مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال بیستم، شماره سوم (پیاپی ۷۸)،پاییز ۰۲، ص ص ۱۶۰-۱۴۱
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

# ارایه مدل بهینه‌سازی چرخه عمر محصول با استفاده از شبیه‌سازی عامل بنیان (مطالعه موردی: صنعت برق)

**محمد فرح بخش[۱]، محمود مدیری[۲*]، سید علی خاتمی‌فیروزآبادی[۳]، علیرضا پورابراهیمی[٤]**

۱ - دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، واحد علوم و تحقیقات ، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران

۴- استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، البرز، ایران

رسید مقاله: ۲ بهمن ۱۴۰۰

پذیرش مقاله: ۲۷ خرداد ۱۴۰۱

## چکیده

با افزایش رقابت در بازارهای جهانی، سازمان‌ها توجه بیشتری را به چرخه عمر محصولات خود، معطوف کرده‌اند. برای رسیدن به این هدف، تصمیم‌گیری دقیق در خصوص متغیرهای موثر در چرخه عمر محصول لازم است و هر چه عوامل بیشتری در نظر گرفته شود، نتیجه بهتری حاصل می‌شود. از این رو در این پژوهش سعی‌شده یک مدل بهینه‌سازی چرخه عمر برای صنعت برق ارایه شود. در این مدل عامل‌های مصرف‌کننده، تولیدکننده، دولت، سرمایه‌گذار و تکنولوژی جهت شبیه‌سازی در نظر گرفته شده‌اند که با کمک آنها سعی در بررسی روند تولید برق و بهینه‌سازی این فرآیند با توجه به تغییرات سطح مصرف و تکنولوژی و همچنین کاهش سطح انتشار گاز کربن و تاثیرات آن بر محیط زیست داریم. جهت تحلیل نتایج حاصله و بهینه‌سازی مدل از نرم افزار Anylogic بهره گرفته شد که پس از اجرای مدل جهت بهینه‌سازی نتایج به‌دست آمده تعدادی سناریو با توجه به نظرات خبرگان مورد بررسی قرار گرفت و نتیجه‌گیری نهایی حاصل شد. باتوجه به بررسی‌های انجام‌شده نتایج حاصله از مدل بهینه‌سازی ارایه‌شده با نتایج واقعی در دسترس بین سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۸ با فاصله کمی‌مطابقت داشت که این مساله نشان‌دهنده اعتبار بالای مدل می‌باشد همچنین جهت بهینه‌سازی مدل با هدف کاهش آلودگی هوا و کاهش انتشار گاز کربن با اعمال تغییر در عامل تکنولوژی شاهد کاهش مصرف سوخت های فسیلی و در نتیجه کاهش چشمگیر آلودگی هوا شدیم.

**کلمات کلیدی:** چرخه عمر محصول، بهینه‌سازی، شبیه‌سازی عامل بنیان (ABMS)، صنعت برق

* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: m_modidri@azad.ac.ir



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-08-31 ]

[ DOI: 10.22034/20.3.141 ]

## ۱ مقدمه

با افزایش رقابت در بازارهای پویای جهانی، همگام با تغییرات و توسعه محصول در طول زمان، کسب رضایت مشتری جایگاهی مهم و حیاتی در سازمان‌ها را به خود اختصاص داده است. امروزه باید با نظر به تغییرات سریع بازار و رشد سریع تکنولوژی به منظور تسریع در امر دستیابی به موفقیت، بهترین محصول با کمترین قیمت در بهترین مکان و بهترین زمان ممکن را به مشتریان عرضه داشت و با در نظر گرفتن این مهم، مبحث بهینه‌سازی چرخه عمر و زنجیره‌تامین برای صنایع امروزی به امری حیاتی مبدل شده است.

از این‌رو مدیران ارشد سازمان‌ها به خوبی دریافته‌اند که برای رسیدن به موفقیت در این بازار پویا و گسترده باید توجه خود را به مدیریت چرخه عمر محصولات، فناوری و جلب رضایت مشتریان معطوف کنند. همه مشتریان در بازار، به یک اندازه در موفقیت سازمان اثرگذار نیستند.[۱] از این‌رو جلب رضایت مشتریان اصلی و تاثیرگذار سازمان دارای اهمیت بیشتری خواهد بود؛ بنابراین لازم است در سازمان بستری را جهت حفظ و جذب مشتریان با توجه به مراحل چرخه عمر محصول و با در نظر گرفتن شرایط کسب و کار نوین و پویای امروزی پیاده‌سازی و اجرا نمود. از سوی دیگر صنایع و شرکت‌ها در جامعه رو به رشد امروز باید سعی در بهینه‌سازی کارایی فعالیت‌های ورودی و خروجی خود داشته باشند و همچنین در جهت کاهش و حذف هزینه‌های اضافی حداکثر تلاش خود را داشته باشند. علاوه بر این به جهت کسب برتری در این دوره می‌بایست توجه زیادی به نوآوری در ارایه محصولات و خدمات خود داشته تا بتوانند به سوددهی برسند و همچنین سهم بازار خود را در این جهان پویا افزایش دهند.[۲، ۳]

منظور از زنجیره‌تامین مجموعه روش‌هایی می‌باشد که در جهت یکپارچه‌سازی موثر تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و فروشگاه‌ها به کار می‌رود تا با بهره‌گیری از این امکان بتوان محصولات را در زمان و مکان مناسب به مشتری تحویل داد تا در این راستا هزینه‌های این زنجیره به حداقل برسد و همچنین رضایت مشتری تامین گردد.[۱]

یک محصول در طول عمر خود، از دوره‌های متفاوتی عبور می‌کند، از زمان تولد تا ورودش به بازار گرفته، تا زمانی که تقریبا از بازار خارج می‌شود. بدیهی است که طی این دوره‌ها، نه تنها تقاضای مشتری تغییر می‌کند، بلکه توقع آن‌ها از کیفیت محصول نیز افزایش پیدا می‌کند به طوری که در زمان معرفی محصول به بازار مشتریان تقاضای کمتری دارند ولی توقع آنان از کیفیت محصول بالا است. با توجه به مطالب عنوان‌شده می‌توان عنوان داشت که چرخه عمر محصول فرآیندی است که، از زمان شروع فرآیند تولید، یعنی استخراج و آماده‌سازی منابع تا تولید و ارایه محصول به بازار را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد.[۴]

از آنجایی که هدف اصلی شرکت‌ها کسب سود در بازار می‌باشد، لذا مدیریت چرخه عمر محصول و طراحی پایدار آن امری مهم و حیاتی خواهد بود.[۵]

با توجه به مطالب مطرح‌شده در این تحقیق سعی‌شده تا یک مدل بهینه‌سازی چرخه عمر محصول با استفاده از شبیه‌سازی عامل بنیان[1] در نیروگاه‌های تولیدکننده برق، ارایه گردد، در این راستا ابتدا چرخه عمر تولید برق را

[1] Agent Based Modeling Simulation



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-08-31 ]

[ DOI: 10.22034/20.3.141 ]

مورد بررسی قرار داده و سپس با بهره‌گیری از شبیه‌سازی عامل بنیان سعی در ارایه مدل، شناسایی الگوی رفتاری و بهینه‌سازی چرخه عمر صنعت برق خواهیم داشت.

در مدل ارایه‌شده با در نظر گرفتن هشت عامل: مصرف‌کننده (خانگی، صنعتی، کشاورزی و عمومی)، تولیدکننده، دولت، سرمایه‌گذار و تکنولوژی سعی در بررسی و تحلیل روند تولید برق و بهینه‌سازی این فرآیند با توجه به تغییرات سطح مصرف و تکنولوژی و همچنین کاهش سطح انتشار گاز کربن و تاثیرات آن بر محیط زیست داریم.

در این راستا ابتدا میزان مگاوات برق مصرفی عامل‌های مصرف‌کننده (خانگی، صنعتی، کشاورزی و عمومی) را در شرایط متفاوت بررسی کرده و براساس آن سعی در ارایه یک الگوی مناسب برای تولید برق و کاهش میزان سوخت مصرفی نیروگاه‌ها و همچنین کاهش آلودگی هوا ناشی از سوخت های فسیلی به‌کار رفته در نیروگاه های (آبی، برقابی، بخاری، سیکل ترکیبی و تجدید پذیر) داریم. همان‌طور که از شواهد قابل استناد است، با پیشرفت تکنولوژی الگوی مصرفی برق در صنایع گوناگون به شدت دستخوش تغییرات‌شده است و در پی آن به دلیل افزایش مصرف با معضل قطعی برق ناشی از کمبود مگاوات برق تولیدی در مقابل مگاوات برق مصرفی روبه‌رو شده‌ایم. همچنین از سویی دیگر به دلیل کاهش منابع آبی در سطح کشور و همچنین افزایش میزان آلودگی هوا که ناشی از انتشار گاز کربن حاصله از سوخت‌های فسیلی (گازوییل و نفت کوره) نیروگاه‌ها می‌باشد، به منظور افزایش ظرفیت تولید برق در نیروگاه‌ها با محدودیت‌هایی روبه‌رو هستیم.

