای، تجدیدپـذیر و فسـیلی)، سـه سناریو برای ۲۰ سال آینده صنعت برق ایران طراحی و با استفاده از مدل‌ساز LEAP بـه تحلیل سناریوها و برآورد سهم هر یک از منابع تولیـد بـرق در تـأمین تقاضـای بـرق در

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

چشم انداز ۲۰ ساله پرداخته شد. در این مطالعه صرفاً بـه تـدوین و تحلیـل سـناریوهای محتمل برای تأمین تقاضای انرژی الکتریکی در آینده پرداخته شـد و مسـئله مقایسـه و اولویت‌بندی سناریوها را به مطالعه‌ای دیگر پیشنهاد داد.

۳- بررسی وضعیت موجود عرضه انرژی الکتریکی

براساس ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۳ ایران، مصرف نهایی انرژی با رشـد ۷/۵ درصـدی نسبت به سال گذشته، به میزان ۱۳۲۰/۷ میلیون بشکه معادل نفت خام می باشد. سـرانه مصرف نهایی گاز طبیعی ۵/۶ و نفت‌خام و فرآورده‌های نفتـی ایـران ۱/۶ برابـر متوسـط مصرف سرانه جهانی است. همچنین بهره‌وری مصرف انرژی به میزان ۲/۱ درصد نسـبت به سال گذشته کاهش داشته است. با توجه به اینکـه عمـر ذخـایر هیـدروکربوری مـایع کشور در سال ۱۳۹۳، حدود ۱۲۵ سال برآورد شـده، ادامـه رونـد رشـد مصـرف انـرژی به‌منزله زنگ خطری برای کشور می‌باشد (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۳).

در سال ۱۳۹۳ ظرفیت اسمی و عملی نیروگاه‌های برق کشور به ترتیب به میزان ۴/۲ درصد و ۳/۴ درصد رشد داشت. در این سال سهم تولید برق در نیروگاه های بخار ۳۱/۲ درصد، سیکل ترکیبی ۳۵/۳ درصـد، گـازی ۲۶/۷ درصـد، دیزلـی ۰/۰۳ درصـد، آبـی ۵ درصد، تجدیدپذیرها و اتمی ۱/۸ درصد از کل تولیـد بـرق ایـران بـوده اسـت (ترازنامـه انـرژی، ۱۳۹۳). در ایـن شـرایط کـه بـیش از ۹۳ درصـد از تولیـد بـرق کشـور توسـط نیروگاه‌های حرارتی تأمین می شود، برآورد شده که نزدیک به ۲۵ درصد از مصرف منابع فسـیلی و حـدود ۲۸ درصـد از آلـودگی‌هـای ناشـی از احتـراق انـرژی مربـوط بـه ایـن نیروگاه‌هاست. میزان صرفه‌جویی ناشی از عـدم انتشـار آلاینـده‌هـا و گازهـای گلخانـه‌ای بخش‌های مصرف‌کننده انرژی برابر ۱۱۶۶۶۷ میلیارد ریال است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۳). این در حالی است که وابستگی اقتصاد ایران به درآمدهای حاصل از فـروش نفـت و گـاز کشـور، توجـه بـه برنامـه‌ریـزی بلندمـدت انـرژی و رویکردهـای متنـوع مـدیریتی را اجتناب‌ناپذیر می‌کند؛ بنابراین ضروری است که تصمیم‌گیـران و سیاسـت‌گـذاران حـوزه انرژی کشور، تدبیری جهت مدیریت مصرف منابع فسیلی و توسـعه منـابع جـایگزین در پی بگیرند.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

۴- روش‌شناسی

نرم‌افزار LEAP یکی از ابزارهای پرکاربرد برای تحلیل سیاست‌های انرژی و مدل‌سازی عرضه و تقاضای انرژی می‌باشد که توسط مؤسسه محیط‌زیست استکهلم[1] طراحی شده است. نرم‌افزار LEAP ابزاری مناسب جهت ارزیابی یکپارچه سیاست‌های انرژی، تدوین و سیاست‌گذاری بخش انرژی و ارزیابی انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. این نرم‌افزار بر اساس رویکرد سناریویی، به ارزیابی اثرات توسعه بخش انرژی بر انتشارات گازهای گلخانه‌ای می‌پردازد و اطلاعات جامعی را در خصوص تحلیل هزینه‌های کاهش انتشار در اختیار کاربران قرار می‌دهد. علاوه بر محاسبات زیست‌محیطی، تحلیل‌های هزینه-فایده[2] توسط این مدل‌ساز ارائه می‌گردد. نرم‌افزار LEAP در نوع داده‌های موردنیاز بسیار انعطاف‌پذیر است، به‌طوری‌که می‌توان با حداقل داده‌ها مدل را اجرا کرد و زمانی که داده‌های بسیاری در دسترس است می‌توان مدلی با جزئیات کامل برای سیستم انرژی طراحی کرد.

ابزار LEAP این امکان را فراهم می‌نماید تا گستره وسیعی از طرح‌ها، برنامه‌ها، فناوری‌ها و ابتکارات را ارزیابی کرده و به راهبردی رسید که به بهترین نحو، راه حل گسترش سیستم انرژی باشد. در داخل کشور، LEAP ابزار نسبتاً شناخته شده‌ای در زمینه برنامه‌ریزی انرژی است. از جمله مهم‌ترین مطالعاتی که با استفاده از LEAP انجام گرفته‌اند، می‌توان به گزارش اول تغییر اقلیم کشور به دبیرخانه کنوانسیون تغییر اقلیم (کارفرما: دفتر تغییرات آب و هوا، سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۸۱)، برآورد تقاضای نهایی حامل‌های انرژی تا سال ۱۴۲۰ (کارفرما: مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، ۱۳۹۰) و برنامه‌ریزی تولید و مصرف فرآورده‌های نفتی (کارفرما: شرکت ملی پالایش و پخش، ۱۳۸۸) اشاره نمود. مدل‌سازی LEAP به‌طور گسترده در بیش از ۱۷۰ کشور استفاده می‌شود. نتایج استفاده از این مدل‌ساز در تعداد زیادی از مطالعات و مقالات، در مجلات معتبر بین‌المللی انرژی دنیا نیز منتشر شده است. هر کدام از این تحلیل ها از ابزار LEAP به‌عنوان ابزار مدیریت سناریو و برای محاسبات اصلی از روش‌های متفاوت استفاده می‌کنند.

---

1. The Stockholm Environment Institute
2. Cost- Benefit

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

برآورد تقاضای انرژی در بخش‌های مختلف

LEAP در کلی‌ترین حالت، تقاضای نهایی انرژی در هر بخش را بر اساس رابطه (۱) به دست می‌آورد:

$$E = AL \times EI_{b,s,t} \qquad (۱)$$

که در این رابطه AL معرف سطح فعالیت رسته‌ای است که تقاضای آن مورد نظر است و EI شدت انرژی[1] زیر بخش است. رابطه فوق امکان تغییر دو پارامتر مذکور در دوره برنامه‌ریزی را میسر می‌سازد که هر دو به‌صورت برون‌زا به مدل وارد می‌شوند. در ارتباط با برآورد آینده AL عموماً سیاست‌های توسعه‌ای هر زیر بخش (به‌عنوان مثال یک زیر بخش صنعتی خاص و با ارزش افزوده یک مد خاص از حمل و نقل نظیر حمل و نقل هوایی) مدنظر می‌باشند. درحالی‌که برآورد تغییرات EI به‌سادگی میسر نیست و بایستی از خروجی‌های مدل‌های توسعه و انتقال فناوری استفاده شود. برای برآورد تقاضا در LEAP روش‌های دیگری هم وجود دارد.

شبیه‌سازی و مدل‌سازی بخش‌های سمت عرضه

بخش عرضه از شاخه‌های ویژه موسوم به ماژول‌ها[2] جهت مدل کردن عرضه انرژی الکتریکی استفاده می‌کند. هر ماژول محتوی یک یا چند فرآیند می‌باشد که یک فرآیند منفرد نظیر نوع ویژه‌ای از نیروگاه برق نظیر نیروگاه بخار، نیروگاه گازی، نیروگاه بادی، خورشیدی و ... و انرژی تولید شده توسط آن ماژول را نمایش می‌دهند.

پیکربندی سیستم عرضه نیز بر اساس نیازی که بر روی هر ماژول است، تعیین می‌گردد. این نیاز از بخش‌های مختلف سمت تقاضا و نیز ماژول‌های پایین دستی هر ماژول خاص نشأت می‌گیرد و با مقادیر صادرات و واردات نیز به تعادل می‌رسد. این محاسبات با تکرارهای متوالی[3] صورت می‌گیرد و تا جایی که اختلاف هر دو تکرار متوالی کمتر از یک عدد کوچک که توسط کاربر وارد می‌شود، ادامه دارد (اشراقی و همکاران، ۱۳۹۲).

1. Energy Intensity
2. Modules
3. Iteration

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

قابلیت دیگر LEAP در زمینه تخمین میزان انتشار آلایندهای زیست‌محیطی و نیز گازهای گلخانه‌ای از بخش انرژی است. این امکان با گردآوری ضرایب انتشار[1] مربوط به سوخت‌های مختلف مورد استفاده، از روش‌شناسی Tier1 هیئت بین الدولی تغییرات آب و هوا[2] (IPCC) انجام می‌شود[3] (Heap, 2011).

