سناریونگاری با هدف آینده پژوهی در صنعت تولید برق ایران

صالح رازینی[۱و*]، سید مسعود مقدس تفرشی[۲]، سید محمد تقی بطحایی[۳]

تاریخ دریافت مقاله:
۱۳۸۹/۵/۳
تاریخ پذیرش مقاله:
۱۳۸۹/۷/۶

چکیده:

در این مقاله به منظور آینده پژوهی در موضوع توسعه نیروگاهی در ایران جهت تامین تقاضای برق در بلند مدت، سناریوهایی طراحی و تحلیل شده است. هدف این مطالعه بررسی اثرات سیاست های انرژی کشور در حوزه تولید برق بر روی سهم انواع نیروگاه ها در آینده می باشد. از آنجا که منابع انرژی قابل استفاده برای تولید برق در ایران به سه دسته کلی منابع فسیلی، هسته ای و تجدیدپذیر قابل تقسیم می باشد، سه سناریو برای آینده صنعت برق که هرکدام مبتنی بر یکی از منابع یاد شده می باشد، طراحی و مطالعه خواهد شد. برای این منظور با مطالعه وضعیت فعلی عرضه و تقاضای انرژی الکتریکی در ایران، روندهای محتمل برای آینده تولید برق در کشور بررسی و پاسخ های محتمل برای این پرسش که « چه زمانی، چه نیروگاه هایی و با چه ظرفیتی باید ساخته شود تا بتوان تقاضای برق را به نحو مطلوبی تامین کرد؟» واکاوی می گردد. در این راستا به کمک نرم افزار LEAP سه سناریو برای تامین تقاضا تا ۲۰ سال آینده طراحی و در قالب برنامه های ۵ ساله ارائه می گردد. نتایج به دست آمده گویای این مطلب است که سهم منابع فسیلی تا سال ۱۴۰۹ در سناریو مبتنی بر انرژی های فسیلی که همان ادامه روند موجود می باشد حدود ۸۲ درصد خواهد بود. در حالیکه اگر سیاست توسعه استفاده از انرژی هسته ای اتخاذ گردد (سناریو دوم) سهم منابع فسیلی به حدود ۶۷ درصد و در صورت تاکید بر گسترش بهره برداری از انرژی های تجدیدپذیر به حدود ۷۰ درصد خواهد رسید.

کلمات کلیدی:
برنامه ریزی بلندمدت، تولید برق در ایران، سناریونگاری

۱) دانشکده برق ، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
۲) دانشکده برق ، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران ، Tafreshi@eetd.kntu.ac.ir
۳) دانشکده برق ، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران ، bathaee@kntu.ac.ir
* نویسنده مسئول، Razinisaleh@ee.kntu.ac.ir

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

مقدمه

از گذشته های دور بشر همواره در پی درک آینده بوده است. اما مطالعات آینده و آینده پژوهی، حوزه پژوهشی نسبتاً جدیدی است که قلمرو آن همه عرصه های معرفت نظری و تکاپوهای علمی آدمی را در می نوردد. آینده پژوهی، دانش و معرفتی است که توانایی انتخاب های هوشمندانه ی مردم و جامعه را افزایش داده و به همگان اجازه می دهد تا بدانند که به کجاها می توانند بروند و به کجاها باید بروند[۴].

از جمله روش های شناسایی آینده، سناریونگاری و یا برنامه ریزی مبتنی بر سناریو است. این روش یکی از روش های متداول جهت مقابله با عدم قطعیت در محیط است که به دلیل قابلیت هایش در به تصویرکشیدن آینده های محتمل از محبوبیت روز افزونی در نزد برنامه ریزان برخوردار شده است[۱]. ایده اصلی نهفته در سناریو نگاری، برنامه ریزی برای آینده است به گونه ای که شگفتی ها و شوکهای احتمالی در آن کاهش یافته و تفکر مدیران نسبت به حوادث ممکن بسط و گسترش بیشتری یابد[۳].

اگرچه برنامه ریزی مبتنی بر سناریو برای اهداف نظامی ابداع شده ولی این قابلیت را نیز دارد که برای طراحی برنامه ساخت منابع برق نیز استفاده شده تا از عهده تقاضای نامعین برق در آینده برآید[۱۰]. این روش، راهی مفید برای طراحی برنامه های زیرساختی بلند مدت به منظور تامین تقاضای نامشخص برق در آینده می باشد. چراکه به کمک این روش، ایجاد مجموعه ای از حالات ممکن که وابسته به مسیرهای سیاستی و فنی گوناگونی می باشند، میسر گشته تا عدم قطعیت های موجود در مسائل انرژی، اقتصادی و زیست محیطی به طور موثری لحاظ گردند[۱۱].

برنامه ریزی مبتنی بر سناریو در حوزه انرژی در نقاط مختلف دنیا مورد توجه می باشد. در کالیفرنیا برای برنامه ریزی انرژی تا سال ۲۰۳۵، چهار سناریو مطرح و تحلیل شده است[۹]. در چین نیز با هدف درک بهتر مسیرهای ممکن برای توسعه برق برحسب منابع سوخت و میزان انتشار گازهای گلخانه ای از این روش استفاده شده است[۸]. دو مطالعه در حوزه انرژی نیز در تایلند صورت گرفته است. در یک مطالعه برای بیان فرصت ها و محدودیت های وابسته به هر یک از گزینه های فنی و سیاستی در بخش برق تایلند، سناریوهایی طراحی و تحلیل شده است[۱۱] و در مطالعه ی دیگر ادعا شده که برنامه ریزی مبتنی بر سناریو این قابلیت را دارد که به میزان قابل توجهی هزینه های تولید برق را در بلند مدت در تایلند کاهش دهد[۱۰]. برای تامین تقاضای آینده ی برق در اندونزی نیز طی مطالعه ای از برنامه ریزی مبتنی بر سناریو استفاده شده است[۶].