جهت مرتفع ساختن این مساله و تامین مگاوات برق مصرفی موردنیاز در بخش های مختلف (خانگی، صنعتی، کشاورزی و عمومی) نیاز به ارایه یک مدل بهینه‌سازی که در آن هم کمبود منابع و هم بحث تاثیرات زیست محیطی در نظر گرفته شود قابل رویت می‌باشد.

جهت مدل‌سازی و بهینه‌سازی مدل ارایه‌شده توجه به این نکته حایز اهمیت است که، از آنجایی که بخشی از تولیدات برق در سطح کشور به بخش خصوصی واگذار شده است، باید نقش عامل سرمایه‌گذار را در این صنعت پر رنگ در نظرگرفته و به کمک عامل‌های تکنولوژی و سرمایه‌گذار، سناریوهای مختلفی را در جهت بهینه‌سازی مدل مورد بررسی قرار دهیم.

طبق مطالعات و بررسی‌های انجام‌شده چرخه عمر و شبیه‌سازی عامل بنیان که هرکدام به نوعی ابزارهایی برای مدیریت سیستم هستند، هر دوی این ابزارها سعی در بررسی رابطه، تعامل و نحوه اثرگذاری عوامل بر یکدیگر را دارند. با اینکه روش LC[1] و ABM[2] دو ابزار متفاوت هستند، ولی از نظر ریشه و بنیان عملکرد با یکدیگر شباهت‌هایی دارند.

به طوری که چرخه عمر به بررسی تعامل بین عوامل موجود در زنجیره‌تامین محصول می‌پردازد، در حالی که شبیه‌سازی عامل بنیان دید گسترده‌تری نسبت به سیستم داشته و تعامل و ارتباط بین همه عوامل در سیستم را مورد بررسی قرار می‌دهد.

[1] Life Cycle
[2] Agent Based Modeling



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-08-31 ]

[ DOI: 10.22034/20.3.141 ]

با توجه به پیش زمینه مطرح‌شده تاکنون، در ادامه به بررسی مدل ارایه‌شده جهت شبیه‌سازی و بهینه‌سازی واقع‌گرایانه چرخه عمر صنعت برق با استفاه از شبیه‌سازی عامل بنیان می‌پردازیم و در این راستا به کمک روش مونت کارلو اعتبار و صحت مدل ارایه‌شده را نیز مورد بررسی و تحلیل قرار می‌دهیم.

## ۲ پیشینه تحقیق

زاپکو[1]، در تحقیقی با استفاده از شبیه‌سازی و مدل‌سازی عامل بنیان به ارزیابی پایداری چرخه عمر جهت ارزیابی قرارگیری پالایشگاه زیستی پرداخته است. وی در این مقاله بیان می‌دارد که، استفاده از مدل‌سازی عامل بنیان (ABM) و ارزیابی پایداری چرخه عمر (LCSA) به عنوان بخشی از یک روش یکپارچه امکان ارزیابی بهینه اثرات احتمالی را فراهم می‌آورد.[۶]

سولیس[2] و همکاران، مدل بهینه‌سازی چرخه عمر محصول چندهدفه یک پالایشگاه زیستی جلبکی یکپارچه به کمک یک اقتصاد زیستی دایره‌ای پایدار با در نظر گرفتن گردش مجدد منابع را ارایه دادند. در این تحقیق، یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه جدید با تمرکز بر یک پالایشگاه زیستی جلبکی توسعه پیدا کرد که به طور هم‌زمان هزینه و اثرات زیست‌محیطی را بهینه کرده، اصل بازیابی منابع و گردش مجدد را اتخاذ کرده، و روش ارزیابی چرخه عمر را برای محاسبه مناسب اثرات زیست‌محیطی سیستم ترکیب می‌سازد.[۷]

دیاز[3] و همکاران، به بررسی مقاله‌ای با عنوان، توسعه پایدار محصول در چرخه اقتصاد: پیامدهای مربوط به محصولات، پشتیبانی تصمیم‌گیری و مدیریت اطلاعات چرخه عمر محصول پرداخته‌اند. در این مقاله فرآیند توسعه پایدار محصول (SPD)، که در آن حدود ۸٪ از تأثیر کل محیط زیست یک محصول تعیین می‌گردد، برای ترجمه استراتژی‌های R به نیازهای جدید محصول مورد استفاده قرار گرفته است. این مقاله با هدف بررسی پیامدهای اتخاذ استراتژی R برای تصمیم‌گیری در توسعه پایدار محصول مورد بررسی قرار گفته است.[۸]

راند[4] و همکاران، به بررسی و مطالعه «مدل‌سازی عامل بنیان انتشار بازار محصول جدید : مروری بر نقاط قوت و انتقادات» پرداخته‌اند/ هدف ازاین پژوهش، تشویق محققان به توجه بیشتر به مدیریت نوآوری با رویکرد مدلسازی و شبیه‌سازی عامل بنیان به عنوان شیوه‌ای برای دستیابی به بینش عمیق‌تر در مورد رفتار بازار و تصمیم‌گیری آگاهانه‌تر مطرح شده است. نتایج مطالعه مروری پژوهش بیان می‌دارد که، حوزه‌های مختلفی از انتشار بازار محصول جدید و مدیریت نوآوری، در محدوده وسیع‌تری در دسترس می‌باشد که برای تجزیه و تحلیل آنها می‌توانیم از شبیه‌سازی ومدلسازی عامل بنیان بهره بگیریم.[۹] کوک[5] و همکاران، مقاله‌ای با عنوان، رویکردی برای معیارهای پایداری و شبیه‌سازی داده‌های چرخه عمر محصول در انتخاب مفهوم ارایه دادند. این مقاله بیان می‌دارد که، شرکت‌ها به شناسایی جنبه‌های پایداری مرتبط از طریق استراتژی، ارزیابی کمی‌راه حل‌های جایگزین و ایجاد معاملات، مشغول هستند. این تحقیق نتایج حاصل از یک مطالعه تجویزی با یک شرکت هوا

[1] Zupko
[2] Solis
[3] Diaz
[4] Rand
[5] Kwok



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-08-31 ]

[ DOI: 10.22034/20.3.141 ]

فضا را مطرح می‌دارد و رویکرد معیارهای پایداری و چرخه عمر محصول را برای شبیه‌سازی داده‌ها (SCADS) ارایه می‌کند.[۲]

امیلی[1] و همکاران، به بررسی و مطالعه مقاله‌ای با عنوان، «یک مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی برای طراحی محصول پایدار و مدیریت کارآمد پایان عمر بر اساس مسئولیت تولیدکننده فردی» پرداخته‌اند. در این پژوهش مساله تصمیم‌گیری، به معنای انتخاب جایگزین طراحی و تعیین گزینه EOL برای خانواده‌ای از محصولات بر اساس مسئولیت تولیدکننده فردی در کل چرخه عمر با در نظر داشتن عدم قطعیت‌های احتمالی ادغام گردیده است.[۱۰]

کائو[2] و همکاران، در مقاله خود یک مدل شبیه‌سازی عامل بنیان از پریشانی مالی شرکت برای مراحل مختلف چرخه عمرمحصول ارایه نمودند. در این مقاله یک مدل شبیه‌سازی عامل بنیان جدید برای شبیه‌سازی علل و فرآیندهای پریشانی مالی شرکت پیشنهاد دادند. چارچوب کلی مدل ارایه‌شده توسط آنان دربرگیرنده چهار عامل، محیط سازمانی، محصول، بانک و محیط کلان می‌باشد. با بررسی علل مختلف درماندگی مالی در مراحل مختلف چرخه عمر شرکت، مدل شبیه‌سازی مطرح‌شده در چهاردوره چرخه عمر محصول که به ترتیب مربوط به مراحل شروع، رشد، بلوغ و زوال هستند، پیاده‌سازی شد/ پس از آن یک تحلیل مقایسه‌ای بین نتایج شبیه‌سازی و وضعیت واقعی در چهار بخش چرخه عمر محصول پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفت، که این بررسی‌ها نشان دادند مدل شبیه‌سازی پیشنهادی ابزاری امیدوارکننده برای تجزیه و تحلیل جامع علل و فرآیندهای پریشانی مالی می‌باشد.[۱۱]

پوه[3] و همکاران، پژوهشی با عنوان، «بهینه‌سازی چرخه عمر محصول برای تولید دستکش پلاستیکی» ارایه کردند. در مقدمه مقاله بیان شده است که، تولید دستکش‌های پلاستیکی ممکن است اثرات زیست محیطی نامطلوبی بر محیط زیست داشته باشد،که از جمله آنها می‌توان به گرم شدن کره زمین، انتشار گازکربن، اسیدی شدن، تشکیل ازن فتوشیمیایی، اوتروفیکاسیون، اشاره کرد. بنابراین، ارزیابی چرخه عمر محصول به عنوان یک ابزار مدیریتی برای ارزیابی کاهش اثرات زیست محیطی استفاده می‌شود. در این راستا در این مقاله جهت بهینه‌سازی چرخه حیات برای به حداقل رساندن مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای تعداد پنج سناریو در جهت بهبود فرآیند مطرح و مورد بررسی قرار گرفت. [۱۲]