در این مقاله، از ابزار LEAP به‌منظور مدل‌سازی در سناریوی مرجع و دیگر سناریوهای محتمل، تحلیل، مقایسه و ارزیابی و نهایتاً انتخاب سناریوی برتر استفاده شده است. برای استفاده از این نرم‌افزار به مجموعه‌ای از داده‌ها در مورد وضعیت کنونی صنعت برق و فرضیاتی برای روندهای پیش روی این صنعت در آینده نیاز داریم. مرجع داده های این تحقیق، ترازنامه انرژی وزارت نیرو سال ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳، سری زمانی ترازنامه انرژی ۱۳۹۳- ۱۳۴۶، آمار تفصیلی صنعت برق ایران ۱۳۹۴ شرکت توانیر و دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو و گزارش ۴۷ سال صنعت برق ایران در آیینه آمار (۱۳۹۲-۱۳۴۶) می‌باشد.

به‌منظور مدل‌سازی نیروگاه‌های تولید برق، علاوه بر تحلیل سیستم برق و اطلاعات شرایط اقتصادی کشور (قیمت سوخت، اجرای قانون هدفمندکردن یارانه‌ها، نرخ بهره وام، نرخ تورم، نرخ ارز، نرخ استهلاک و ...)، باید به داده‌های هزینه‌ای و عملکردی آن‌ها نیز دسترسی داشت. از جمله این داده‌ها می‌توان به راندمان فناوری‌های موجود، فناوری های نوین و پیشرفته، قابلیت دسترسی، ضریب ظرفیت، هزینه سرمایه گذاری اولیه، هزینه عملیات و نگهداشت ثابت و متغیر، هزینه سوخت، میزان مصارف داخلی و... اشاره نمود. این داده‌ها هنگام مدل سازی اهمیت کلیدی دارند و برخی از این داده ها از منابع داخلی و مابقی نیز از مراجع سایر کشورها استخراج شده است.

1. Emission Factors
2. Intergovernmental Panel on Climate Change
۳. دستورالعمل‌هایIPCC ، مشتمل بر دو ویرایش ۱۹۹۶ و ۲۰۰۶ می‌باشد و محاسبات و روش‌شناسی‌های مربوط به موجودی انتشار گازهای گلخانه‌ای را بر حسب پیچیدگی و دسترسی به اطلاعات در سه سطح (Tier) انجام می‌دهد.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

مبانی اصلی و ملاحظات در مدل‌سازی انرژی

مبانی اصلی مدل‌سازی شامل تنظیمات بومی‌سازی و ویژه سازی مدل‌سازی می‌باشد که عمده‌ترین آن‌ها عبارتند از:

- الگو به‌صورت یکپارچه با پوشش دو سمت عرضه و تقاضای سیستم برق و انتشار گازهای گلخانه‌ای در قالب واحدی طراحی شده است.

- سال‌های پایه مدل ۴ سال بوده و از سال ۱۳۹۰ (۲۰۱۱) شروع و تا ۱۳۹۳ (۲۰۱۴) ادامه یافته است و سال ۱۳۹۴ (۲۰۱۵)، سال ابتدای شبیه‌سازی می‌باشد.

- افق مدل‌سازی ۱۴۲۰ (۲۰۴۱) در نظر گرفته شده است.

- در مدل‌سازی علاوه بر پوشش کلیه پارامترها و ابعاد زیست‌محیطی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، قابلیت پوشش هزینه‌ها و شاخص‌ها و کلیه ابعاد انرژی- محیط‌زیست سیستم برق وجود دارد.

- رشد تقاضای برق در سه دامنه پایین، میانی و بالا به ترتیب: ۱، ۳ و ۵ درصد پیش‌بینی می‌شود.

- نرخ تنزیل در مدل‌سازی‌ها ۵ درصد در نظر گرفته شده است. این نرخ منطبق بر شاخص‌های بین‌المللی می‌باشد.

- در همه سناریوها فرض شده قیمت سوخت‌های فسیلی سالانه ۳ درصد رشد داشته باشند (منطبق بر سناریوی مرجع اداره انرژی ایالات‌متحده برای نفت‌خام)

- مطابق هدف‌گذاری وزارت نیرو، راندمان انواع نیروگاه‌های حرارتی افزایش سالانه ۱ درصد دارد (در حالت بهینه)

- کاهش تلفات سالانه خطوط انتقال به میزان ۱/۵ درصد با بهینه‌سازی و نوسازی شبکه جهت تأمین بخشی از کمبود نیروی برق (در حالت بهینه).

- صادرات برق به‌تدریج افزایش یافته و در ۲۰ سال آینده معادل ۵ درصد تقاضای داخل، برق به کشورهای دیگر صادر گردد (در حالت بهینه)

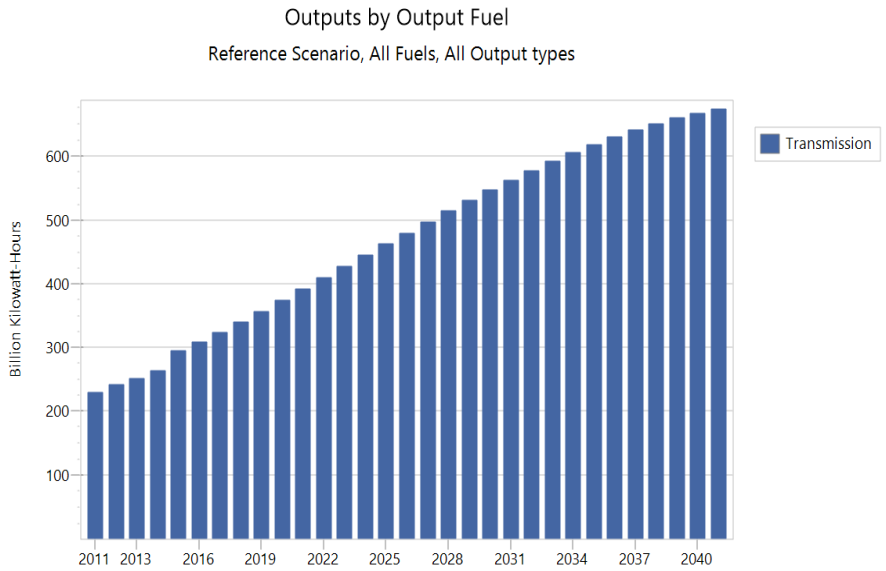
- واردات برق در ۲۰ سال آینده به ۱/۵ درصد تقاضای داخل برسد (در حالت بهینه)

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

- مشخصات فنی و اقتصادی نیروگاه‌ها شامل سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های ثابت و متغیر تعمیر و نگهداری، بازده، ضریب ظرفیت، طول عمر و مدت زمان ساخت، مصرف سالیانه و ... (آمار تفصیلی صنعت برق ایران ۱۳۹۳)

۵- تحلیل، ارزیابی و مقایسه سناریوهای توسعه نیروگاهی ایران

ماژول تولید برق، مهم‌ترین جزء سیستم عرضه برق است، در این مطالعه مدل‌سازی بخش انتقال و توزیع ساده و بر اساس داده‌های برون‌زا می‌باشد.[۱] مدل‌سازی بخش انتقال و توزیع در سناریو مرجع- حالت رشد میانی تقاضای برق در نمودار ۱ و تراز انرژی انتقال و توزیع برق در سناریوی مرجع – حالت رشد تقاضای میانی (۳٪) در نمودار ۲ ارائه شده است.

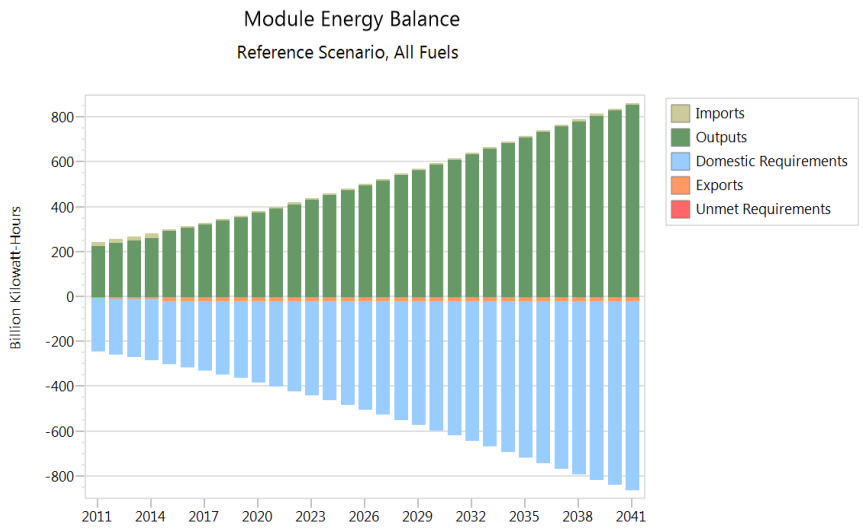


نمودار ۱. روند افزایش ظرفیت انتقال و توزیع برق در سناریوی مرجع- رشد تقاضای میانی

منبع: یافته‌های تحقیق بر اساس داده‌های برون‌زا

۱. نویسنده در تحقیق دیگری به آن پرداخته است.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]



نمودار ۲. تراز انرژی انتقال و توزیع برق در سناریوی مرجع –رشد تقاضای میانی

منبع: یافته‌های تحقیق بر اساس داده‌های برون‌زا

همزمان با رشد تقاضای برق، باید سیستم انتقال و توزیع برق نیز توسعه داده شود. کل ظرفیت انتقال برق در سال ۲۰۱۱ بالغ بر ۲۲۸۶۰۰ میلیون کیلووات ساعت بوده که انتظار می رود این میزان در سناریوی مرجع نیز افزایش یافته و به بیش از ۷۳۲۸۳۸ میلیون کیلووات ساعت در افق چشم‌انداز مدل (۲۰۴۱) برسد.