در این مقاله نیز برای برنامه ریزی توسعه نیروگاه های کشور به منظور تامین تقاضای برق در بلند مدت سناریوهایی با استفاده از نرم افزار LEAP (Long-range Energy Alternative Planning) طراحی و تحلیل شده اند. از آنجا که منابع انرژی قابل استفاده برای تولید برق در ایران را می توان به سه دسته منابع فسیلی، هسته ای و تجدیدپذیر تقسیم نمود، برای بررسی اثرات سیاست های انرژی ایران، سه سناریو که هرکدام مبتنی بر یکی از منابع یاد شده می باشد، برای آینده صنعت برق طراحی و مطالعه می گردد. به این منظور ابتدا در بخش دوم روش برنامه ریزی مبتنی بر سناریو معرفی می شود. سپس کلیاتی در مورد برنامه ریزی مبتنی بر سناریو در صنعت برق ایران در بخش سوم بیان می گردد. داده ها و فرضیات مورد استفاده برای سناریو سازی در بخش چهارم استخراج شده و در بخش پنجم سه سناریو برای آینده عرضه برق کشور طراحی و نتایج آنها تحلیل می گردد و نهایتا جمع بندی و نتیجه گیری در بخش ششم خواهد آمد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

برنامه ریزی مبتنی بر سناریو

سناریو نگاری اولین بار بعد از جنگ جهانی دوم به عنوان روشی در برنامه ریزی های نظامی مطرح شد. در دهه ۱۹۶۰ "هرمان کان" که یکی از اعضای پروژه سناریو نگاری برای نیروی هوایی امریکا بود، این روش را به دنیای تجارت معرفی کرد. در اوایل دهه ۱۹۷۰سناریو و سناریو نگاری ابعاد تازه ای گرفت. "پیر واک" این روش را به مدیران شرکت نفتی رویال داچ شل معرفی کرده و موجب ارتقا این شرکت با وجود بحران نفتی دهه ۷۰ گردید[۴،۳،۱].

با وجود اینکه سناریو نگاری و پیش بینی هر دو به مطالعه آینده می پردازند اما این دو روش از جهات مختلفی با یکدیگر فرق دارند. سناریو طیفی از خروجی های ممکن را که از عدم قطعیت ها به دست می آید بررسی می کند ولی هدف پیش بینی تعیین محتمل ترین مسیر با تخمین زدن عدم قطعیت ها است. در نتیجه اگر اطلاعات موجود گسترده بوده و امکان فهم مسائل دینامیکی زیاد باشد، مدلهای پیش بینی موثرتر خواهند بود. ولی چناچه سیستم به خوبی شناخته نشده باشد و ارتباط متقابل عوامل، ثبات و قابلیت پیش بینی کمی داشته باشد پیش بینی ها برای توصیف فرآیند تغییرات چندان مفید نیست[۹]. به عبارت دیگر سناریوها مبتنی بر پیش بینی محتمل ترین آینده نیستند بلکه آنها چندین آینده ممکن را در نظر گرفته که هرکدام از آنها ممکن است اتفاق بیفتد[۱۰].

تعاریف متعددی برای سناریو ارائه شده است. طبق تعریف فاستر، سناریو شرحی از آینده محتمل بر اساس مجموعه ای از عوامل سازگار در چارچوبی از پیش فرضهای مشخص است و شامل عوامل کمی و کیفی می شود[۱]. پیتر شوارتز سناریو را ابزاری برای نظم دهی به ادراک یک فرد درباره محیط های محتمل آینده که تصمیم های فرد در آن محیط ها گرفته خواهد شد، تعریف کرده است[۳] و طبق بیان رینگلند "می توان گفت که سناریو داستانی توصیفی از گزینه های موجهی است که به بخش خاصی از آینده نظر دارد"[۴].

فرآیند برنامه ریزی مبتنی بر سناریو سه فعالیت اصلی دارد: نوشتن سناریوها، تحلیل سناریوها و تصمیم گیری[۶]. در طراحی سناریوها باید به نکاتی توجه داشت ازجمله اینکه سناریوها باید مستقیما با طرح ذهنی و نگرانی های کاربران ارتباط داشته باشد. همچنین سناریوها باید سازگاری درونی داشته تا موثر واقع شوند. سناریو ها به جای تغییر در یک قالب ثابت، باید اساسا آینده های متفاوتی را توصیف کنند و هرکدام حالت تعادل و وضعیت ماندگاری را در برهه ای از زمان توصیف نمایند نه اینکه بسیار گذرا باشند[۷].

برنامه ریزی مبتنی بر سناریو علاوه بر دارا بودن مزیت های متعدد دارای معایبی نیز می باشد. عدم قطعیت در نتیجه گیری و ندادن یک پاسخ برای هر تصمیم، بیش از اندازه گرایش داشتن به کلیات و جامع بودن و در نتیجه کاهش قوه شهودی مدیران برای پیدا کردن راه حل ها، کیفی بودن روش ها و جواب های سناریو در بیشتر موارد، زمانبر بودن و نیاز به آموزش برای استفاده از این روش و عدم انتشار نتایج استفاده از این روش توسط اکثر شرکت هایی که از سناریو برای تدوین تصمیم گیری استفاده می کنند، از جمله معایب برنامه ریزی مبتنی بر سناریو است[۴].

با مطالعه مقالات مختلف در مورد برنامه ریزی مبتنی بر سناریو، دو رویکرد مختلف برای استفاده از سناریونگاری جلب توجه می نماید: در برخی از مقالات از سناریوها به عنوان ابزاری برای بررسی عدم قطعیت ها استفاده می شود. در این نگاه آنچه در محتوای سناریوها نقش اصلی را ایفا می کند عوامل غیرقابل کنترل بیرونی و عدم قطعیت هایی است که در سیستم مورد مطالعه وجود دارد و هر سناریو با فرض تحقق یکی از این عدم قطعیت ها، روندهای آینده ی سیستم را به تصویر می کشد. نقش سیاست گذاران در این رویکرد برنامه ریزی برای کسب آمادگی به منظور مقابله با نتایج وقوع هریک از عدم قطعیت های احتمالی است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

اما در رویکرد دوم این سیاست گذاران هستند که در هر سناریو تعیین کننده می باشند. در این نگاه، از سناریونگاری برای بررسی اثرات سیاست های مختلفی که ممکن است در آینده اتخاذ گردد استفاده می شود. یعنی در این رویکرد برنامه ریزان در هر سناریو با فرض اتخاذ یک سیاست نتایج آن سیاست را در روندهای آینده بررسی کرده و هر سناریو بیانگر نتایج یک سیاست خواهد بود.

این مقاله نیز رویکرد دوم را به سناریونگاری داشته و به بررسی نتایج سیاست های انرژی ایران برای توسعه استفاده از هر یک از منابع انرژی در تولید برق می پردازد.