تاو[4] و همکاران، مقاله‌ای با عنوان، طراحی چرخه عمر محصول برای ایجاد ارزش پایدار: روش‌های توسعه پایدار محصول در زمینه مهندسی با ارزش بالا ارایه دادند. این مقاله با استفاده از رویکردهای مبتنی بر چرخه عمر همراه با روش‌های مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل ارزش پایدار، چارچوبی برای توسعه پایدار محصول در زمینه مهندسی با ارزش بالا ارایه می‌دهد. یک مدل ارزش پایدار بر اساس درک ارزش از دیدگاه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی مطرح می‌شود. [۱۳]

[1] Ameli
[2] Kao
[3] Poh
[4] Tao



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-08-31 ]

[ DOI: 10.22034/20.3.141 ]

والتر[1] و همکاران، در مقاله‌ای به بهینه‌سازی محصول-هزینه در مراحل اولیه چرخه عمر محصول پرداختند. در این مقاله بیان شده است که، در حالی که مفاهیم نظری برای روش‌های هزینه‌یابی محصول در طول دهه‌ها تکامل‌یافته ولی، تاکید کمی‌بر ادغام آنها در سیستم‌های اطلاعاتی مدرن شده است. [۱۴]

ماندا[2] و همکاران، به مطالعه "ایجاد ارزش با ارزیابی چرخه زندگی: روشی برای زمینه‌سازی استفاده از ارزیابی چرخه عمر در شرکت‌های شیمیایی برای ایجاد ارزش پایدار" پرداختند. در این پژوهش بیان شد که، فرصت‌های ایجاد ارزش شامل کاهش هزینه، کاهش ریسک، تمایز محصول و محصولات جدید برای رفع نیازهای ارضا نشده است. با این حال، ارتباط جنبه‌های مختلف پایداری از یک شرکت به شرکت دیگر بسته به زمینه دارد. [۱۵]

چائو[3] و همکاران، پژوهشی تحت عنوان، «مروری بر ارزیابی چرخه زندگی، ارزیابی انرژی چرخه زندگی و ارزیابی انتشار کربن چرخه زندگی در ساختمان‌ها» ارایه دادند. این پژوهش مروری، سه جریان از مطالعات چرخه عمر را مطرح کرده است که اغلب برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی ساخت وساز ساختمان با تمرکز عمده بر این‌که آیا می‌توان از آنها برای تصمیم‌گیری استفاده کرد یا خیر، استفاده می‌شوند. این سه جریان عبارتند از: ارزیابی چرخه حیات (LCA)، ارزیابی انرژی چرخه حیات (LCEA) و ارزیابی انتشار کربن چرخه زندگی (LCCO2A). این سه روش با هدف ارزیابی، روش‌شناسی و بررسی یافته‌هایشان مقایسه شدند. [۱۶]

## ۳ پرسش‌های پژوهش

سوالات اصلی:

۱) چگونه می‌توان مدلی با رویکرد شبیه‌سازی عامل بنیان جهت بهینه‌سازی چرخه عمر صنعت برق ارایه داد؟

۲) چگونه می‌توان از صحت مدل شبیه‌سازی اطمینان حاصل کرد؟

سوالات فرعی:

۱) متغیرها (عامل-Agent)های شبیه‌سازی عامل بنیان را چگونه می‌توان شناسایی کرد؟

۲) نحوه پالایش این متغیرها به کمک نرم افزار جهت شبیه‌سازی چگونه خواهد بود؟

۳) چگونه می‌توانیم به کمک این پارادایم شبیه‌سازی چرخه عمر را بهینه کنیم؟

۴) جهت شبیه‌سازی مساله با چه محدودیت هایی روبه‌رو هستیم و نحوه برخود با آنها چگونه خواهد بود؟

## ٤ روش تحقیق

هدف از پژوهش حاضر ارایه مدل بهینه‌سازی چرخه عمر صنعت برق به کمک رویکرد شبیه‌سازی عامل بنیان می‌باشد. این پژوهش از نظر نتایج یا پیامد، از نوع کاربردی و از نظر هدف از نوع تحلیلی است. اطلاعات مربوط به این پژوهش برپایه مطالعات کتابخانه‌ای و مشاهدات میدانی از نیروگاه های کشور (بخاری، گازی، سیکل

[1] Walter
[2] Manda
[3] Chau



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-08-31 ]

[ DOI: 10.22034/20.3.141 ]

ترکیبی، برق آبی و تجدیدپذیر) جمع‌آوری و استخراج شده است. جامعه مورد مطالعه پژوهش حاضر صنعت برق در سطح کشور می‌باشد و جهت استخراج اطلاعات این صنعت را به سه بخش تقسیم کرده‌ایم:

بخش اول اطلاعات مربوط به مصرف‌کنندگان می‌باشد که شامل مصرف‌کنندگان خانگی، مصرف‌کنندگان صنعتی، مصرف‌کنندگان کشاورزی و مصرف‌کنندگان عمومی می‌باشند، که اطلاعات این بخش از گزارش **۵۳** ساله صنعت برق[۱۷] استخراج گردید. بخش دوم تولیدکنندگان برق هستند که عبارتند از نیروگاه بخاری، نیروگاه گازی، نیروگاه سیکل ترکیبی، نیروگاه برق آبی و نیروگاه تجدیدپذیر که اطلاعات مربوط به مگاوات برق تولیدی هرکدام از این نیروگاه ها نیز از گزارش **۵۳** ساله صنعت برق استخراج گردید. بخش سوم مربوط به عامل دولت می‌باشد که اطلاعات این بخش نیز از گزارش **۵۳** ساله صنعت برق استخراج گردید که در این بخش تعیین شد که با توجه به استراتژی تدوین‌شده از سمت دولت در بازه زمانی بین سال **۱۳۹۰** تا **۱۳۹۸** چند درصد از چه نیروگاهی در چرخه تولید برق دخیل بوده است. جهت مدل‌سازی و بهینه‌سازی چرخه عمر صنعت برق و جهت تحلیل نتایج و بهینه‌سازی در این پژوهش می‌بایست اطلاعات مربوط به متغیرها را در دو سطح گسسته و پیوسته جمع‌آوری نموده و سپس به کمک نرم افزار AnyLogic مدل چرخه عمر محصول را شبیه‌سازی نموده و پس از آن جهت بهینه‌سازی متغیرهای مساله تعداد **۵** سناریو با توجه به شرایط مطرح‌شده توسط خبرگان با هدف کاهش مصرف سوخت (گازی و فسیلی)، کاهش انتشار گازکربن و تولید میزان مگاوات برق مورد نیاز (مصرف‌کنندگان خانگی، کشاورزی، صنعتی و عمومی) طراحی شود. بدین منظور هشت عامل (Agent) تاثیرگذار بر چرخه عمر صنعت برق را با توجه به گزارش **۵۳** ساله صنعت برق و بررسی های محیطی و نظر خبرگان شناسایی کرده [۱۷] و برای هر یک پارامترهای مختلفی را تعریف کردیم. (جدول ۱)

**جدول ۱.** عامل‌های مورد استفاده جهت شبیه‌سازی عامل بنیان

| عامل(Agent) | شرح |
|---|---|
| **مصرف کننده خانگی**[1] | شامل مگاوات برق مصرفی، بخش خانگی |
| **مصرف کننده صنعتی**[2] | شامل مگاوات برق مصرفی، بخش صنعتی |
| **مصرف کننده کشاورزی**[3] | شامل مگاوات برق مصرفی، بخش کشاورزی |
| **مصرف کننده عمومی**[4] | شامل مجموع مگاوات برق مصرفی، بخش‌های (عمومی+عمومی‌مصارف+روشنایی معابر) |
| **دولت**[5] | نقش موثر و تعیین‌کننده بر روی همه عوامل به جز عامل تکنولوژی دارد. |
| **بازار**[6] | تولید کننده برق |
| **تکنولوژی**[7] | عاملی است که می‌توان بر میزان مصرف بخش های مختلف تاثیر مثبت یا منفی داشته باشد. |

[1] Household Consumption
[2] Industrial Consumption
[3] Agriculture Consumption
[4] General Consumption
[5] Government
[6] Market
[7] Technology

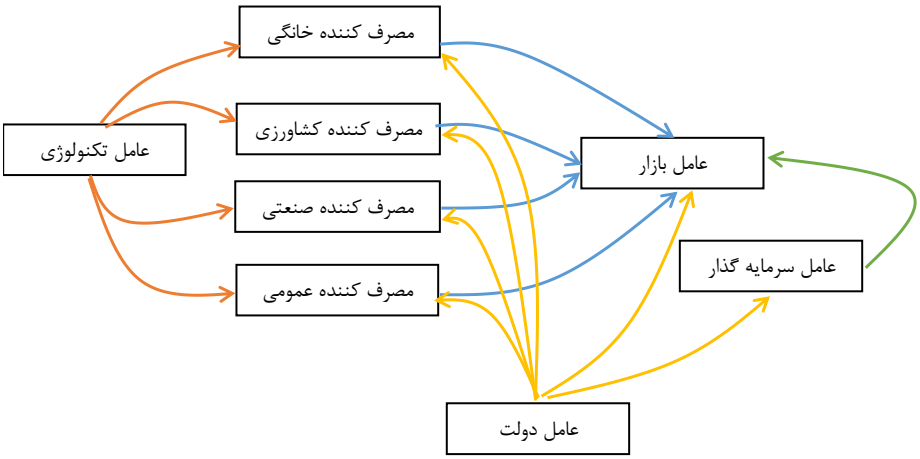


[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-08-31 ]