ماژول تولید برق از فناوری های مختلفی تشکیل شده که وظیفه تولید و عرضه برق را در ایران بر عهده دارند. عمده فناوری های تولید برق مدنظر در این مدل عبارتند از: ۱. نیروگاه سیکل ترکیبی متعارف موجود، ۲. نیروگاه سیکل ترکیبی پیشرفته ۳. نیروگاه گازی متعارف موجود، ۴. نیروگاه گازی پیشرفته، ۵. نیروگاه بخاری متعارف موجود، ۶. نیروگاه بخاری پیشرفته، ۷. نیروگاه دیزلی موجود، ۸. نیروگاه هسته‌ای ۹. نیروگاه برق آبی، ۱۰. نیروگاه خورشیدی فتولتائیک، ۱۱. نیروگاه خورشیدی حرارتی ۱۲. نیروگاه توربین بادی، ۱۳. نیروگاه زباله شهری (فاضلاب شهری)، ۱۴. نیروگاه بیوگازی (بیوماس).

هر یک از چهار سناریوی محتمل، بیانگر بعدی از توسعه و چشم‌انداز سیستم نیروگاه های برق کشور می باشد؛ که در این قسمت شاخص های مختلف این سناریوها با

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

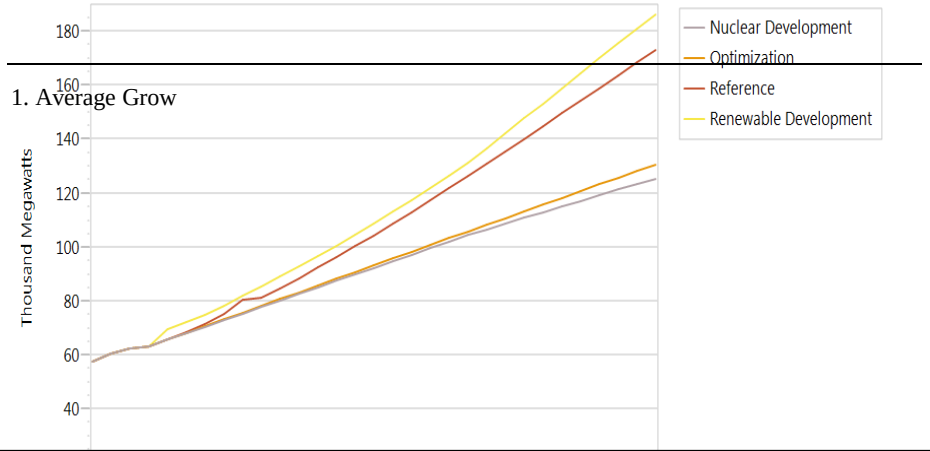
یکدیگر مقایسه خواهند شد. شایان ذکر است که در تمام سناریوها، رشد سالانه تقاضای برق در حالت رشد میانی (همگرا شدن به ۳ درصد در سال ۲۰۴۱) مدنظر می‌باشد. در همه سناریوها فرض شده قیمت سوخت‌های فسیلی سالانه ۳ درصد رشد (منطبق بر سناریوی مرجع اداره انرژی ایالات‌متحده برای نفت‌خام) داشته باشند. در این بخش به منظور تحلیل، ارزیابی و مقایسه سناریوهای توسعه نیروگاه ها، مکانیسم به‌کار رفته برمبنای شاخص‌های ذیل توصیف و اجرا خواهد شد:

۱. ظرفیت تولید عملی نیروگاه‌ها، ۲. مقدار تولید برق در سناریوهای مختلف، ۳. مقدار مصرف سوخت‌های فسیلی در سناریوها، ۴. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، ۵. هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، ۶. هزینه‌های اجتماعی و ۷. هزینه تمام شده تولید برق.

نخستین شاخص مقایسه بین سناریوها، شاخص ظرفیت نیروگاهی کشور است. همان‌طور که در جدول (۱) و نمودار (۳) نمایش داده شده، انتظار می‌رود در چشم‌انداز ۲۰۴۱، ظرفیت کل نیروگاه‌های کشور در سناریوی مرجع ۱۷۲/۹ هزار مگاوات، سناریوی مرجع بهینه ۱۳۰/۴ هزار مگاوات، سناریوی توسعه تجدیدپذیرها ۱۸۶/۲ هزار مگاوات و در نهایت توسعه انرژی هسته ای نیز به ۱۲۵/۳ هزار مگاوات برسد. میانگین رشد[1] سالانه ظرفیت‌سازی تولید برق نسبت به سال ۲۰۱۵ به ترتیب سناریوی مرجع ۳/۸۱ درصد، مرجع بهینه ۲/۷۸ درصد، تجدیدپذیر ۳/۸۷ درصد و در نهایت توسعه هسته‌ای ۲/۵۳ درصد در سال خواهد بود. علت بالا بودن ظرفیت نیروگاه‌ها در سناریوی مرجع، تداوم روند فعلی، افزایش صادرات برق، عدم چینش بهینه و عدم بهره برداری (دیسپاچینگ) بهینه می‌باشد. همچنین دلیل بالا بودن ظرفیت نیروگاهی در سناریوی توسعه تجدیدپذیر قابلیت دسترسی و ضریب ظرفیت پایین این نوع از نیروگاه‌هاست که برای تولید برق مشخصی باید ظرفیت بیشتری توسعه داده شود.

بنابراین در مقایسه میان سناریوها مشخص می شود که سناریوی مرجع بهینه و هسته‌ای دارای حداقل ظرفیت‌سازی بوده و سناریوی تجدیدپذیرها نیز دارای بالاترین ظرفیت نیروگاهی خواهد بود. لازم به ذکر است که نیروگاه‌های انرژی هسته‌ای به‌طور معمول ضریب ظرفیت بالاتری دارند و از طرف دیگر به‌دلیل محدودیت انتشار گازهای گلخانه‌ای بخشی از نیاز کشور به برق در سناریوی توسعه انرژی هسته‌ای وارد می‌شود.

1. Average Grow



[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

نمودار ۳. مقایسه پیش‌بینی ظرفیت‌سازی تولید برق در سناریوهای مختلف

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۱. مقایسه پیش‌بینی ظرفیت‌سازی تولید برق در سناریوهای مختلف (هزار مگاوات)

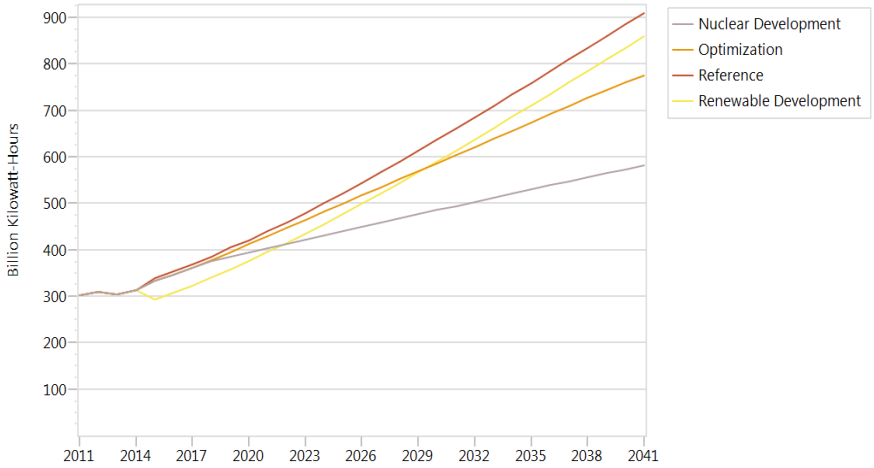
سناریو / سال	۲۰۱۱	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۲۱	۲۰۲۶	۲۰۳۱	۲۰۳۶	۲۰۴۱	a.g (%)
مرجع	۵۷/۳	۶۸/۲	۷۱/۳	۸۴/۵	۱۰۴/۲	۱۲۶/۱	۱۴۹/۵	۱۷۲/۹	۳/۸۱
بهینه مرجع	۵۷/۳	۶۸/۰	۷۰/۵	۸۰/۵	۹۳/۱۰	۱۰۵/۶	۱۱۸/۱	۱۳۰/۴	۲/۷۸
توسعه منابع تجدیدپذیر	۵۷/۳	۷۲/۱	۷۴/۸	۸۸/۸	۱۰۸/۵	۱۳۱/۲	۱۵۸/۷	۱۸۶/۲	۳/۸۷
توسعه انرژی هسته‌ای	۵۷/۳	۶۷/۹	۷۰/۳	۸۰/۰	۹۲/۱۰	۱۰۴/۲	۱۱۴/۹	۱۲۵/۳	۲/۵۳