برنامه ریزی مبتنی بر سناریو درصنعت برق ایران

زمانبر بودن پروژه های برق و وابسته بودن آنها به اقتصاد، برنامه ریزی برای آینده ی شبکه برق را ضرورت می بخشد تا بتوان تقاضای برق را به موقع و اقتصادی برآورده کرد. برنامه ریزان معمولا با مشاهده روندهای گذشته ی تقاضا و ارتباط آنها با روندهای اقتصادی به پیش بینی تقاضا می پردازند. از آنجا که عملکرد اقتصادی قطعی نیست این کار عدم قطعیت را وارد برنامه ریزی می نماید[۶]. به عنوان نمونه مروری بر پیش بینی های انرژی در امریکا طی ۵۰ سال اخیر نشان داده است که پیش بینی های تاریخی برای بیان شرایط واقعی با ارزیابی بیش از حد مصرف و کمتر از حد عدم قطعیت ها معمولا با شکست مواجه شده است[۹].

با توجه به موارد فوق، با مطالعه وضعیت فعلی عرضه و تقاضای انرژی الکتریکی در ایران، روندهای محتمل برای آینده تولید برق در کشور بررسی می شود. هدف این مقاله بررسی پاسخ های محتمل برای این پرسش است که « چه زمانی، چه نیروگاه هایی و با چه ظرفیتی باید ساخته شوند تا بتوان تقاضای برق را به نحو مطلوبی تامین کرد؟». برای این منظور به کمک نرم افزار «برنامه ریزی بلندمدت گزینه های انرژی LEAP» سه مسیر مختلف برای تامین تقاضا در آینده طراحی می شود که در قالب برنامه های ۵ ساله ارائه خواهد شد. هر یک از این مسیرها ناشی از رویکردی متفاوت در مورد اولویت توسعه ی بهره برداری از منابع اولیه انرژی در نیروگاه های جدید می باشد که بر این اساس سه سناریو پیشنهاد می گردد که عبارتند از:

سناریو اول : اگر طبق روال گذشته تولید برق همچنان مبتنی بر سوختهای فسیلی باشد، چه برنامه ای برای ساخت نیروگاه های جدید در آینده باید داشته باشیم؟

سناریو دوم : اگر توسعه استفاده از انرژی هسته ای در تولید برق مد نظر ما باشد، چه برنامه ای برای ساخت نیروگاه های جدید در آینده باید داشته باشیم؟

سناریو سوم : اگر توسعه تولید برق از انرژی های تجدیدپذیر را در دستور کار قرار دهیم، چه برنامه ای برای ساخت نیروگاه های جدید در آینده باید داشته باشیم؟

داده ها و فرضیات

برنامه LEAP یکی از ابزارهای نرم افزاری پرکاربرد برای تحلیل سیاستهای انرژی و مدلسازی عرضه و تقاضای انرژی می باشد که توسط «موسسه محیط زیست استکهلم SEI» طراحی شده است. برای استفاده از این نرم افزار به مجموعه ای از داده ها در مورد وضعیت کنونی صنعت برق و فرضیاتی برای روندهای پیش روی این صنعت در آینده نیاز داریم. از آنجا که در هنگام انجام این مطالعه ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۸ منتشر نشده است، به منظور هماهنگی بین داده

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

ها، تمامی اطلاعات استفاده شده از ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۷[۵] استخراج گردیده است. با توجه به این مساله، وضعیت کنونی در برنامه ریزی انتهای سال ۱۳۸۷ و اولین سال اجرای برنامه، ابتدای سال ۱۳۸۸ در نظر گرفته شد.

تولید برق

تا پایان سال ۱۳۸۷ظرفیت نصب شده نیروگاهی کشور نزدیک به ۵۳ هزار مگاوات بوده است که این نیروگاه ها مجموعا در این سال بیش از ۲۱۴ میلیارد کیلووات ساعت انرژی الکتریکی تولید کرده اند. علاوه بر این به میزان ۱۶۸۴/۲میلیون کیلووات ساعت برق از کشورهای همسایه خریداری شده و در مقابل ۳۸۷۵/۳ میلیون کیلووات ساعت انرژی الکتریکی صادر گردیده است.

حداکثر بار تولیدی شبکه سراسری در سال ۱۳۸۷، ۳۴۱۶۹ مگاوات و ضریب بار شبکه برق کشور در این سال معادل ۷۱/۲٪ بوده است. متوسط بازدهی نیروگاه های وزارت نیرو در سال ۸۷ به ۳۶/۲٪ رسید در حالی که متوسط بازدهی نیروگاه های بخش خصوصی و صنایع بزرگ به ترتیب ۳۳/۱٪ و ۲۹/۵٪ بوده است. خلاصه اطلاعات بخش تولید برق کشور در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱: وضعیت تولید برق ایران در سال ۱۳۸۷ [۵]

نوع نیروگاه	ظرفیت (MW)	تولید ناویژه (GWh)	بازده
بخاری	۱۵۵۹۸	۹۵۹۱۷/۵	٪۳۶/۶
گازی	۱۸۰۷۶/۷	۵۶۱۹۴	٪۲۸/۹
سیکل ترکیبی	۱۱۱۱۶/۵	۵۷۰۱۵/۲	٪۴۴/۵
دیزلی	۴۱۸	۲۰۳/۹	٪۳۴/۴
آبی	۷۶۷۲/۵	۵۰۰۳/۴	–
بادی	۸۹/۸	۱۹۶/۳۱	–
خورشیدی	۰/۰۷۳	۰/۰۷۵	–

طبق برنامه های وزارت نیرو با مشارکت بخش خصوصی تا پایان سال ۱۳۹۳ بیش از ۵۴ هزار مگاوات ظرفیت جدید به نیروگاه های کشور اضافه خواهد شد. برنامه بهره برداری از این نیروگاه ها در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲: برنامه بهره برداری از نیروگاه های جدید (مگاوات) [۵]

سال	بخاری	زغال سوز	گازی	سیکل ترکیبی	آبی	اتمی	موتوپایه گازسوز
۱۳۸۸	۰	۰	۲۵۰	۲۵۷۱	۴۱۷	۰	۸۰
۱۳۸۹	۰	۰	۰	۴۶۸۲	۷۹۹	۵۰۰	۲۲۰
۱۳۹۰	۰	۰	۰	۱۰۸۵۴	۱۲۵۳	۵۰۰	۴۰۰
۱۳۹۱	۳۱۵	۰	۰	۱۲۲۴۰	۱۲۳۰	۰	۴۰۰
۱۳۹۲	۱۲۹۰	۶۵۰	۰	۸۰۷۲	۳۱۱	۰	۴۰۰
۱۳۹۳	۱۹۵۰	۰	۰	۱۷۶۴	۸۶۷	۰	۴۸۰

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

به علت فرسوده شدن نیروگاه های کشور با عبور آنها از عمر مفید اقتصادیشان، فرض می شود طی مرور زمان نیروگاه های موجود به تدریج از رده خارج شوند. البته به دلیل عمر زیاد و هزینه ی جاری کمی که نیروگاه های آبی دارند، تا ۲۰ سال آینده این نیروگاه ها از رده خارج نخواهند شد. عمر مفید نیروگاه های بخاری، گازی و سیکل ترکیبی در این مطالعه ۳۰ سال در نظر گرفته شد، لذا فرض می گردد نیروگاه های بخاری و گازی فعلی تا ۳۰ سال آینده به طور کامل از رده خارج شوند. ولی به دلیل جوان بودن نیروگاه های سیکل ترکیبی کشور فرض می شود از رده خارج شدن این نیروگاه ها از ۵ سال آینده شروع شده و این روند تا ۳۵ سال آینده پایان یابد.