[ DOI: 10.22034/20.3.141 ]

| | |
|---|---|
| **سرمایه گذار**[1] | این عامل میزان کمبود مگاوات را از طریق سرمایه گذاری روی انواع نیروگاه ها با توجه به عوامل موجود تامین می کند. |

جهت ارایه مدل مفهومی‌با توجه به عامل‌های شناسایی‌شده و رابطه و تعامل بین آنها، پژوهش‌های مختلف انجام‌شده در سطح بین‌الملل و همچنین مطالب استخراج‌شده از صنعت برق در کشور مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به مطالعات صورت پذیرفته و بررسی تاثیر هر یک از عوامل، مدل مفهومی‌به شرح ذیل ارایه گردید. (شکل ۱)




**شکل ۱.** مدل مفهومی‌پژوهش

براساس مدل مفهومی (شکل ۱) ارایه‌شده در این پژوهش سعی‌شده تا با در نظر گرفتن هشت عامل و تاثیرات آنها بر یکدیگر به ارایه مدل شبیه‌سازی عامل بنیان از صنعت برق کشور بپردازیم. بدین منظور با توجه به اطلاعات موجود از میزان مگاوات برق مصرفی، مصرف‌کنندگان در بخش های مختلف اطلاعات وارد نرم افزار Anylogic شده و نتایج حاصله را با دادن سناریوهای مختلف مورد تحلیل و بررسی قرار می‌دهیم. طبق مدل ارایه‌شده، تعداد ۴ عامل تحت عنوان مصرف‌کننده داریم که عبارتند از: مصرف‌کننده خانگی، مصرف‌کننده صنعتی، مصرف‌کننده کشاورزی و مصرف‌کننده عمومی.

این عوامل(Agents) درخواست انرژی خود را به عامل بازار(Market) می‌دهند و بخش بازار با توجه به تعداد نیروگاه‌های در دسترس، برق را تولید و در اختیار مصرف‌کنندگان در بخش‌های مختلف قرار می‌دهد. در قسمت دیگر از مدل، عامل دولت قرار گرفته است که این عامل دولت بر همه عامل‌های موجود در مدل تاثیر می‌گذارد، چرا که براساس دستورالعمل صادره از دولت ظرفیت اسمی‌نیروگاه ها محاسبه‌شده و یا نیروگاهی در بخش دولتی وارد چرخه تولیدشده یا از آن خارج می‌شود. علاوه بر این دولت با دستورالعمل‌ها و قوانین صادره می‌تواند بر مصرف‌کنندگان در بخش‌های مختلف تاثیر بگذارد. از طرف دیگر با در نظر گرفتن اطلاعات استخراج شده از صنعت برق، بین میزان مگاوات برق تولیدی و مگاوات برق مصرفی در بخش‌های مختلف همواره یک فاصله یا شکاف وجود دارد که همان‌طور که می‌دانیم این فاصله نشان‌دهنده‌ی کمبود مگاوات برق

[1] Investors



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-08-31 ]

[ DOI: 10.22034/20.3.141 ]

تولیدی در مقابل مگاوات برق مورد نیاز جهت مصرف می‌باشد. در این وضعیت عامل سرمایه‌گذار وارد شده و سعی در جبران کمبود مگاوات برق تولیدی از طریق سرمایه‌گذاری بر روی نیروگاه‌ها در چرخه تولید را دارد. حال آنکه سرمایه‌گذار جهت ورود به چرخه و انتخاب نحوه تامین میزان مگاوات برق موجود از طریق سرمایه‌گذاری در راه‌اندازی نیروگاه‌های: بخاری، گازی، سیکل ترکیبی، برق آبی و تجدید پذیر باید سیاست‌ها و دستورالعمل‌های ابلاغی از سمت دولت را نیز مدنظر قرار دهد. بنابراین عامل دولت بر همه‌ی هفت عامل موجود در مدل تاثیرگذار خواهد بود.

آخرین عاملی که در این مدل مطرح‌شده، عامل تکنولوژی می‌باشد. عامل تکنولوژی می‌تواند بر میزان مگاوات برق مصرفی، مصرف‌کنندگان در بخش‌های مختلف تاثیر مثبت یا منفی داشته باشد. چرا که گاه با ورود یک تکنولوژی میزان مصرف افزایش‌یافته به طور مثال با ورود تکنولوژی کولرهای گازی میزان مصرف بسیار افزایش پیدا کرد یا بلعکس با ورود تکنولوژی دیگر میزان مصرف کاهش پیدا می‌کند به طور مثال با ورود تکنولوژی لامپ‌های کم مصرف به بازار میزان مصرف به طور چشم‌گیری کاهش پیدا کرد.

در ادامه اطلاعات استخراج‌شده از گزارش ۵۳ ساله صنعت برق [۱۷] در زمینه مگاوات برق اسمی‌تولیدی در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۸، مگاوات برق عملی تولیدی نیروگاها، میزان مگاوات برق مصرفی مصرف‌کنندگان خانگی، صنعتی، کشاورزی و عمومی‌و همچنین میزان سوخت مصرفی (مایع و فسیلی (نفت کوره و گازوئیل)) به تفکیک در جداول زیر ارایه شده است:

**جدول ۲**. عامل‌های مورد استفاده جهت شبیه‌سازی عامل بنیان

| | نیروگاه بخاری | | نیروگاه گازی | | نیروگاه سیکل ترکیبی | | نیروگاه برق آبی | نیروگاه تجدید پذیر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سال | دولتی | خصوصی | دولتی | خصوصی | دولتی | خصوصی | دولتی | دولتی |
| ۱۳۹۰ | ۱۴۹۴۳ | ۸۷۹ | ۱۲۲۶۱ | ۱۲۰۸۱ | ۱۴۷۸۰ | - | ۸۷۴۵ | ۱۱۱۶ |
| ۱۳۹۱ | ۱۴۹۵۱ | ۸۷۹ | ۱۲۴۲۳ | ۱۳۵۸۰ | ۱۵۲۶۰ | ۴۸۴ | ۹۷۴۵ | ۱۱۸۱ |
| ۱۳۹۲ | ۱۱۸۴۱ | ۳۹۸۹ | ۷۹۲۵ | ۱۶۷۹۰ | ۴۲۷۵ | ۱۳۵۷۵ | ۱۰۲۶۵ | ۱۱۵۲ |
| ۱۳۹۳ | ۱۱۲۴۱ | ۴۵۸۹ | ۷۱۹۵ | ۱۹۲۲۵ | ۴۲۷۵ | ۱۴۲۱۹ | ۱۰۷۸۵ | ۱۱۴۰ |
| ۱۳۹۴ | ۱۱۲۴۱ | ۴۵۸۹ | ۶۵۷۲ | ۲۰۲۹۸ | ۴۲۷۵ | ۱۴۲۱۹ | ۱۱۲۷۸ | ۱۱۴۰ |
| ۱۳۹۵ | ۱۱۲۴۱ | ۴۵۸۹ | ۷۱۰۱ | ۲۰۷۸۹ | ۴۲۷۵ | ۱۵۵۱۹۵ | ۱۱۵۷۸ | ۱۱۳۰ |
| ۱۳۹۶ | ۱۱۲۴۱ | ۴۵۸۸ | ۶۳۶۲ | ۱۹۵۵۷ | ۵۳۸۹ | ۱۷۷۷۷ | ۱۱۹۵۳ | ۱۱۲۷ |
| ۱۳۹۷ | ۱۱۲۴۱ | ۴۵۸۸ | ۶۴۰۴ | ۱۹۱۴۸ | ۵۳۸۹ | ۱۹۶۰۷ | ۱۲۰۲۶ | ۱۱۲۷ |
| ۱۳۹۸ | ۱۱۲۴۱ | ۴۵۸۸ | ۶۷۳۶ | ۱۹۴۴۴ | ۵۵۴۹ | ۲۱۵۸۱ | ۱۲۱۹۱ | ۱۱۱۹ |



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-08-31 ]

[ DOI: 10.22034/20.3.141 ]