منبع: یافته‌های تحقیق

شاخصی دومی که در ادامه بررسی خواهد شد، میزان تولید سالانه برق در هر یک از سناریوها می‌باشد. تولید برق با اولویت مصرف داخلی در نظر گرفته شده و در صورتی که کمبود منطقی نیز در داخل کشور وجود داشته باشد، مدل از طریق سیستم انتقال شروع به واردات برق به کشور می‌نماید. روند تولید برق در هر یک از ۴ سناریوی فوق در جدول (۲) و نمودار (۴) نمایش داده شده است. همان‌طور که از داده‌های جدول پیداست بیشترین رشد تولید برق مربوط به سناریوی مرجع بوده که متوسط رشد

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

سالانه آن نسبت به سال ۲۰۱۶ برابر ۳/۸۷ درصد می باشد کـه طـی آن تولیـد بـرق بـه ۹۰۹/۷ میلیارد کیلووات ساعت در سال ۲۰۴۱ خواهد رسید، کمترین میزان تولیـد نیـز به سناریوی توسعه انرژی هسته برمی گردد که طـی آن تولیـد بـرق کشـور بـه ۵۸۱/۴ میلیارد کیلووات ساعت خواهد رسید، در این سناریو مدل پیش‌بینی نموده که بخشـی از نیاز کشور، از طریق واردات تأمین گردد.



نمودار ۴. پیش‌بینی روند تولید برق از نیروگاه‌ها به تفکیک سناریوها

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۲. پیش‌بینی روند تولید برق از نیروگاه‌ها به تفکیک سناریوها (میلیارد کیلووات ساعت)

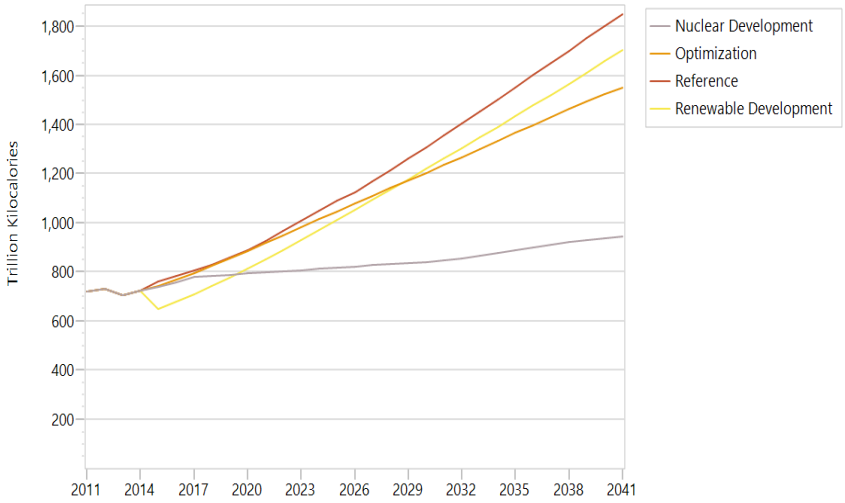
سناریو / سال	۲۰۱۱	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۲۱	۲۰۲۶	۲۰۳۱	۲۰۳۶	۲۰۴۱	a.g (%)
مرجع	۳۰۲/۰	۳۵۳/۴	۳۶۸/۰	۴۳۹/۱	۵۴۳/۹	۶۶۰/۳	۷۸۴/۴	۹۰۹/۷	۳/۸۷
بهینه مرجع	۳۰۲/۰	۳۴۶/۶	۳۶۱/۳	۴۲۹/۰	۵۱۷/۳	۶۰۳/۴	۶۹۱/۶	۷۷۵/۸	۳/۱۳
توسعه منابع تجدیدپذیر	۳۰۲/۰	۳۰۷/۹	۳۲۲/۸	۳۹۵/۳	۴۹۸/۴	۶۱۳/۲	۷۳۵/۴	۸۵۹/۱	۴/۲۲
توسعه انرژی هسته‌ای	۳۰۲/۰	۳۴۶/۶	۳۶۱/۲	۴۰۳/۵	۴۴۸/۹	۴۹۴/۳	۵۳۸/۶	۵۸۱/۴	۲/۱۷

منبع: یافته‌های تحقیق

شاخص بعدی که بررسی خواهد شد، نیاز به انرژی مصرفی نیروگاه ها در سـناریوهای مختلف می باشد. بررسی نتایج مدل و قیاس بین سناریوها نشان می دهـد کـه بیشـترین میزان مصـرف انـرژی در سـناریوی مرجـع بـا مقـدار ۱۸۴۹/۶ تریلیـون کیلوکـالری رخ

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

می‌دهد و کمترین آن نیز مربوط به سناریوی توسعه هسته‌ای می‌باشد. پیش‌بینی میزان سوخت مصرفی هرکدام از سناریوها در نمودار (۵) و جدول (۳) نمایش داده شده است. کلیه حامل‌های انرژی در این محاسبات مدنظر بوده است و تنها حامل‌های انرژی فسیلی در نظر گرفته نشده است.



نمودار ۵. مقایسه پیش‌بینی روند تقاضای انرژی (سوخت) نیروگاه‌ها در سناریوهای مختلف

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۳. مقایسه پیش‌بینی روند تقاضای انرژی (سوخت) نیروگاه‌ها در سناریوهای مختلف (تریلیون کیلوکالری)

	۲۰۱۱	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۲۱	۲۰۲۶	۲۰۳۱	۲۰۳۶	۲۰۴۱	a.g (%)
مرجع	۷۱۹/۸۲	۷۸۱/۱۲	۸۰۳/۴۱	۹۲۶/۳۱	۱۱۲۳/۸۷	۱۳۵۴/۲۷	۱۶۰۰/۷۷	۱۸۴۹/۶۲	۳/۴۸
بهینه مرجع	۷۱۹/۸۲	۷۶۷/۴۳	۷۹۲/۸۴	۹۱۵/۸۱	۱۰۷۸/۲۲	۱۲۳۴/۹۳	۱۳۹۷/۲۴	۱۵۵۰/۸۵	۲/۸۷
توسعه منابع تجدیدپذیر	۷۱۹/۸۲	۶۷۶/۶۰	۷۰۶/۲۵	۸۴۸/۸۳	۱۰۵۱/۴۹	۱۲۶۱/۶۷	۱۴۷۷/۵۱	۱۷۰۲/۴۱	۳/۷۹
توسعه انرژی هسته‌ای	۷۱۹/۸۲	۷۵۷/۹۶	۷۷۸/۶۴	۷۹۶/۷۸	۸۲۰/۷۳	۸۴۴/۶۷	۸۹۸/۵۱	۹۴۳/۴۴	۰/۹۹

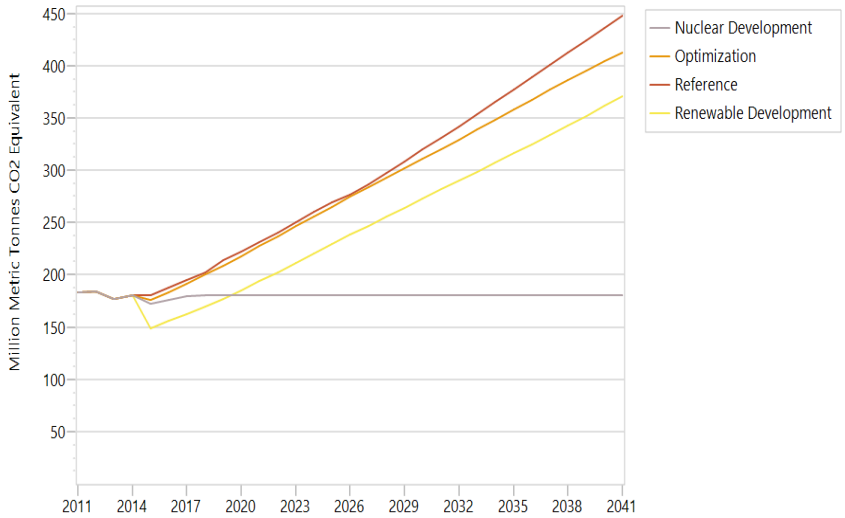
منبع: یافته‌های تحقیق

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

شاخص بعدی که باید در محاسبات بررسی شود، میـزان انتشـار گازهـای گلخانـه ای می‌باشد. همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد، عمده گازهای گلخانه‌ی بخش انرژی (نیروگـاه) دی اکسید کربن، متان و نیتروس اکسید نیتروژن می باشد. در ادامه چشـم‌انـداز انتشـار این گازهای مضر در هر یک از سناریوها بررسی خواهند شد. همان‌طـور کـه نمـودار (۶) نشان می‌دهد بیشترین انتشار گازهای گلخانه‌ای در حالت سناریوی مرجع رخ مـی‌دهـد، به‌طوری‌که میزان کل انتشار گازهای گلخانه‌ای از نیروگاه‌های تولید برق کشور از حـدود ۱۸۸ میلیون تن در سال ۲۰۱۶ به بیش از ۴۴۸ میلیون تن در سال ۲۰۴۱ می رسد کـه میانگین رشد سالانه آن بیش از ۳/۰۳ درصد در سال می‌باشد. در رتبه بعـدی سـناریوی بهینه قرار دارد که مطابق این سناریوی، کل انتشـار گازهـای گلخانـه بـه بـیش از ۴۱۲ میلیون تن در سال ۲۰۴۱ می رسد این در صورتی است که اغلب کشور در جهت کاهش شدت انتشار و کل انتشار گازهای گلخانه‌ای حرکت می‌کنند و لازم اسـت بـا اسـتفاده از روش‌های مختلفی میزان انتشار گازهای گلخانه کاهش یابد.