با اجرای سیاست چند تعرفه شدن قیمت برق و همچنین صنعتی تر شدن کشور انتظار می رود منحنی تداوم بار سالیانه در سال های آتی بهبود یابد، از اینرو فرض می شود ضریب بار سالیانه کشور تا ۲۰ سال آینده به تدریج افزایش یافته و به مقدار ۷۵٪ برسد. همچنین حاشیه رزرو مطلوب برای ظرفیت تولید برق کشور ۲۵٪ در نظر گرفته شده است.

بازدهی نیروگاه های فعلی برای سال های بعد بدون تغییر فرض می شود ولی با توجه به استفاده از فناوری های جدید در آینده، بازدهی نیروگاه های بخاری، گازی و سیکل ترکیبی که بعد از این سال ساخته خواهند شد به ترتیب ۴۳٪ ، ۳۴٪ و ۵۵٪در نظر گرفته می شود.

افزایش صادرات برق می تواند سیاستی مناسب برای آینده صنعت برق باشد چراکه با وجود منابع اولیه انرژی فراوان در ایران مانند نفت و گاز، صادرات آنها به صورت خام چندان به صرفه به نظر نمی رسد در صورتی که می توان با تبدیل آنها به محصولات دیگر از جمله برق، ارزش افزوده بیشتری نصیب کشور نمود. از این رو فرض می شود صادرات برق به تدریج افزایش یافته و در ۲۰ سال آینده معادل ۵٪ تقاضای داخل، برق به کشورهای دیگر صادر گردد. همچنین برای بهبود منحنی بار و افزایش ضریب بار سالیانه می توان بخشی از نیاز کشور را در زمان های اوج مصرف وارد نمود. از این رو فرض می شود واردات برق از ۱٪ تقاضای داخل در سال۱۳۸۷ به ۱/۵٪ در سال ۱۴۰۹ برسد.

مصرف داخلی نیروگاه ها و تلفات

در سال ۸۷ حدود ۴۶ میلیارد کیلووات ساعت انرژی صرف مصرف داخلی نیروگاه ها و تلفات شبکه های انتقال و توزیع برق گردید. از این میزان سهم مصرف داخلی نیروگاه ها از تولید ناویژه آنها ۳/۹٪ و سهم تلفات شبکه انتقال و تلفات شبکه توزیع از تولید برق به ترتیب ۴/۴٪ و ۱۷/۵ ٪ بوده است. با توجه به سیاست های وزارت نیرو برای کاهش تلفات، فرض می شود مجموع تلفات شبکه های توزیع و انتقال از ۲۱/۹٪ در سال ۱۳۸۷ به تدریج کاهش یافته و در سال ۱۴۰۹ به ۱۵٪ برسد. از طرف دیگر به دلیل استفاده از فناوری های جدید در نیروگاه های آینده و همچنین بهبود عملکرد نیروگاه های فعلی، فرض می شود میانگین مصرف داخلی نیروگاه های کشور تا سال ۱۴۰۹ به ۳٪ تولید ناویژه برق برسد.

تقاضا

تقاضای کل برق در بخش های مختلف مصرفی در سال ۱۳۸۷ برابر ۱۶۵/۸ تراوات ساعت بوده است. با توجه به پیش بینی دفتربرنامه ریزی و نظارت بر توسعه شبکه ی شرکت مدیریت شبکه برق ایران نیاز مصرف در شبکه سراسری تا

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

سال ۱۳۹۵ سالانه حدود ۸٪ رشد خواهد داشت[۲]. ولی انتظار می رود به دلیل کنترل جمعیت، اعمال مدیریت مصرف انرژی، اصلاح الگوی مصرف، افزایش بازدهی وسایل مصرفی، واقعی شدن قیمت برق و تکمیل پروژه های برق رسانی به مناطق بدون برق، به تدریج از شدت رشد مصرف برق در کشور کاسته شود. به همین دلیل رشد مصرف برق در کشور تا ۲۰ سال آینده مطابق جدول ۳ فرض می شود. مطابق با این میزان رشد، تقاضا در سال ۱۴۰۹ به ۶۳۶/۷ تراوات ساعت خواهد رسید.

جدول ۳ : رشد سالیانه تقاضا طی ۲۰ سال آینده

دوره زمانی	درصد رشد تقاضا
۱۳۸۸-۱۳۹۵	٪۸
۱۳۹۶-۱۳۹۸	٪۷
۱۳۹۹-۱۴۰۱	٪۶
۱۴۰۲-۱۴۰۵	٪۵
۱۴۰۶-۱۴۰۹	٪۴

سناریو ها

سناریو اول: توسعه نیروگاه های فسیلی

با توجه به حجم وسیع منابع فسیلی ایران و زیرساخت های فراوان موجود در کشور، در این سناریو رویکرد «ادامه روند موجود» (Business as usual) مورد بررسی قرار می گیرد.

دسترسی آسان و ارزان به سوخت های فسیلی، باعث گسترش استفاده از آنها در نیروگاه های کشور طی سال های گذشته شده است. از دیگر امتیازات این نیروگاه ها می توان به بومی شدن نسبی فناوری به کار رفته در آنها اشاره کرد. از طرف دیگر توسعه نیروگاه های توربین گازی علاوه بر اینکه هزینه و زمان ساخت نسبتا کمی دارد، امکان بهره برداری بیشتر و با ارزش افزوده مضاعف از ذخایر گازی مشترک با کشورهای دیگر را برای ایران فراهم می کند.

در طرف مقابل، آلودگی های زیست محیطی، روند رو به اتمام ذخایر فسیلی و وابستگی بیش از حد به یک منبع انرژی از معایب توسعه چنین نیروگاه هایی است.