**جدول ۳.** ظرفیت عملی نیروگاه‌های کشور

| | نیروگاه بخاری | | نیروگاه گازی | | نیروگاه سیکل ترکیبی | | نیروگاه برق آبی | نیروگاه تجدید پذ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سال | دولتی | خصوصی | دولتی | خصوصی | دولتی | خصوصی | دولتی | دولتی |
| **۱۳۹۰** | ۱۴۵۶۸ | ۷۵۵ | ۹۸۰۹ | ۱۰۱۰۲ | ۱۲۱۶۶ | - | ۸۷۴۵ | ۱۱۱۶ |
| **۱۳۹۱** | ۱۴۵۶۷ | ۷۴۵ | ۹۹۰۹ | ۱۱۲۹۵ | ۱۲۵۹۶ | ۴۰۲ | ۹۷۴۵ | ۱۱۸۱ |
| **۱۳۹۲** | ۱۱۶۱۹ | ۳۶۹۶ | ۶۲۰۱ | ۱۳۸۴۷ | ۳۴۶۳ | ۱۱۳۵۱ | ۱۰۲۶۵ | ۱۱۵۲ |
| **۱۳۹۳** | ۱۰۹۸۴ | ۴۲۶۸ | ۵۶۵۶ | ۱۵۷۱۲ | ۳۳۸۹ | ۱۱۷۱۶ | ۱۰۷۸۵ | ۱۱۴۰ |
| **۱۳۹۴** | ۱۰۹۴۲ | ۴۲۶۸ | ۵۰۸۶ | ۱۶۵۴۴ | ۳۳۸۹ | ۱۱۷۲۳ | ۱۱۲۷۸ | ۱۱۴۰ |
| **۱۳۹۵** | ۱۰۹۴۲ | ۴۲۶۸ | ۵۵۴۰ | ۱۶۹۰۷ | ۳۳۸۹ | ۱۲۴۶۸ | ۱۱۵۷۸ | ۱۱۳۰ |
| **۱۳۹۶** | ۱۰۶۳۰ | ۴۲۶۲ | ۴۹۶۶ | ۱۵۹۱۰ | ۴۲۵۷ | ۱۴۵۷۱ | ۱۱۹۵۳ | ۱۱۲۷ |
| **۱۳۹۷** | ۱۰۶۳۰ | ۴۲۶۲ | ۵۰۰۲ | ۱۵۷۷۰ | ۴۲۵۷ | ۱۶۰۰۸ | ۱۲۰۲۶ | ۱۱۲۷ |
| **۱۳۹۸** | ۱۰۶۳۰ | ۴۲۶۲ | ۵۲۹۱ | ۱۶۰۷۱ | ۴۳۹۷ | ۱۷۶۷۰ | ۱۲۱۹۲ | ۱۱۱۹ |

**جدول ٤.** مگاوات برق مصرفی مصرف‌کنندگان

| سال | خانگی | عمومی | صنعتی | کشاورزی |
|---|---|---|---|---|
| **۱۳۹۰** | ۰/۳۰۸۷۱۴ | ۰/۱۸۰۳۴۹ | ۰/۳۴۷۷۰۱ | ۰/۱۶۳۲۳۶ |
| **۱۳۹۱** | ۰/۳۱۶ | ۰/۱۷۵۳۵ | ۰/۳۴۵۶۴۷ | ۰/۱۶۳۰۰۴ |
| **۱۳۹۲** | ۰/۳۱۶۸۴۴ | ۰/۱۷۲۱۲۱ | ۰/۳۴۸۱۱۶ | ۰/۱۶۲۹۱۸ |
| **۱۳۹۳** | ۰/۳۲۳۷۴ | ۰/۱۷۷۴۵۸ | ۰/۳۳۸۷۲۱ | ۰/۱۶۰۰۸ |
| **۱۳۹۴** | ۰/۳۳۴۰۹۳ | ۰/۱۸۸۳۰۱ | ۰/۳۱۹۱۷۶ | ۰/۱۵۸۴۳۱ |
| **۱۳۹۵** | ۰/۳۲۹۹۲۹ | ۰/۱۹۰۴۰۷ | ۰/۳۲۷۱۸۹ | ۰/۱۵۲۴۷۵ |
| **۱۳۹۶** | ۰/۳۲۷۱۳۱ | ۰/۱۸۸۳۷۲ | ۰/۳۳۰۰۴۱ | ۰/۱۵۴۴۵۶ |
| **۱۳۹۷** | ۰/۳۲۷۶۵۲ | ۰/۱۸۵۰۰۸ | ۰/۳۴۰۹۰۴ | ۰/۱۴۶۴۳۶ |
| **۱۳۹۸** | ۰/۳۲۱۷۰۸ | ۰/۱۸۴۴۷۹ | ۰/۳۵۲۹۰۱ | ۰/۱۴۰۹۱۲ |

**جدول ۵.** سوخت مصرفی نیروگاه‌های کشور

| سال | سوخت مایع (Liquid) و لیتر (Lit) | | سوخت گازی (Gas) مترمکعب ($M^3$) | مجموع سوخت مایع (Lit) | مجموع سوخت گازی ($M^3$) | مگاوات برق تولیدی |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | گازوئیل | نفت کوره | گاز | | | |
| ۱۳۹۰ | ۹۴۰۶ | ۱۲۰۱۹ | ۳۸۹۰۱ | ۲۱۴۲۵ | ۳۸۹۰۱ | ۲۷۹۴۰.۵۶ |
| ۱۳۹۱ | ۷۷۶۸ | ۱۴۴۵۰ | ۴۰۶۹۲ | ۲۲۲۱۸ | ۴۰۶۹۲ | ۲۹۷۸۲.۶۸ |
| ۱۳۹۲ | ۱۲۱۸۶ | ۱۱۲۶۳ | ۳۶۶۴۸ | ۲۳۴۴۹ | ۳۶۶۴۸ | ۲۹۸۲۶.۲۴ |
| ۱۳۹۳ | ۸۸۷۱ | ۱۰۲۷۳ | ۵۰۱۷۲ | ۱۹۱۴۴ | ۵۰۱۷۲ | ۳۱۳۳۷.۳ |
| ۱۳۹۴ | ۶۰۸۳ | ۶۹۴۶ | ۵۸۴۲۴ | ۱۳۰۲۹ | ۵۸۴۲۴ | ۳۱۶۰۳.۹۲ |
| ۱۳۹۵ | ۵۸۶۸ | ۴۴۸۳ | ۶۱۷۸۲ | ۱۰۳۵۱ | ۶۲۷۸۲ | ۴۲۳۱۲.۶۲ |
| ۱۳۹۶ | ۴۸۴۱ | ۳۶۸۶ | ۶۹۳۸۲ | ۸۵۲۷ | ۶۹۳۸۲ | ۳۳۳۰۲.۴۸ |
| ۱۳۹۷ | ۵۹۷۰ | ۳۴۵۱ | ۶۷۳۵۵ | ۹۴۲۱ | ۶۷۳۵۵ | ۳۴۱۴۶.۹ |
| ۱۳۹۸ | ۱۰۲۵۳ | ۵۳۹۸ | ۶۰۲۴۳ | ۱۵۶۵۱ | ۶۰۲۳۴ | ۳۵۹۲۶.۲۲ |

جهت اعتبارسنجی مدل ارایه‌شده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو با هسته عدد تصادفی استفاده شده است. به کمک این شبیه‌سازی دو مقدار جذابیت ایجادشده توسط دولت را جهت انتخاب نیروگاه و درصد احتمال سرمایه‌گذاری، سرمایه‌گذار جهت تامین مگاوات برق مورد نیاز را کالیبره (استاندارد) نمودیم. برای این منظور مدل ارایه‌شده را به تعداد ۱۰۰۰ بار با مقادیر مختلف تصادفی اجرا کردیم و در نهایت به مقادیری دست پیدا

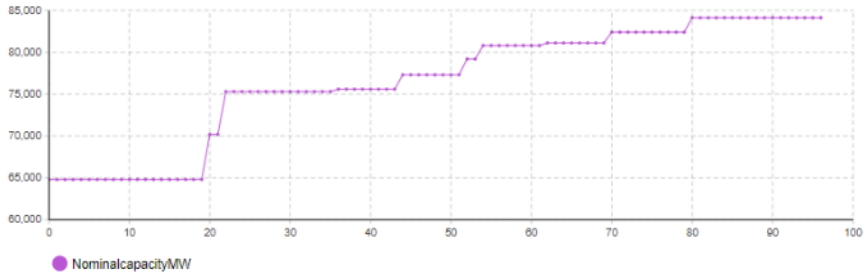


[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-08-31 ]

[ DOI: 10.22034/20.3.141 ]

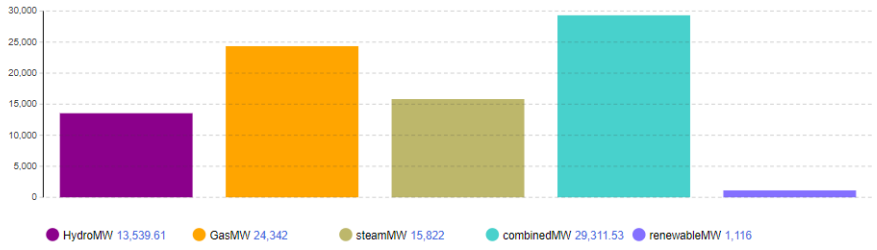
کردیم که با ورود اطلاعات سال ۱۳۹۰ به عنوان مقادیر اولیه پس از ۸ سال(۹۶ماه) اجرای مدل نتایج حاصله در زمینه میزان مگاوات برق تولیدی اسمی، سوخت مصرفی(Liquid Fuel و Gas Fuel) و ظرفیت اسمی‌نیروگاه‌های گازی، بخاری، سیکل ترکیبی، برق آبی و تجدیدپذیر به مقادیر موجود در سال ۱۳۹۸ برگرفته از گزارش ۵۳ ساله وزارت نیرو همگرا شدند.

بنابراین می‌توانیم نتیجه بگیریم که مدلی که ۸ سال شبیه‌سازی را به صورت درست و نزدیک به واقعیت انجام داده نتایج مربوط به ۱۰ تا ۲۰ سال آینده را نیز درست و نزدیک به واقعیت پیش‌بینی خواهد کرد.