با توسعه سهم منابع انرژی تجدیدپـذیر از کـل تولیـد بـرق بـه ۲۰ درصـد در سـال ۲۰۴۱، انتظار می‌رود انتشار گازهای گلخانه‌ای نسـبت بـه سـناریوی مرجـع حـدود ۷۷ میلیون تن کاهش یافته و میزان کل انتشار در این سناریو در افق مدل سازی به بـیش از ۳۷۱ میلیون تن افزایش یابد. میانگین رشد سـالانه انتشـار گازهـای گلخانـه ای در ایـن سناریو نیز حدود ۲/۳۹ درصد در سال خواهد بود. در آخر اینکه با محدود کردن انتشـار گازهای گلخانه‌ای نیروگاه‌های کشور در سطح ۱۸۰ میلیون تن مـدل بـه سـمت توسـعه انرژی هسته و واردات برق می‌رود که متوسط رشد نسبت بـه سـال پایـه ۲۰۱۱ در ایـن سناریو ۰/۰۵- درصد در سال خواهد بود. جزئیات روند انتشار گازهای گلخانه و مقایسـه سناریوها در نمودار (۶) و جدول (۴) نمایش داده شده است.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]



نمودار ۶. مقایسه روند انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید برق در سناریوهای مختلف

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۴. مقایسه روند انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید برق در سناریوهای مختلف (میلیون تن در سال)

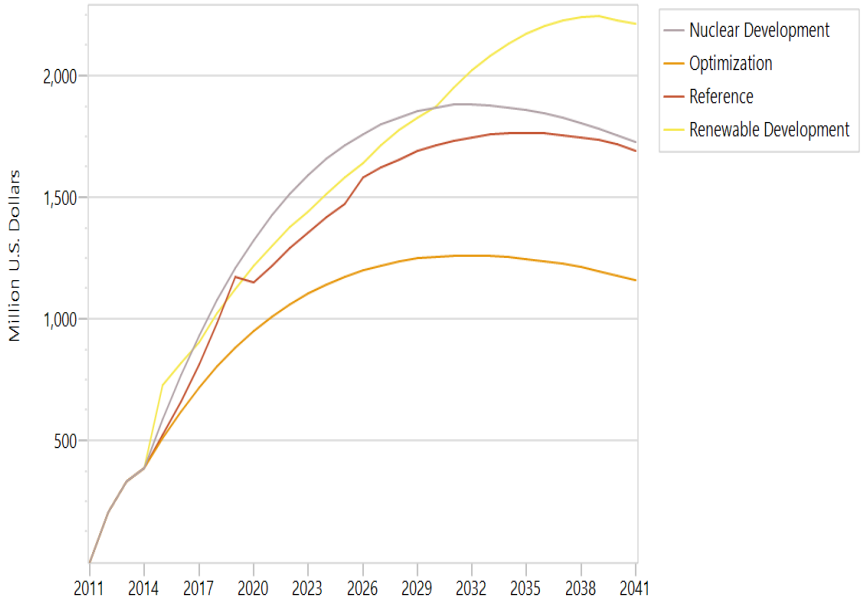
	۲۰۱۱	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۲۱	۲۰۲۶	۲۰۳۱	۲۰۳۶	۲۰۴۱	a.g (%)
مرجع	۱۸۲/۸۰	۱۸۷/۷۹	۱۹۴/۵۸	۲۳۱/۳۵	۲۷۶/۴۳	۳۳۰/۸۴	۳۸۹/۱۴	۴۴۸/۰۴	۳/۰۳
بهینه مرجع	۱۸۲/۸۰	۱۸۳/۴۷	۱۹۱/۱۴	۲۲۷/۱۶	۲۷۴/۳۸	۳۲۰/۱۷	۳۶۷/۳۶	۴۱۲/۵۲	۲/۵۷
توسعه منابع تجدیدپذیر	۱۸۲/۸۰	۱۵۵/۶۳	۱۶۲/۲۵	۱۹۳/۶۸	۲۳۸/۱۸	۲۸۱/۶۳	۳۲۴/۸۱	۳۷۱/۰۴	۲/۳۹
توسعه انرژی هسته‌ای	۱۸۲/۸۰	۱۷۵/۸۷	۱۷۹/۷۳	۱۸۰/۳۳	۱۸۰/۳۶	۱۸۰/۳۹	۱۸۰/۳۵	۱۸۰/۳۳	-۰/۰۵

منبع: یافته‌های تحقیق

شاخص پنجم جهت مقایسه بین سناریوهای مختلف، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه به‌صورت تنزیل یافته در سناریوهای مختلف جهت تولید برق می‌باشد. بررسی نتایج مدل نشان می‌دهد که بیشترین میزان سرمایه‌گذاری اولیه تنزیل یافته جهت سمت

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

عرضه متعلق به سناریوی توسعه تجدیدپذیرهاست که همانند نمودار (۵) تغییر می‌نماید. اوج سرمایه‌گذاری در این سناریو مربوط به سال ۲۰۳۹ به میزان ۲۲۴۶/۴ میلیون دلار در سال می باشد. مقادیر، تنزیل یافته مقادیر واقعی به سال پایه ۲۰۱۱ با نرخ تنزیل ۵ درصد (این نرخ منطبق بر شاخص‌های بین‌المللی می‌باشد) می‌باشند. از نظر شاخص سرمایه گذاری اولیه، بعد از سناریوی انرژی های تجدیدپذیر، سناریوی توسعه انرژی هسته و سناریوی مرجع قرار می گیرند. سناریوی مرجع بهینه به حداقل سرمایه‌گذاری اولیه نیاز دارد. این مسئله طبیعی است زیرا هر چقدر در سناریوی بهینه تحمیل و محدودیت شرایط اعمال شود هزینه ها بالاتر خواهند رفت. جزئیات بیشتر هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه تنزیل یافته در نمودار (۷) و جدول (۵) نمایش داده شده‌اند.



نمودار ۷. مقایسه روند سرمایه‌گذاری تنزیل یافته موردنیاز جهت توسعه نیروگاه‌ها در سناریوهای مختلف

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۵. مقایسه روند سرمایه‌گذاری تنزیل یافته موردنیاز جهت توسعه نیروگاه‌ها در سناریوهای مختلف (میلیون دلار سال ۲۰۱۱)

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

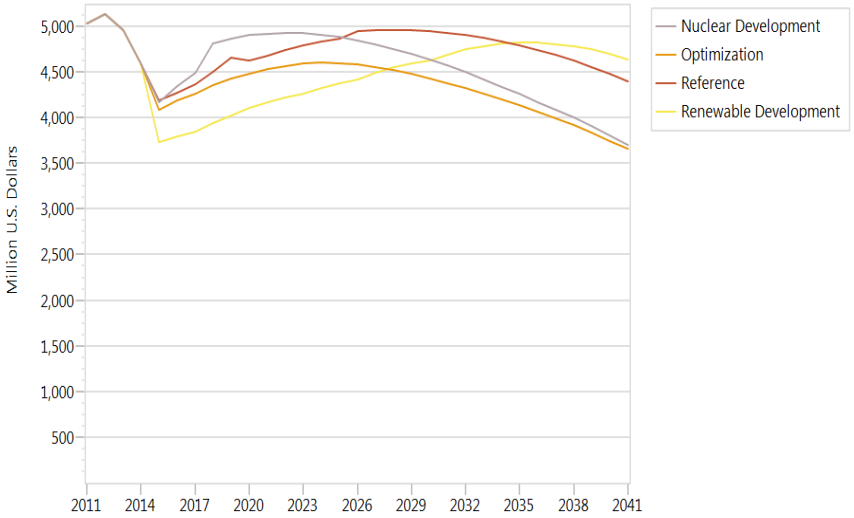
سناریو / سال	۲۰۱۱	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۲۱	۲۰۲۶	۲۰۳۱	۲۰۳۶	۲۰۴۱
مرجع	۲۰۳/۴۰	۶۶۰/۹۸	۸۱۳/۱۵	۱۲۱۹/۹۶	۱۵۸۰/۸۸	۱۷۳۱/۹۰	۱۷۶۴/۸۲	۱۶۸۹/۹۶
بهینه مرجع	۲۰۳/۴۰	۶۱۸/۱۵	۷۱۶/۳۵	۱۰۰۸/۷۳	۱۱۹۹/۹۵	۱۲۶۰/۰۹	۱۲۳۷/۱۷	۱۱۵۷/۳۳
توسعه منابع تجدیدپذیر	۲۰۳/۴۰	۸۱۹/۹۸	۹۰۵/۷۸	۱۳۰۱/۳۰	۱۶۳۸/۹۹	۱۹۵۱/۷۴	۲۲۰۴/۳۷	۲۲۱۵/۱۴
توسعه انرژی هسته‌ای	۲۰۳/۴۰	۷۷۰/۲۴	۹۳۳/۶۲	۱۴۲۵/۸۱	۱۷۶۰/۱۶	۱۸۸۱/۹۳	۱۸۴۳/۶۳	۱۷۲۵/۹۳