الف) فرضیات سناریو اول

در این سناریو نیروگاه های بخاری برای تامین بار پایه، سیکل ترکیبی برای تامین بار میانه و گازی برای تامین بار پیک در اولویت ساخت قرار می گیرد. همچنین فرض می شود فقط پروژه های نیروگاه آبی که هم اکنون در دست اجرا هستند به بهره برداری برسند و پروژه های آبی در دست مطالعه اجرایی نگردند. همچنین با وجود برنامه وزارت نیرو برای ساخت ۲۰هزار مگاوات نیروگاه هسته ای، فرض می شود تا ۲۰ سال آینده فقط ۶هزار مگاوات نیروگاه هسته ای به بهره برداری برسد. سایر نیروگاه ها نیز در الویت های بعدی در نظر گرفته می شود.

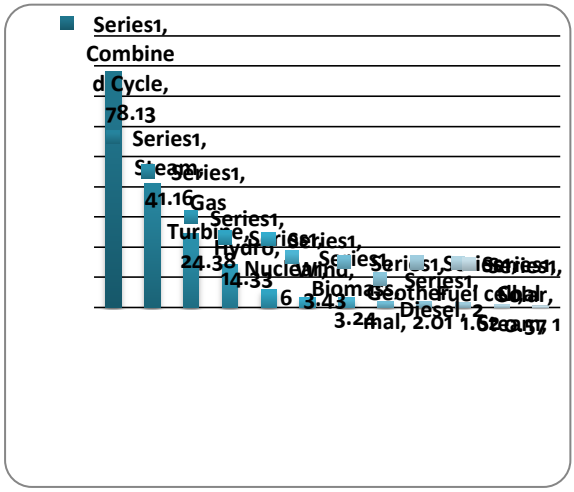
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

ب) نتایج سناریو اول

با وارد کردن داده ها و فرضیات در نظر گرفته شده در نرم افزار، نتایج سناریو توسعه نیروگاه های با سوخت فسیلی در قالب برنامه های ۵ ساله ی ساخت و بهره برداری از نیروگاه ها مطابق جدول ۴ به دست آمده است. همچنین ظرفیت هر نوع نیروگاه در سال ۱۴۰۹ در صورت تحقق این سناریو مطابق نمودار ۱ خواهد بود.

جدول ٤: برنامه های زمان بندی ۵ ساله برای بهره برداری از نیروگاه های جدید در سناریو فسیلی (هزار مگاوات)

	۱۳۸۸–۱۳۹۲	۱۳۹۳–۱۳۹۷	۱۳۹۸–۱۴۰۲	۱۴۰۳–۱۴۰۷	۱۴۰۷ – ۱۴۰۹	جمع
بخاری	۱/۶۱	۵/۷۵	۱۱/۶	۱۲/۲	۴/۸	۳۵/۹۶
گازی	۱/۷۵	۲/۳۳	۵/۸	۶/۱	۲/۴	۱۸/۳۸
سیکل ترکیبی	۳۸/۴۱	۵/۴۶	۱۱/۷	۱۲/۲	۴/۸	۷۲/۵۷
آبی	۴/۰۱	۱/۲۴	۱/۱۶	۰/۲۵	۰	۶/۶۶
هسته ای	۱	۱/۹	۳/۱	۰	۰	۶
زمین گرمایی	۰	۱/۹۱	۰/۱	۰	۰	۲/۰۱
بادی	۰/۰۲	۰/۴۶	۰/۱۶	۱/۲۲	۰/۴۸	۳/۳۴
خورشیدی	۰	۰	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۱	۰/۵۷
پیل سوختی	۰	۰/۱۹	۰/۵۹	۰/۶۲	۰/۲۴	۱/۶۴
دیزلی	۰	۰/۳	۰/۹۳	۰/۳۶	۰	۱/۵۹
زغالی	۰	۱	۰	۰	۰	۱
زیست توده	۰	۰/۳۸	۱/۱۶	۱/۲۲	۰/۴۸	۳/۲۴
جمع	۴۶/۸۱	۲۰/۹۱	۳۷/۵۳	۳۴/۴۱	۱۳/۳	۱۵۲/۹۶



نمودار ۱: ظرفیت نیروگاه های مختلف در سال ۱٤۰۹در سناریو فسیلی (هزار مگاوات)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

سناریو دوم: توسعه نیروگاه های هسته ای

با توجه به تدوین سند ملی توسعه نیروگاه های هسته ای، در سناریو دوم فرض می شود برنامه وزارت نیرو برای گسترش نیروگاه هسته ای به طور کامل محقق گردد.

پایداری تولید در نیروگاه های هسته ای، آلودگی کم محیط زیست، تنوع در منابع سوخت و تکمیل شدن چرخه تولید سوخت هسته ای در کشور از امتیازات توسعه چنین نیروگاه هایی در ایران می باشد. در حالی که مساله پسماندهای هسته ای و حجم کم ذخایر کشف شده اورانیوم در کشور از جمله مشکلات پیش روی نیروگاه های هسته ای است.

الف) فرضیات سناریو دوم

در این سناریو فرض می شود طبق برنامه ۲۰هزار مگاوات نیروگاه هسته ای طی ۲۰ سال آینده در کشور ساخته شده و به بهره برداری برسد. برای تامین بار پایه نیروگاه هسته ای در اولویت بالاتری نسبت به نیروگاه بخاری در نظر گرفته می شود. به علت واقع شدن ایران در اقلیم گرم و خشک امکان بهره برداری دائمی از نیروگاه های آبی میسر نمی باشد از این رو این نیروگاه ها به همراه نیروگاه های سیکل ترکیبی برای تامین بار میانه در اولویت ساخت فرض شده و برای تامین بار پیک، نیرو گاه های گازی در اولویت قرار می گیرد. در مورد انرژی برق آبی فرض می گردد علاوه بر پروژه های در حال اجرا، پروژه های در دست مطالعه و آماده اجرا نیز به تدریج به بهره برداری برسند. سایر نیروگاه ها نیز در الویت های بعدی در نظر گرفته می شود.

ب) نتایج سناریو دوم

با اعمال داده ها و فرضیات گفته شده نتایج سناریو توسعه نیروگاه های هسته ای مطابق جدول ۵ و نمودار ۲ به دست می آید.

سناریو سوم: توسعه نیروگاه های تجدیدپذیر

تقریبا همه انواع منابع انرژی های تجدیدپذیر کم و بیش در ایران وجود دارد و روز به روز بیشتر مورد توجه قرار می گیرند. در سناریو سوم اولویت اول توسعه نیروگاهی به بهره برداری از این منابع اختصاص می یابد.