**شکل ۲.** ظرفیت اسمی‌اجرا مدل به مدت ۹۶ ماه

طبق نمودار آورده شده در (شکل ۲)، ظرفیت اسمی‌نیروگاه های کشور در بازه‌ی زمانی ۸ سال شبیه‌سازی چیزی حدود ۸۳ هزار مگاوات شده است، حال آنکه نتایج حاصل از گزارش ۵۳ ساله وزارت نیرو میزان مجموع ظرفیت اسمی‌تا سال ۱۳۹۸ را ۸۲۴۴۹ مگاوات عنوان کرده است.




**شکل ۳.** ظرفیت اسمی‌نیروگاه ها در ۹۶ ماه اجرای مدل

ظرفیت اسمی‌نیروگاه‌ها به تفکیک در ۹۶ ماه اجرای مدل در (شکل ۳) قابل مشاهده می‌باشند. نتایج به‌دست آمده حاکی این مطلب می‌باشد که میزان مگاوات برق تولیدی نیروگاه برق‌آبی (Hydro) در این اجرا معادل ۱۳،۵۳۹ مگاوات، برق تولیدی نیروگاه گازی (Gas) معادل ۲۴۳۴۲ مگاوات، برق تولیدی نیروگاه بخاری (Steam) معادل ۱۵،۸۲۲ مگاوات، برق تولیدی نیروگاه سیکل ترکیبی (Combined) معادل ۲۹،۳۱۱ مگاوات و برق تولیدی نیروگاه تجدید پذیر (Renewable) معادل ۱،۱۱۶ مگاوات می‌باشد.

طبق اطلاعات استخراج‌شده از گزارش ۵۳ ساله وزارت نیرو [**۱۷**]، میزان ظرفیت اسمی‌نیروگاه‌های مذکور به ترتیب عبارت است از (شکل ۳) : نیروگاه برق آبی (Hydro) معادل ۱۲،۱۹۱ مگاوات، نیروگاه گازی (Gas)



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-08-31 ]

[ DOI: 10.22034/20.3.141 ]

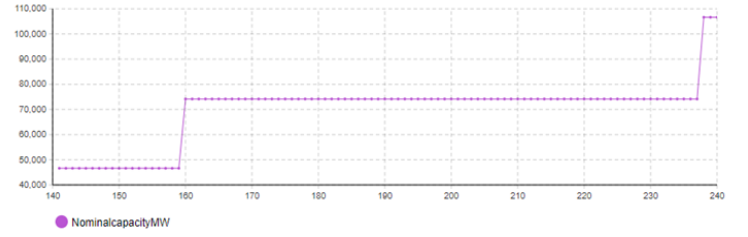
معادل ۲۲۶۰۱۸مگاوات، نیروگاه بخاری (steam) معادل ۱۵،۸۲۹ مگاوات، نیروگاه سیکل‌ترکیبی (Combined) معادل ۲۱۲۷۰۱۳مگاوات و نیروگاه تجدیدپذیر (renewable) معادل ۱،۱۱۹ مگاوات.

## ۵ یافته‌ها

جهت بهینه‌سازی مدل شبیه‌سازی عامل بنیان ارایه‌شده در مدل مفهومی، با بهره‌گیری از نظرات خبرگان تعداد پنج سناریو با شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفت که هدف هر یک آنها کاهش اثرات آلودگی هوا، بهینه‌سازی مصرف سوخت‌های مایع و سوخت‌های فسیلی و همچنین تامین مگاوات برق مصرفی موردنیاز مصرف‌کنندگان در بخش‌های مختلف می‌باشد.

جهت بررسی سناریوهای مختلف جهت پیش‌بینی بازه زمانی ۱۰ ساله را در نظر می‌گیریم یعنی نتایج حاصل از سناریوها تا سال ۱۴۱۰در ادامه مورد بررسی قرار خواهند گرفت:

**جدول ٦.** سناریو ۱ و نتایج حاصل از آن

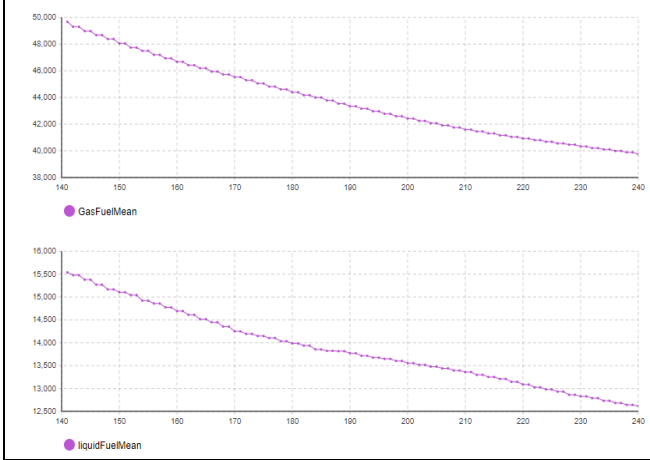
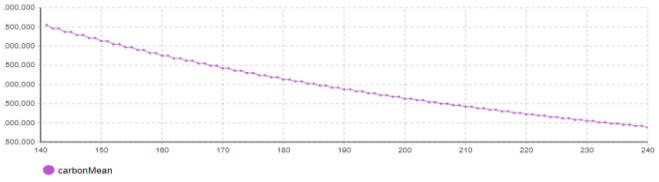
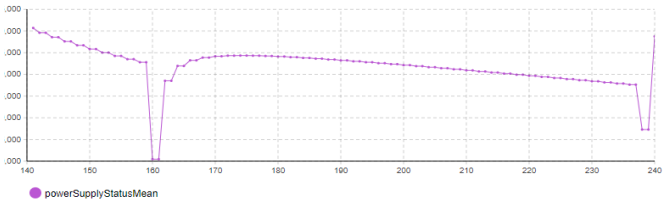
| **سناریو ۱:** با توجه به افزایش آلودگی هوا و تاثیرات زیست محیطی و کمبود ذخیره سوخت‌های فسیلی، تمرکز دولت بر نیروگاه تجدیدپذیر[1] باشد. | |
|---|---|
| **نتایج سناریو ۱** | |
| ۸۰٪ نیروگاه گازی و ۷۰٪ نیروگاه سیکل ترکیبی از رده خارج شود | - جذابیت نیروگاه‌های گازی و سیکل ترکیبی کاهش<br>- جذابیت‌نیروگاه‌های بخاری و برق آبی افزایش |
|  | |
|  | افزایش ظرفیت اسمی‌و دوبار سرمایه‌گذاری‌توسط بخش خصوصی- درجهت‌جبران‌کمبود برق تولیدی |

[1] Renewable



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-08-31 ]

[ DOI: 10.22034/20.3.141 ]

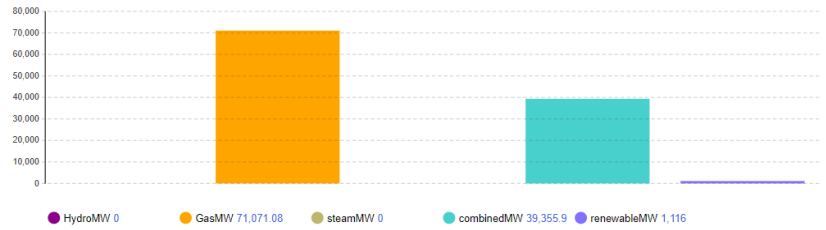
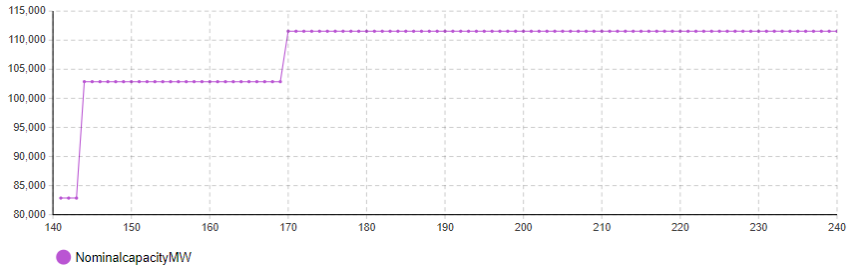
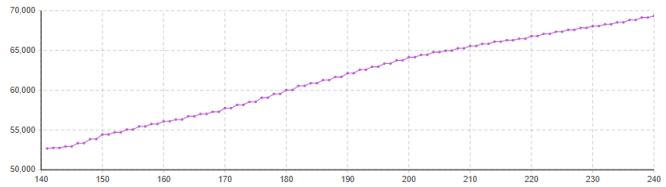
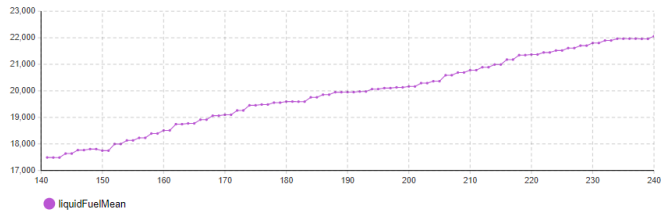
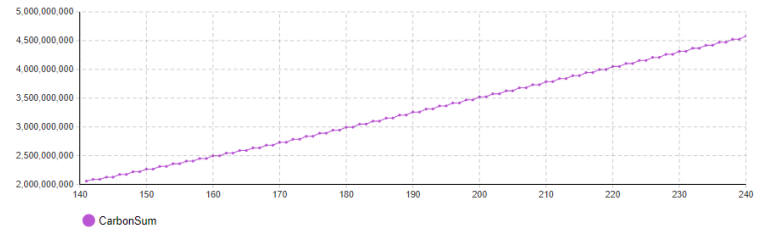
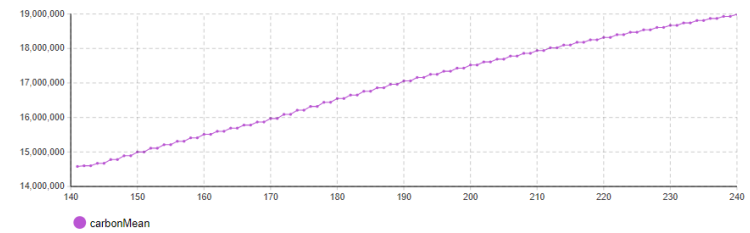
| | |
|---|---|
| کاهش مصرف سوخت‌های گازی و مایع (نفت کوره و گازوییل) که منجر به کاهش آلودگی هوا و کاهش انتشار گاز کربن در محیط‌زیست می‌شود. |  |
| کاهش انتشار گاز کربن ناشی از سوخت‌های-گازی-و-سوخت های فسیلی |  |
| کمبود مگاوات برق تولیدی در مقابل مگاوات برق مورنیاز جهت مصرف در بخش های مختلف |  |