منبع: یافته‌های تحقیق

شاخص ششم شاخص هزینه‌های اجتماعی می‌باشد که روند این هزینه‌ها در سناریوهای مختلف متفاوت می‌باشد. همان‌طور که در نمودار (۸) مشاهده می‌شود، از نظر شاخص هزینه اجتماعی نیز سناریوی بهینه کمتر از بقیه بوده و سناریوی توسعه تجدیدپذیر به‌تدریج از بقیه بیشتر می‌شود، البته در سال‌های ابتدایی و مقادیر پایین‌تر، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از کل تولید برق کمتر بوده و به‌تدریج افزایش می‌یابد. مقدار هزینه‌های اجتماعی در سال ۲۰۱۱ بالغ بر ۵۰۳۰ میلیون دلار بوده که مقدار تنزیل یافته این میزان نسبت به سال ۲۰۱۱ در سال‌های آتی همانند نمودار (۸) تغییر می‌نماید، به‌طوری‌که مقدار آن برای سناریوی توسعه هسته‌ای با رشد میانگین سالانه ۰/۴۵- درصد در سال ۲۰۴۱ نزدیک به ۳۶۹۸/۴۷ میلیون دلار می رسد. همان طور که گفته رشد روند واقعی صعودی است به‌طوری‌که مقدار هزینه اجتماعی واقعی در سال ۲۰۴۱ در این سناریوی به حدود ۱۹/۶۴ میلیارد دلار خواهد رسید که میانگین رشد سالانه آن حدود ۵/۲۲ درصد می باشد. با توجه به اینکه جهت مقایسه ارقام، تمام موارد به سال پایه تنزیل یافته‌اند در ادامه نیز این شاخص تنزیل یافته بررسی خواهد شد. همان‌طور که در جدول (۶) ملاحظه می‌شود مقدار هزینه اجتماعی در سناریوی مرجع بهینه در سال ۲۰۴۱، با میانگین رشد سالانه ۱/۰۶- درصد، حدود ۳۶۵۴ میلیون دلار، سناریوی توسعه انرژی های تجدیدپذیر با رشد متوسط ۰/۲۷- درصد، ۴۶۳۹/۱۶ میلیون دلار و سناریوی مرجع نیز با میانگین رشد ۰/۴۶- درصد، معادل ۴۳۹۳/۹۱ میلیون دلار خواهد بود. جزئیات بیشتر در جدول (۶) نمایش داده شده است. دلیل بالا بودن هزینه اجتماعی در سناریوی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، افزایش بیش از حد

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از کل تولید انرژی می‌باشد که به طرز چشم‌گیری باوجود کاهش هزینه اکسترنالیتی[1]، هزینه سرمایه‌گذاری را افزایش می‌دهد.



نمودار ۸. مقایسه روند هزینه‌های اجتماعی تولید برق در سناریوهای مختلف

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۶. مقایسه روند هزینه‌های اجتماعی تولید برق در سناریوهای مختلف (میلیون دلار)

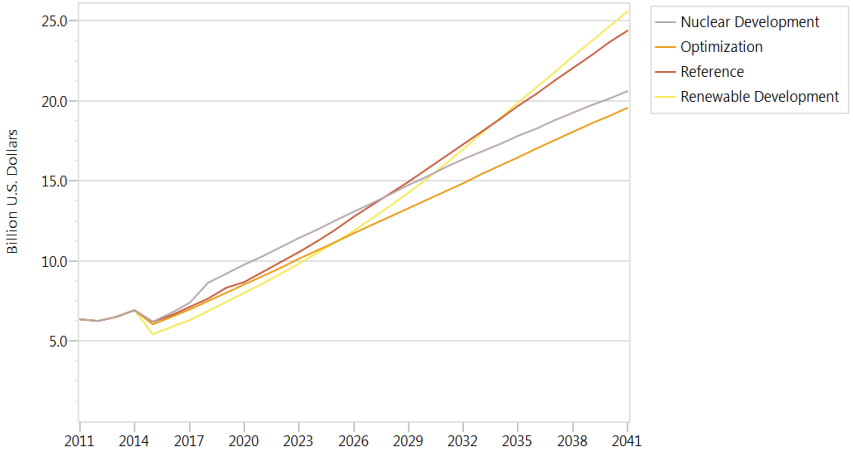
سناریو/ سال	۲۰۱۱	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۲۱	۲۰۲۶	۲۰۳۱	۲۰۳۶	۲۰۴۱	a.g (%)
مرجع	۵۰۳۰/۱۰	۴۲۶۹/۰۲	۴۳۶۹/۲۸	۴۶۷۸/۵۵	۴۹۴۱/۴۹	۴۹۲۷/۵۱	۴۷۳۹/۸۵	۴۳۹۳/۹۱	-۰/۴۶
بهینه مرجع	۵۰۳۰/۱۰	۴۱۸۲/۹۹	۴۲۶۴/۸۷	۴۵۳۰/۰۱	۴۵۷۹/۴۸	۴۳۷۸/۲۰	۴۰۶۱/۰۷	۳۶۵۳/۷۳	-۱/۰۶
توسعه منابع تجدیدپذیر	۵۰۳۰/۱۰	۳۷۹۱/۵۰	۳۸۴۶/۷۵	۴۱۶۴/۸۳	۴۴۱۶/۴۹	۴۶۹۱/۲۲	۴۸۱۶/۶۱	۴۶۳۹/۱۶	-۰/۲۷
توسعه انرژی هسته‌ای	۵۰۳۰/۱۰	۴۳۴۱/۱۸	۴۴۹۰/۸۷	۴۹۱۹/۳۳	۴۸۴۴/۸۴	۴۵۷۱/۰۱	۴۱۷۰/۴۳	۳۶۹۸/۴۷	-۰/۴۵

منبع: یافته‌های تحقیق

1. Environment externalities cost

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

آخرین شاخص مقایسه بین سناریوهای مختلف، مقایسه بین کل هزینه تولید می‌باشد. برخلاف هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه اجتماعی جهت روشن شدن مقادیر، هزینه کل تولید برق در سناریوی به‌صورت واقعی نمایش داده خواهد شد. همان‌طور که از نمودار (۹) پیداست، مقدار هزینه تولید (به‌استثنای هزینه اکسترنالیتی) در سال‌های ابتدایی در سناریوی تجدیدپذیرها از موارد دیگر کمتر بوده و سپس با افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق، به‌تدریج زیاد شده و از سال ۲۰۳۳ به‌تدریج بیشتر شده و بالاتر از تمامی سناریوها قرار می‌گیرند.



نمودار ۹. مقایسه بین هزینه‌های تولید برق در سناریوهای مختلف

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۷. مقایسه روند هزینه واقعی تولید برق در سناریوهای مختلف (میلیارد دلار)

سناریو / سال	۲۰۱۱	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۲۱	۲۰۲۶	۲۰۳۱	۲۰۳۶	۲۰۴۱	a.g (%)
مرجع	۶/۳۶	۶/۷۹	۷/۳۹	۱۰/۳۲	۱۳/۰۸	۱۵/۸۴	۱۸/۲۸	۱۹/۵۸	۴/۵۸
بهینه مرجع	۶/۳۶	۶/۵۳	۶/۹۹	۹/۰۶	۱۱/۷۳	۱۴/۳۴	۱۷/۰۰	۱۹/۵۵	۳/۸۲
توسعه منابع تجدیدپذیر	۶/۳۶	۶/۶۵	۷/۱۲	۹/۳۰	۱۲/۷۸	۱۶/۵۰	۲۰/۴۵	۲۴/۳۷	۴/۷۵
توسعه انرژی هسته‌ای	۶/۳۶	۶/۸۸	۶/۳۳	۸/۶۰	۱۱/۸۸	۱۶/۰۲	۲۰/۸۳	۲۵/۵۷	۳/۹۹

منبع: یافته‌های تحقیق

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

در سال ۲۰۳۰، از نظر شاخص هزینه تولید برق بعد از سناریوی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، سناریوی مرجع و سپس سناریوهای توسعه انرژی هسته و در پایین‌ترین سطح، سناریوی مرجع بهینه قرار گرفته است. درصورتی‌که هزینه اکسترنالیتی نیز به هزینه تولید افزوده شود، در آن صورت بالاترین هزینه تولید مربوط به سناریوی مرجع بوده، سناریو توسعه تجدیدپذیرها در رتبه دوم، سناریوی مرجع بهینه در رتبه سوم و در نهایت توسعه انرژی‌های هسته‌ای (به‌دلیل محدود شدن انتشار گازهای گلخانه‌ای) در رتبه کف قرار می گیرد. به هر صورت در این قسمت شاخص هزینه تولید، بدون احتساب هزینه‌های اکسترنالیتی خواهد بود. بررسی نتایج کمی مدل (جدول ۷ حاکی از آن است که میزان هزینه تولید برق در سال ۲۰۱۱ حدود ۶/۳۶ میلیارد دلار (با احتساب قیمت‌های فعلی سوخت خوراک) می‌باشد که انتظار می‌رود مقدار آن در سال ۲۰۳۰، در سناریوی مرجع با میانگین رشد سالانه ۴/۵۸ درصد به ۲۰/۵۸ میلیارد دلار، در سناریوی مرجع بهینه با میانگین رشد سالانه ۳/۸۲ درصد به ۱۹/۵۵ میلیارد دلار، در سناریوی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر با میانگین رشد سالانه ۴,۷۵ درصد به ۲۴/۳۷ میلیارد دلار و در سناریوی توسعه انرژی هسته ای نیز با میانگین رشد سالانه ۳/۹۹ درصد به ۲۵/۵۷ میلیارد دلار برسد.