سازگاری با محیط زیست، پایان ناپذیری، رایگان بودن انرژی اولیه و ایجاد تنوع در سبد انرژی کشور از مهمترین مزایای توسعه تولید برق از نیروگاه های تجدیدپذیر است. ولی در طرف مقابل استفاده از این منابع مشکلاتی را نیز در پی دارد. بالا بودن سرمایه گذاری اولیه، عدم امکان دسترسی دائمی به منابع و در نتیجه کاهش قابلیت اطمینان و چگالی پایین اینگونه انرژی ها از جمله معایب بیشتر منابع تجدیدپذیر می باشد.

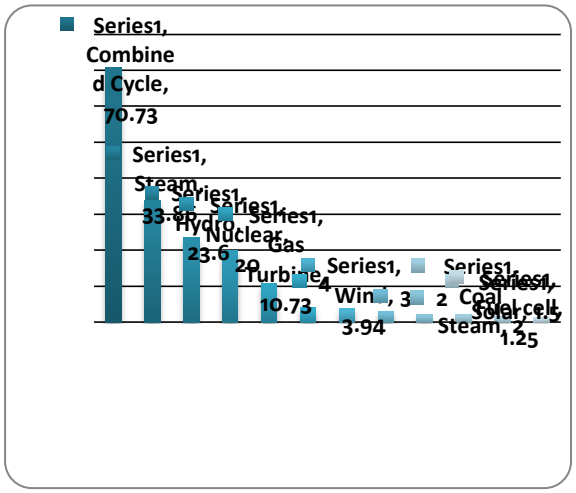
الف) فرضیات سناریو سوم

در این سناریو فرض می شود از همه پتانسیل های برق آبی شناسایی شده در کشور استفاده گردد. یعنی علاوه بر طرح های در حال اجرا و طرح های در حال مطالعه و آماده اجرا.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

جدول ۵: برنامه های زمان بندی ۵ ساله برای بهره برداری از نیروگاه های جدید در سناریو هسته ای (هزار مگاوات)

	۱۳۸۸–۱۳۹۲	۱۳۹۳–۱۳۹۷	۱۳۹۸–۱۴۰۲	۱۴۰۳–۱۴۰۷	۱۴۰۷–۱۴۰۹	جمع
بخاری	۱/۶۱	۵/۲۵	۸/۶	۸/۴	۴/۸	۲۸/۶۶
گازی	۱/۷۵	۰/۸	۰/۸۶	۰/۸۴	۰/۴۸	۴/۷۳
سیکل ترکیبی	۳۸/۴۱	۵/۰۶	۸/۶	۸/۳	۴/۸	۶۵/۱۷
آبی	۴/۰۱	۲/۵۲	۴/۳	۴/۱۵	۰/۹۵	۱۵/۹۳
هسته ای	۱	۳/۳	۸/۶	۷/۱	۰	۲۰
زمین گرمایی	۰	۰/۷۲	۱/۷۲	۱/۵۸	۰	۴/۰۲
بادی	۰/۰۲	۰/۵۷	۱/۳	۱/۲۶	۰/۷۳	۳/۸۸
خورشیدی	۰	۰/۲۱	۰/۵۲	۰/۵	۰/۲۹	۱/۵۲
پیل سوختی	۰	۰/۱۶	۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۲۴	۱/۲۶
دیزلی	۰	۰/۳۲	۰/۸۶	۰/۴۱	۰	۱/۵۹
زغالی	۰	۱/۶	۰/۴	۰	۰	۲
زیست توده	۰	۰/۳۹	۱/۰۳	۱	۰/۵۷	۲/۹۹
جمع	۴۶/۸۱	۲۰/۸۹	۳۷/۲۱	۳۳/۹۵	۱۲/۸۶	۱۵۱/۷۲



نمودار ۲: ظرفیت نیروگاه های مختلف در سال ۱۴۰۹در سناریو هسته ای (هزار مگاوات)

پروژه های در مرحله شناخت نیز تا ۲۰ سال آینده به بهره برداری برسد. ظرفیت نیروگاه های هسته ای نیز همانند سناریو اول ۶هزار مگاوات در نظر گرفته می شود.

برای تامین بار پایه نیروگاه های بادی، خورشیدی و زمین گرمایی نسبت به سناریوهای دیگر بیشتر مورد توجه قرار می گیرد و برای تامین بار میانه نیروگاه آبی و زیست توده و سپس سیکل ترکیبی و برای تامین بار پیک نیروگاه گازی و پیل سوختی در اولویت ساخت قرار داده می شود.

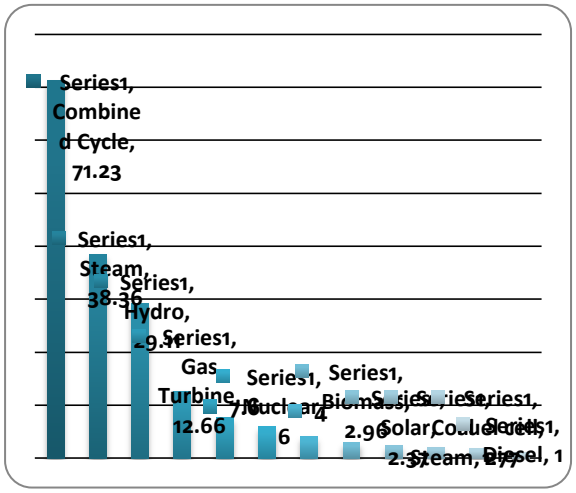
ب) نتایج سناریو سوم

نتایج اجرای سناریو تجدیدپذیر در جدول ۶ و نمودار ۳ خلاصه شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

جدول ٦: برنامه های زمان بندی ۵ ساله برای بهره برداری از نیروگاه های جدید در سناریو تجدیدپذیر (هزار مگاوات)

	۱۳۸۸-۱۳۹۲	۱۳۹۳-۱۳۹۷	۱۳۹۸-۱۴۰۲	۱۴۰۳-۱۴۰۷	۱۴۰۷-۱۴۰۹	جمع
بخاری	۱/۶۱	۵/۷۵	۱۰/۶	۱۰/۸	۴/۴	۳۳/۱۶
گازی	۱/۷۵	۱/۰۳	۱/۶	۱/۶۳	۰/۶۶	۶/۶۷
سیکل ترکیبی	۳۸/۴۱	۱/۷۶	۱۰/۴	۱۰/۷	۴/۴	۶۵/۶۷
آبی	۴/۰۱	۳/۰۹	۶/۴۲	۶/۴۲	۱/۵	۲۱/۴۴
هسته ای	۱	۳/۷	۱/۳	۰	۰	۶
زمین گرمایی	۰	۱/۹۶	۲/۰۵	۰	۰	۴/۰۱
بادی	۰/۰۲	۱/۰۳	۲/۶۶	۲/۷۱	۱/۱	۷/۵۲
خورشیدی	۰	۰/۳	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۳۵	۲/۳۶
پیل سوختی	۰	۰/۲۳	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۲۶	۱/۷۷
دیزلی	۰	۰/۱۴	۰/۴۲	۰/۰۱	۰	۰/۵۷
زغالی	۰	۱/۸۵	۰/۱۵	۰	۰	۲
زیست توده	۰	۰/۳۸	۱/۰۷	۱/۰۷	۰/۴۴	۲/۹۶
جمع	۴۶/۸۱	۲۱/۲۱	۳۸/۱۴	۳۸/۸۴	۱۳/۱۲	۱۵۴/۱۲