همان‌طور که از نتایج به‌دست آمده در (جدول ۶) قابل مشاهده است، با اعمال این سناریو قطعا در آینده دچار قطعی‌های فراوان و مشکلات زیادی در زمینه تولید برق با در نظر گرفتن کمبود منابع آبی روبه‌رو خواهیم بود. در نتیجه اگر قرار بر این است که تمرکز دولت بر روی گسترش نیروگاه‌های تجدیدپذیر باشد باید به نوعی برای دیگر نیروگاه‌ها برنامه‌ریزی انجام شود که میزان سوخت مصرفی (مایع وگازی) کاهش پیدا کرده ولی در مقابل شاهد کمبود شدید مگاوات برق مصرفی برای عامل‌های مصرف‌کننده نباشیم.

[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-08-31 ]

[ DOI: 10.22034/20.3.141 ]

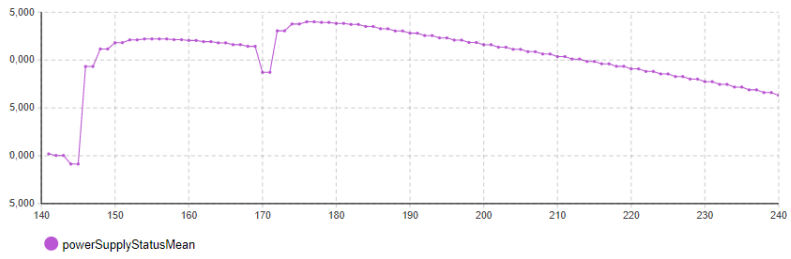
**جدول ۷.** سناریو ۲ و نتایج حاصل از آن

| **سناریو ۲:** به دلیل خشکسالی و کمبود منابع آبی دولت به ناچار بخش اعظمی‌از نیروگاه برق آبی(hydro) و بخار(Steam) را از چرخه تولید برق خارج کند. | |
|---|---|
| **نتایج سناریو ۲** | |
| جذابیت‌نیروگاه‌های برقابی و بخار برابر با صفردرنظرگرفته شده است |  |
| افزایش ظرفیت اسمی‌و-دوبار سرمایه گذاری توسط‌بخش خصوصی درجهت جبران کمبود برق تولیدی |  |
| افزایش‌مصرف-سوخت-های گازی و مایع(نفت-کوره‌و گازوئیل) که منجر به افزایش آلودگی هوا و افزایش‌انتشار گاز-کربن در محیط زیست می‌شود. |  <br>  |
| افزایش‌انتشار گاز کربن ناشی از سوخت های گازی و سوخت های فسیلی |  <br>  |



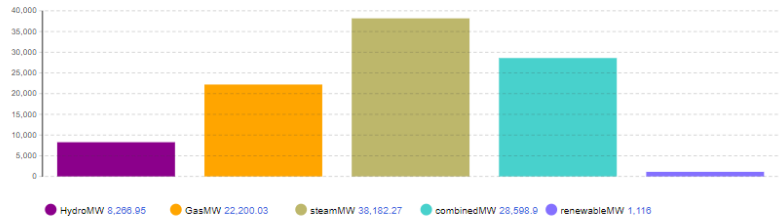
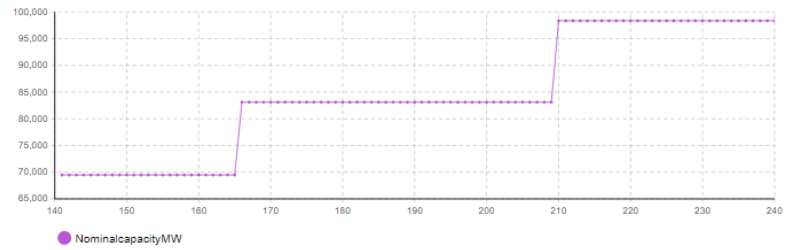
[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-08-31 ]

[ DOI: 10.22034/20.3.141 ]

| | |
|---|---|
| کمبود مگاوات برق تولیدی در مقابل مگاوات برق مورنیاز جهت مصرف در بخش های مختلف |  |

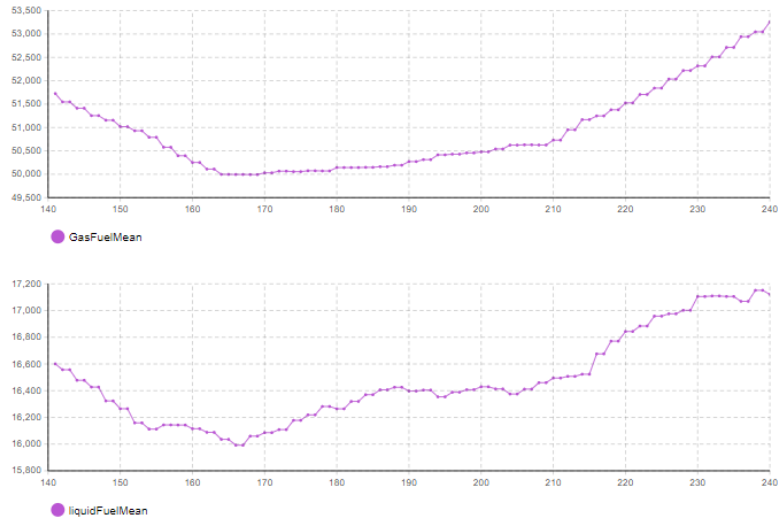
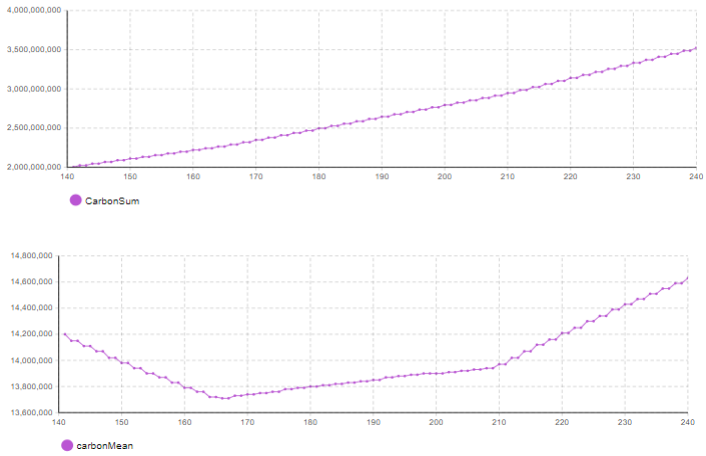
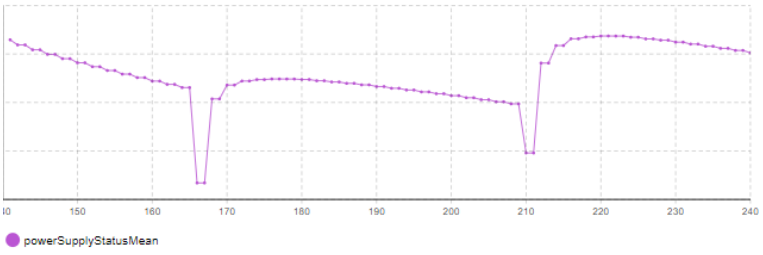
اگر ملاحظات زیست محیطی را در نظر بگیریم قطعا این سناریو (جدول ۷) از بسیاری از جوانب به دلیل مصرف سوخت بالا و انتشار کربن بالا رد خواهد شد. چرا که ما امروزه با کمبود سوخت‌های فسیلی در آینده روبرو هستیم و باید به دنبال راهکاری در جهت مصرف سوخت‌های فسیلی باشیم.