۶- اولویت‌بندی سناریوها

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، فرایند برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو شامل سه فعالیت اصلی می‌باشد: نوشتن سناریوها، تحلیل سناریوها و تصمیم‌گیری می‌باشد و فرآیند سناریونگاری زمانی مفید واقع می شود که به تصمیم گیری در خصوص آینده منتهی گردد. بنابراین با توجه به طراحی، تحلیل و مقایسه سناریوهای مطروحه، انتخاب یک سناریو به عنوان سناریوی برتر بیانگر مفید واقع شدن سناریونگاری و آینده پژوهی در این مقاله خواهد بود.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

جدول ۸. تحلیل نهایی هزینه فایده برای انتخاب سناریوی برتر با هدف‌گذاری ۲۰ درصدی تجدیدپذیرها

	بهینه مرجع	توسعه منابع تجدیدپذیر	توسعه انرژی هسته‌ای
سمت تقاضا[1]	–	–	–
تقاضای برق	–	–	–
سمت عرضه[2]	-۱۰/۲۲۴	+۵/۱۹۷	+۸/۱۵۱
عرضه برق	-۱۰/۲۲۴	+۵/۱۹۷	+۸/۱۵۱
منابع انرژی	+۵/۵۶۵	+۲/۱۳۴	+۴/۷۸۲
تولید انرژی	-۳/۹۳۳	-۴/۸۱۱	-۱۸/۵۵۵
واردات	+۹/۴۹۸	-۵/۲۳۲	-۲۳/۳۳۷
صادرات	–	+۱۲/۱۷۷	–
نیاز تأمین نشده	–	+	–
هزینه‌های زیست‌محیطی[3]	-۱/۱۱۴	-۱۲/۴۷۷	-۱۳/۶۰۲
هزینه‌های غیر انرژی	–	–	–
خالص ارزش کنونی[4]	-۵/۷۷۳	-۵/۱۴۷	-۰/۶۷۰
کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (Mill Tonnes CO_2e)	+۳۱۶/۱۱۴	+۱۳۱۲/۶۴۹	+۳۳۶۸/۴۲۸
هزینه کاهش گازهای گلخانه‌ای هر سناریو (U.S. Dollar/Tone CO_2e)	+۱۸/۲۶۲	-۳/۹۲۱	-۰/۱۹۹

منبع: یافته‌های تحقیق

منافع و هزینه‌های همفزون (تجمیعی) تنزیل یافته بین ۲۰۱۱-۲۰۴۱ نسبت به سناریوی مرجع

واحد: میلیارد دلار آمریکا

علامت (-) بیانگر منافع بوده و علامت (+) نیز بیانگر هزینه می‌باشد.

1. Demand Side
2. Supply Side
3. Externality Costs
4. Net Present Value

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

جدول ۹. تحلیل نهایی هزینه فایده برای انتخاب سناریوی برتر با هدف‌گذاری ۱۰ درصدی تجدیدپذیرها

	بهینه مرجع	توسعه منابع تجدیدپذیر	توسعه انرژی هسته‌ای
سمت تقاضا	-	-	-
تقاضای برق	-	-	-
سمت عرضه	-۱۰/۲۲۴	-۱۱/۵۴۸	+۸/۱۵۱
عرضه برق	-۱۰/۲۲۴	-۱۱/۵۴۸	+۸/۱۵۱
منابع انرژی	+۵/۶۵۶	+۸/۵۶۹	+۴/۷۸۲
تولید انرژی	-۳/۹۳۳	-۰/۰۳۵	-۱۸/۵۵۵
واردات	+۹/۴۹۸	-۳/۵۷۴	+۲۳/۳۳۷
صادرات	-	+۱۲/۱۷۷	-
نیاز تأمین نشده	-	-	-
هزینه‌های زیست‌محیطی	-۱/۱۱۴	-۱۰/۴۶۸	-۱۳/۶۰۲
هزینه‌های غیر انرژی	-	-	-
خالص ارزش کنونی	-۵/۷۷۳	-۱۳/۴۴۷	-۰/۶۷۰
کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (Mill Tonnes CO_2e)	+۳۱۶/۱۱۴	+۷۲۸/۶۰۱	+۳۳۶۸/۴۲۸
هزینه کاهش گازهای گلخانه‌ای هر سناریو (U.S. Dollar/Tone CO2e)	-۱۵/۲۶۲	-۱۸/۴۵۶	-۰/۱۹۹

منبع: محاسبات محقق

منافع و هزینه‌های هم‌فزون (تجمیعی) تنزیل یافته بین ۲۰۴۱-۲۰۱۱ نسبت به سناریوی مرجع

واحد: میلیارد دلار آمریکا

علامت (-) بیانگر منافع بوده و علامت (+) نیز بیانگر هزینه می‌باشد.

در این مقاله، انتخاب سناریوی برتر با استفاده از قابلیت‌های هزینه- فایده نرم‌افزار LEAP انجام می‌گیرد، به این صورت که مدل تمام هزینه‌ها و منافع اجزای مختلف سیستم برق نسبت به سناریوی مرجع را به سال پایه با نرخ تنزیل مشخصی (در اینجا ۵ درصد) تنزیل نموده و بر اساس شاخص خالص ارزش کنونی، امکان تصمیم گیری در مورد سناریوها را فراهم می‌نماید. در این پروژه، ارزش خالص فعلی

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

سناریوی مرجع بهینه، ۵/۷۷۳ میلیارد دلار، سناریوی توسعه انرژی های تجدیدپذیر ۵/۱۴۷ میلیارد دلار و توسعه برق هسته‌ای نیز حدود ۰/۶۷۰ میلیارد دلار می‌باشد، بنابراین همان‌طور که از جزئیات جدول (۸) مشخص است سناریو مرجع بهینه به‌عنوان سناریوی برتر انتخاب شده و سناریوی توسعه برق تجدیدپذیر (با هدف‌گذاری ۲۰ درصد از سهم تولید) با فاصله اندکی در رتبه دوم قرار می‌گیرد.

همان‌طور که در جدول (۹) ملاحظه می‌شود، در تحلیل هزینه - فایده برای انتخاب سناریوی برتر، سناریوی تجدیدپذیرها با هدف گذاری ۱۰ درصدی در رتبه نخست قرار گرفته و سناریوی مرجع بهینه با فاصله در رتبه دوم و توسعه انرژی هسته‌ای کماکان در رتبه آخر قرار خواهد گرفت، چرا که در صورت هدف گذاری ۱۰ درصد از تولید کل تولید برق به برق تجدیدپذیر میزان شاخص NPV نسبت به هدف‌گذاری ۲۰ درصد بیش از ۲ برابر می‌شود و دلیل اصلی این تغییر میزان حجم سرمایه بر بودن تکنولوژی برق تجدیدپذیر است.

نکته حائز اهمیت اینکه در مطالعه رازینی و همکاران (۱۳۸۹) با عنوان "سناریونگاری با هدف آینده پژوهی در صنعت تولید برق ایران" که مبنای انجام این مطالعه می‌باشد، صرفاً به تدوین و تحلیل سناریوهای محتمل برای تأمین تقاضای انرژی الکتریکی در آینده پرداخته شده و به قضاوت در مورد سناریوها پرداخته نشده و بررسی این مسئله به تحقیقی دیگر موکول شده است. در تحقیق جاری با تاسی از این مطالعه ارزنده، ضمن بررسی و تحلیل اثرات سیاست‌های انرژی کشور در حوزه تولید برق برروی سهم انواع نیروگاه‌ها در آینده، با به‌کارگیری قابلیت هزینه- فایده ابزار مدل‌سازی LEAP به اولویت‌بندی سیاست‌های انرژی در توسعه نیروگاه‌های کشور جهت تأمین تقاضای برق در بلندمدت پرداخته شده و این امر موجب تمایز تحقیق حاضر با دیگر تحقیقات مشابه شده است.