نمودار ۳: ظرفیت نیروگاه های مختلف در سال ۱٤۰۹در سناریو تجدیدپذیر (هزار مگاوات)

تحلیل نتایج سناریوها

طبق مدلسازی صورت گرفته در این پروژه و فرضیات در نظر گرفته شده، با توجه به خروجی های نرم افزار حداکثر تقاضای توان از حدود ۳۴ هزارمگاوات در سال ۱۳۸۷ به حدود ۱۲۱ هزار مگاوات در سال ۱۴۰۹ خواهد رسید.

با توجه به ظرفیت رزرو مورد نیاز و میزان دسترسی متفاوت به منابع و همچنین از رده خارج شدن بخشی از ظرفیت موجود، در سناریوهای فسیلی، هسته ای و تجدید پذیر، کل ظرفیت نیروگاهی کشور در ۲۰ سال آینده باید به ترتیب به ۱۷۷/۸۶، ۱۷۶/۶۴، ۱۷۹/۰۵ گیگاوات برسد. وجود حجم گسترده منابع آبی در کنار سایر انرژی های تجدیدپذیر که امکان تولید دائمی برق در آنها وجود ندارد باعث گردیده تا در سناریوی سوم برای تامین تقاضا نیاز به نصب ظرفیت بیشتری

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

باشد. در حالیکه در سناریو دوم با وجود ۲۰هزار مگاوات نیروگاه هسته ای با قابلیت دسترسی بالا کمترین نیاز برای نصب ظرفیت جدید وجود خواهد داشت.

برنامه وزارت نیرو برای ساخت حدود ۵۴هزار مگاوات نیروگاه جدید طی ۵ سال آینده که بیش از ۴۰هزار مگاوات آن را نیروگاه های سیکل ترکیبی تشکیل می دهند، برنامه ریزی را برای سال های بعد از آن در همه سناریوها به شدت تحت تاثیر قرار داده است. در صورت تحقق این برنامه ظرفیت نامی نیروگاه های کشور ظرف ۵ سال بیش از ۱۰۰٪ رشد خواهد داشت. اولین نتیجه این برنامه ی ۵ ساله، افزایش ضریب رزرو در سال ۱۳۹۲ به حدود ۵۲٪ می باشد. این مساله موجب شده تا با وجود رشد ۸ درصدی تقاضا در سه سال بعد از آن، در سال ۱۳۹۴ نیاز به هیچگونه ظرفیت جدیدی نبوده و در سال ۹۵ نیز کمتر از هزار مگاوات نیروگاه جدید مورد نیاز باشد و این مساله به معنی سرمایه گذاری بیش از نیاز در ابتدای دهه ۹۰ و کاهش بازدهی اقتصادی صنعت برق در این دوره زمانی خواهد بود.

از طرف دیگر افزایش چشمگیر سهم نیروگاه سیکل ترکیبی در برنامه ۵ ساله وزارت نیرو هرچند موجب افزایش متوسط بازدهی نیروگاه های کشور می گردد، ولی در بلند مدت قطع وابستگی از منابع فسیلی را بسیار مشکل می سازد تا جاییکه در هر دو سناریوی هسته ای و تجدیدپذیر با تاکید بر توسعه بهره برداری از منابع غیرفسیلی، در سال ۱۴۰۹ بیش از ۷۰هزار مگاوات نیروگاه سیکل ترکیبی وجود خواهد داشت و سهم منابع فسیلی در سناریوی تجدیدپذیر فقط ۱۲٪ و در سناریو هسته ای به سختی حدود ۱۵٪ نسبت به سناریوی فسیلی (ادامه روند فعلی) کاهش خواهد یافت.

مساله ای دیگری که در نتایج سناریوهای مختلف مخصوصا در سناریوهای دوم و سوم جلب توجه می نماید رشد کمتر ظرفیت نیروگاه های بار پیک مانند نیروگاه گازی نسبت به نیروگاه های بار پایه و میانه می باشد. این مساله در مورد انرژی تولید شده توسط این نیروگاه ها چشمگیرتر می باشد. دلیل این امر را می توان در بهبود ضریب بار سالانه کشور توضیح داد، چراکه تا سال ۱۴۰۹ ضریب بار کشور به ۷۵٪ خواهد رسید و این مساله به معنی افزایش بهره وری در صنعت برق می باشد. همچنین نیروگاه هایی که برای بار پیک استفاده می شوند هزینه بهره برداری زیادی دارند از این رو تا حد امکان در تولید انرژی، کمتر مورد استفاده قرار گرفته و لذا بیشتر برای ظرفیت رزرو در نظر گرفته شده اند.

برای مقایسه دقیقتر تاثیر اجرای سناریوهای مختلف، نسبت ظرفیت نیروگاه های کشور بر حسب نوع سوخت مورد استفاده در سال های ۱۳۸۷ و ۱۴۰۹، با یکدیگر مقایسه شده است که در نمودارهای ۴ و ۵ قابل ملاحظه است.

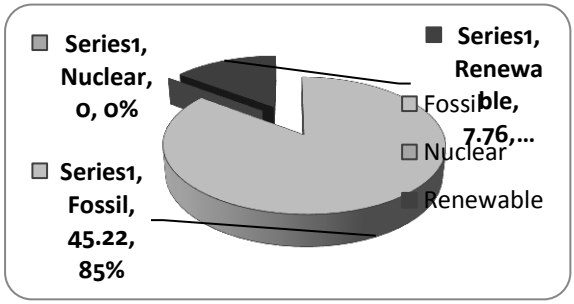
نتیجه گیری

در این مقاله با هدف بررسی اثرات سیاست های انرژی ایران در حوزه تولید برق بر روی سهم انواع نیروگاه ها در آینده، به معرفی برنامه ریزی مبتنی بر سناریو به عنوان روشی موثر و مفید برای بررسی و تحلیل اثرات سیاست های انرژی پرداخته شده است.

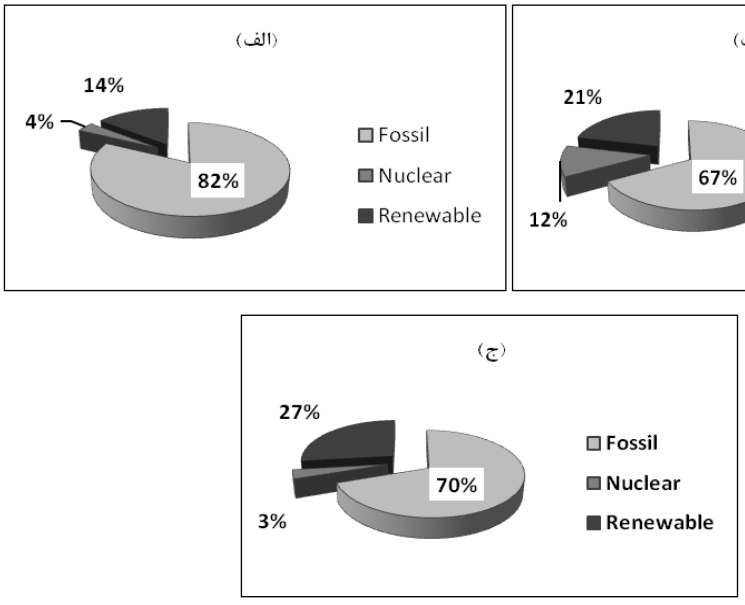
در مطالعه ای که صورت گرفت ابتدا وضعیت فعلی عرضه و تقاضای برق در ایران به طور خلاصه مورد بررسی و سپس سه مسیر مختلف در قالب سه سناریو برای تامین تقاضای برق در آینده به کمک نرم افزار LEAP طراحی گردید. در سناریو اول با فرض اتخاذ سیاست ادامه روند موجود، منابع فسیلی در اولویت بهره برداری برای تولید برق در نظر گرفته شد. به این ترتیب ۸۲٪ از نیروگاه های کشور در ۲۰سال آینده به این نیروگاه ها اختصاص خواهد یافت. در سناریو دوم با فرض بهره برداری از ۲۰هزار مگاوات نیروگاه هسته ای تا سال ۱۴۰۹ سهم این نیروگاه ها به ۱۲٪ از ظرفیت نیروگاهی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

کشور خواهد رسید. در سناریو سوم سیاست توسعه انرژیهای تجدیدپذیر مورد تاکید قرار گرفت که با این رویکرد ۲۷٪ از نیروگاه های کشور در سال پایان این برنامه را نیروگاه های تجدیدپذیر تشکیل خواهند داد.



نمودار ٤: سهم منابع مختلف در ظرفیت نیروگاهی کشور در سال ۱۳۸۷[۵]



نمودار۵: سهم منابع انرژی در ظرفیت نیروگاهی کشور در سال ۱٤۰۹

الف) سناریوی فسیلی ب) سناریوی هسته ای ج) سناریوی تجدیدپذیر

آنچه در نتایج به دست آمده قابل ملاحظه بوده سهم چشمگیر منابع فسیلی در هر سه سناریو است که بخشی از آن متاثر از برنامه ۵ ساله وزارت نیرو برای بهره برداری از ۴۰هزار مگاوات نیروگاه سیکل ترکیبی می باشد. این مساله می تواند آینده تامین تقاضای برق کشور را با کاهش ذخایر فسیلی به مخاطره بیاندازد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]

هدف این مقاله صرفا تدوین سناریوهای محتمل برای تامین تقاضای انرژی الکتریکی در آینده بوده و به قضاوت در مورد سناریوها نمی پردازد. ارزیابی سناریوها از جنبه های مختلف مانند جنبه های اقتصادی، فنی، زیست محیطی و . . . و تصمیم گیری برای انتخاب سناریو برتر را می توان به عنوان مرحله بعدی فرآیند آینده پژوهی مورد مطالعه قرار داد.

منابع

[۱] حنفی زاده، پیام. اعرابی، سید محمد. هاشمی، علی. (۱۳۸۵)، "برنامه ریزی استراتژیک استوار با استفاده از برنامه ریزی سناریو و سیستم استنتاج فازی"، فصلنامهٔ مدرس علوم انسانی ویژ ه نامه مدیریت، صص ۱۷۰-۱۳۳.

[۲] سلیمی بنی، آرمان. (۱۳۸۵)، "پیش بینی نیاز مصرف شبکه سراسری تا سال ۱۳۹۵"، شرکت مدیریت شبکه برق ایران، معاونت برنامه ریزی ونظارت بر امنیت شبکه، دفتربرنامه ریزی و نظارت بر توسعه شبکه.

[۳] علیزاده، علی. وحیدی مطلق، وحید. (۱۳۸۵)، "پروژه بررسی، شناسایی و طراحی الگوریتم بهینه سناریو نگاری، گزارش اول:تعریف، نظام طبقه بندی و انواع سناریوها در یک پروژه سناریو نگاری کدامند؟" مرکز صنایع نوین .

[۴] ملکی، عباس. (۱۳۸۵)، "برنامه ریزی مبتنی بر سناریو راهی برای کم کردن آفات تصمیم گیری"، راهبرد یاس، شماره ۸، صص ۱۱۲-۷۳.

[۵] "ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۷"، دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی-معاونت امور برق و انرژی-وزارت نیرو ۱۳۸۷.

[6] C. Rachmatullah, Lu Aye, R.J. Fuller (2007). "Scenario planning for the electricity generation in Indonesia," Energy Policy, vol. 35, pp. 2352-2359.

[7] Paul J.H.Schoemaker (1995). "scenario planning: a tool for strategic thinking," Sloan management review, vol. 36, pp. 25-40.

[8] Paul A. Steenhof, Whitman Fulton (2007). "Scenario development in China's electricity sector," Technological Forecasting & Social Change vol. 74, pp. 779-797.

[9] Rebecca Ghanadan, Jonathan G. Koomey. (2005) "Using energy scenarios to explore alternative energy pathways in California," Energy Policy, vol. 33, pp. 1117-1142.

[10] W.Soontornrangson, D.G. Evans, R.J. Fuller, D.F. Stewart.(2003)."Scenario planning for electricity supply," Energy Policy, vol. 31, pp. 1647-1659.

[11] Yacob Mulugettaa, Nathinee Mantajit, Tim Jackson (2007). "Power sector scenarios for Thailand: An exploratory analysis 2002–2022," Energy Policy, vol. 35, pp. 3256-3269.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-11]