۶- جمع‌بندی و پیشنهاد

با اجرای سیاست توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر (با هدف‌گذاری ۲۰ درصد در سال ۱۴۲۰) و پیش‌بینی روند افزایش سهم نیروگاه‌های تجدیدپذیر و کاهش سهم نیروگاه‌های فسیلی در افق این سناریو، میزان صرفه‌جویی مصرف انرژی، حاصل از

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

اجرای این سیاست/ سناریو نسبت به سناریوی مرجع (تداوم روند فعلی)، مطابق نمودار ۵ و جدول ۳، قابل برآورد است. میزان پتانسیل صرفه‌جویی مصرف سوخت نیروگاه‌ها در سناریوی توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر از تفاضل مصرف سوخت در نیروگاه‌های دو سناریوی توسعه منابع تجدیدپذیر و سناریوی مرجع از سال ۲۰۱۵ تا سال ۲۰۴۱ به دست می‌آید، که جمعاً بالغ بر ۲۶۹۳/۷ تریلیون کیلوکالری، برآورد شده است. این میزان صرفه‌جویی در مصرف سوخت، جمعاً معادل ۲۸۱۳۸/۷۸ میلیون دلار صرفه‌جویی هزینه به همراه دارد (بر مبنای ترازنامه انرژی ایران ۱۳۹۳- ۱۳۹۰). همچنین با عنایت به روند کاهش سهم منابع فسیلی و افزایش سهم منابع انرژی تجدیدپذیر در تولید برق تا ۲۰۴۱ و به تبع آن کاهش مصرف سوخت در این سناریو نسبت به سناریوی مرجع، انتظار می‌رود میزان کل انتشار گازهای آلاینده در این سناریو نسبت به سناریوی مرجع نیز کاهش می‌یابد، خروجی مدل‌سازی این امر را تأیید می‌نماید. مطابق خروجی مدل‌سازی سناریو توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر برآورد می‌شود: روند انتشار گازهای گلخانه‌ای از میزان ۱۸۲/۸۰ میلیون تن در سال ۲۰۱۱ با میانگین رشد سالانه حدود ۲/۳۹ درصد در سال، به بیش از ۳۷۱ میلیون تن افزایش یابد. این میزان در سناریوی مرجع با رشد ۳/۰۳ درصد به میران ۴۴۸/۰۴ میلیون تن افزایش می‌یابد؛ بنابراین با اجرای سناریو توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر، میزان پتانسیل عدم انتشار گازهای گلخانه‌ای در این سناریو نسبت به سناریوی مرجع در بازه سال ۲۰۱۵ تا ۱۴۲۱ (مطابق نمودار ۶ و جدول ۴)، از تفاضل میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دو سناریو محاسبه و جمعاً برابر ۱۳۱۲/۵۸ میلیون تن معادل Co_2 برآورد می‌شود و این میزان جمعاً معادل ۳۰۸۳۰/۵۲ میلیون دلار نسبت به سناریوی مرجع صرفه‌جویی هزینه[1] به همراه خواهد داشت (مطابق ترازنامه انرژی ایران ۱۳۹۳- ۱۳۹۰).

باوجود اذعان به اینکه بهینه‌سازی سیستم برق هم از نظر ترکیب ظرفیت، هم بهره‌برداری و دیسپاچینگ می‌تواند منافع کوتاه‌مدت و بلندمدت قابل توجهی در سطح ملی داشته باشد. با توجه به نزدیکی خالص ارزش کنونی سناریوی مرجع بهینه و سناریوی توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر، نتیجه مدل‌سازی سناریوی مبتنی بر توسعه برق تجدیدپذیر (با هدف‌گذاری توسعه ۲۰ درصدی) را به‌عنوان سناریو یا سیاست ارجح

1. Externalities Cost

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

معرفی می‌کند. محققین، با عنایت به ضرورت توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر (امنیت انرژی، آلودگی زیست‌محیطی، اشتغال و ...)، همچنین وجود پتانسیل مناسب این منابع در ایران، هدف گذاری توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر تا نقطه ۲۰ درصد از سهم تولید را به واقعیت نزدیک‌تر می‌دانند، با توجه به مزیت‌های به‌کارگیری این منابع و همچنین جهت‌گیری نظام جمهوری اسلامی ایران در حرکت به سمت اقتصاد بدون نفت، مؤلفین مقاله اجرای سیاست توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر در تولید برق ایران را به دست اندرکاران و تصمیم‌گیران انرژی کشور پیشنهاد می‌دهند.

در پایان با توجه به این امر که دستیابی به توسعه مطلوب و پایدار انرژی، با اجرای توأمان دو سیاست بهینه‌سازی سیستم انرژی و ایجاد تنوع در سیستم عرضه انرژی (به‌کارگیری منابع انرژی تجدیدپذیر) میسر است، با توجه به احراز رتبه نخست سناریوی مرجع بهینه، در اولویت‌بندی سناریوها بر مبنای شاخص NPV در این تحقیق، همچنین آگاهی از مزایای حاصل از اجرای این سناریو و سناریوی توسعه به‌کارگیری منابع انرژی تجدیدپذیر، مؤلفین مقاله، با توجه به قابلیت مدل‌سازی LEAP در طراحی و تحلیل سناریوهای تلفیقی، در تحقیقی دیگر با طراحی سناریوی تلفیقی (سناریوی توسعه به‌کارگیری منابع انرژی تجدیدپذیر و سناریوی مرجع بهینه) به بررسی و تحلیل شرایط اجرای این سناریوی تلفیقی در کنار ۴ سناریوی طراحی شده خواهند پرداخت.

منابع

آمار تفصیلی صنعت برق ایران ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴، شرکت توانیر

استادزاده، علی حسین (۱۳۹۲). "پیش‌بینی بلندمدت سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر از کل انرژی در قالب یک الگو رشد پایدار: مورد ایران ۱۳۸۷-۱۴۲۰"، مجله پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری انرژی، سال یکم، بهار ۱۳۹۲، شماره ۱، صفحات ۲۸- ۵

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

اشراقی،هـای، ملکـی، عبـاس، وکیلـی، علـی (۱۳۹۲). " شـبیه‌سـازی تقاضـا و عرضـه حامل‌های انرژی تا سال ۲۰۳۵ در ایران با استفاده از مـدل‌سـاز LEAP"، پـژوهش‌هـای برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری انرژی، سال اول، شماره ۳، صفحات ۱۳۶-۱۱۳

انجمـن جهـانی سیاسـت‌گـذاری انـرژی‌هـای تجدیدپـذیر (۲۰۱۲). آینـده انـرژی‌هـای تجدیدپذیر، ترجمه ناهید فرازمند (۱۳۹۳). تهران، انتشارات آریانا قلم

ترازنامه انرژی وزارت نیرو-۱۳۹۰ (۱۳۹۱). دفتـر برنامـه‌ریـزی و اقتصـاد کـلان بـرق و انرژی، وزارت نیرو

ترازنامه انرژی وزارت نیرو- ۱۳۹۳ (۱۳۹۵). دفتر برنامـه‌ریـزی و اقتصـاد کـلان بـرق و انرژی، وزارت نیرو

ترازنامه هیدروکربوری، مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی و معاونت برنامه‌ریزی. نظـارت راهبردی وزارت نفت، وزارت نفت، ۱۳۹۳

سری زمانی ترازنامه انرژی ۱۳۹۳- ۱۳۴۶، وزارت نیرو، ۱۳۹۴

شفیعی، احسان، آریان پور، وحید، گودرزی راد، رضـا، داراب، سـمیه (۱۳۹۳). "گـزارش برنامه بلندمدت توسعه بخش انرژی کشور"، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انـرژی، وزارت نیرو

رازینـــی، صـــالح، مقـــدس تفرشـــی، سیدمســـعود، بطحـــایی، ســـیدمحدتقی (۱۳۸۹). "سناریونگاری با هدف آینده پژوهی در صـنعت بـرق ایـران"، نشـریه انـرژی، دوره ۱۳، شماره ۳، صفحات ۱۴-۱

کچویی، محمد صادق، عمیدپور، مجید (۱۳۹۵). "تحلیل سناریو درباره پتانسیل کـاهش گازهای گلخانه‌ای در بخش تولید برق ایران بـا اسـتفاده از مـدل‌سـاز LEAP "، نشـریه انرژی ایران، دوره ۱۹، شماره ۳، صفحات ۱۱۶-۱۰۱

گزارش ۴۷ سال صنعت برق ایران در آیینه آمار ۱۳۹۲-۱۳۴۶ (۱۳۹۳). شرکت توانیر

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]

مرادی، محمدعلی، احمدی، سمیه، عمیدپور، مجید (۱۳۹۲). "توسعه مدل تقاضای انرژی در سطح ملی با استفاده از مدل‌ساز LEAP"، پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری انرژی، سال اول، شماره ۳، صفحات ۸۲-۵۱

Heap, C., (2011), LEAP User Guide, Stockholm Environment Institute.

Parka, Nyun-Bae, Sun-Jin Yunb and Eui-Chan Jeona (2013), "An analysis of long-term scenarios for the transition to renewable energy in the Korean electricity sector", Energy Policy, vol. 52.

REN21. 2015. Renewable 2015: Global status report (Paris: REN21 Secretariat)

IEA, (2013), Updated Capital Cost Estimates for utility Scale Electricity Generation Plants, Energy Information Administration (EIA), 2013

IEA, (2012), World Energy Outlook 2011, International Energy Agency, Paris

.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-10-18]