**جدول ۸.** سناریو ۳ و نتایج حاصل از آن

| **سناریو ۳**: فرض کنیم تکنولوژی وارد بازار شود که میزان مصرف بخش خانگی را تا ۴۰٪ کاهش دهد. | |
|---|---|
| **نتایج سناریو ۳** | |
| ورود تکنولوژی جدید به بازار و کاهش ۴۰٪ مصرف بخش خانگی |  |
| افزایش ظرفیت اسمی(کمتر از دو سناریو قبل) و دوبار سرمایه گذاری توسط بخش خصوصی در جهت جبران کمبود برق تولیدی |  |

[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-08-31 ]

[ DOI: 10.22034/20.3.141 ]

| | |
|---|---|
| مصرف سوخت مایع نسبت به دوره قبل ثابت بوده ولی مصرف سوخت گازی افزایش پیدا کرده است که منجر به افزایش آلودگی هوا می‌شود. |  |
| افزایش انتشار گاز کربن ناشی از سوخت‌های گازی |  |
| کمبود مگاوات برق تولیدی در مقابل مگاوات برق مورنیاز جهت مصرف در بخش‌های مختلف |  |

در این سناریو(جدول ۸) با این‌که میزان مگاوات برق مصرفی بخش خانگی ۴۰٪ کاهش پیدا کرد باز هم با کمبود مگاوات برق تولیدی در مقابل مگاوات برق مصرفی روبه‌رو هستیم و نیازمند سرمایه‌گذاری، سرمایه گذار با توجه به جذابیت‌های تدوین‌شده توسط دولت می‌باشیم.

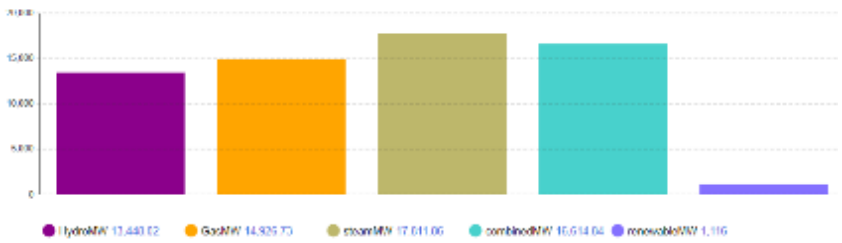
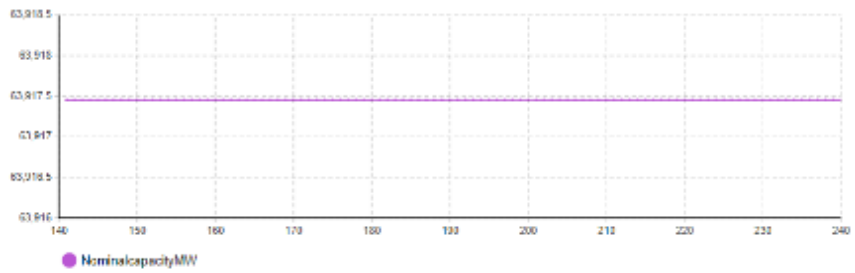
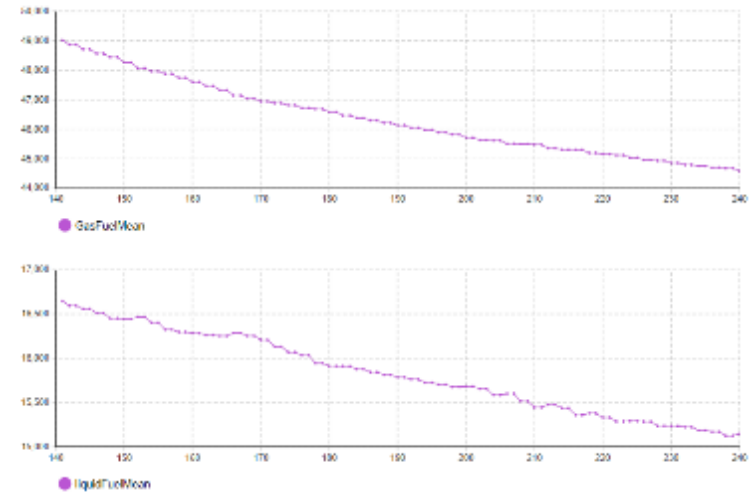
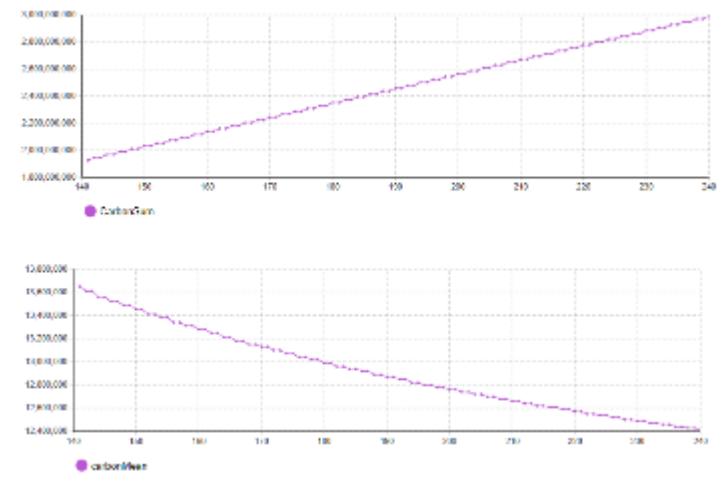
**جدول ۹.** سناریو ۴ و نتایج حاصل از آن

| |
|---|
| **سناریو ٤**: ورود تکنولوژی که منجر به افزایش مگاوات برق مصرفی بخش کشاورزی شود و همچنین تمرکز دولت نیز در این حالت بر نیروگاه‌های تجدیدپذیر باشد. |
| **نتایج سناریو ٤** |



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-08-31 ]

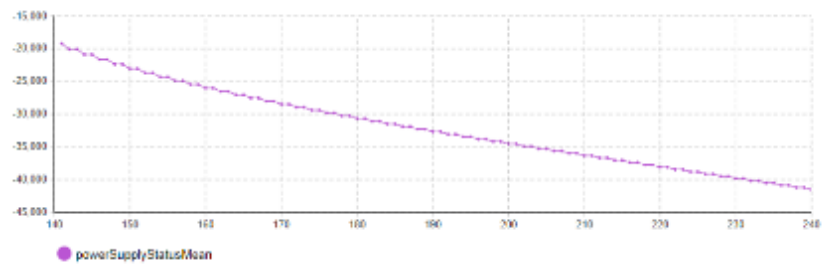
[ DOI: 10.22034/20.3.141 ]

| | |
|---|---|
| ورود تکنولوژی جدید به بازار و افزایش برق مصرفی بخش کشاورزی |  |
| افزایش ظرفیت اسمی(کمتر از دو سناریو قبل) وهیچ سرمایه گذاری انجام نشده است. |  |
| مصرف سوخت گازی و مایع به شدت کاهش پیدا کرده است. |  |
| کاهش چشمگیر آلودگی هوا و انتشار گاز کربن |  |



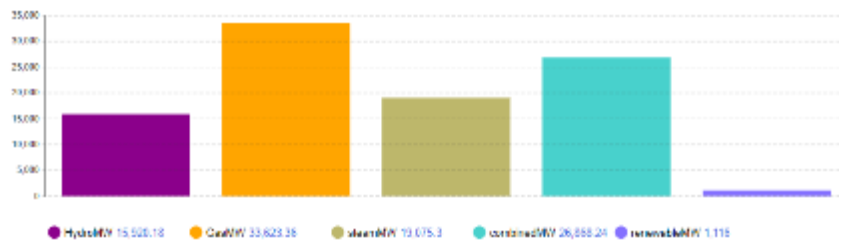
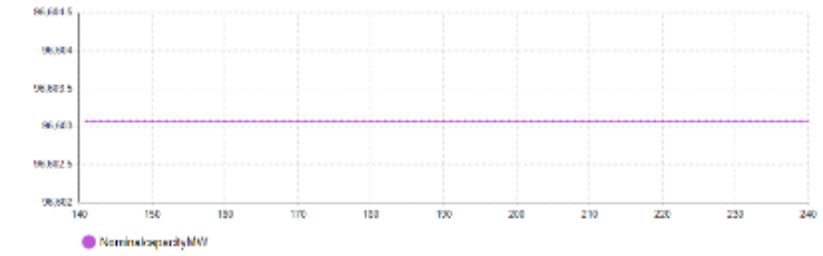
[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-08-31 ]

[ DOI: 10.22034/20.3.141 ]

| | |
|---|---|
| کمبود مگاوات برق تولیدی در مقابل مگاوات برق مورنیاز جهت مصرف در بخش‌های مختلف |  |

آخرین مساله‌ای که از این سناریو(جدول ۹) می‌توان نتیجه گرفت این است که با توجه به اسلایدرهای اعمال شده، میزان مصرف سوخت و در نتیجه مصرف کربن بهینه‌شده ولی میزان مگاوات برق تولیدی ظرفیت اسمی‌نیروگاه‌ها به شدت کاهش پیدا کرده که منجر به ایجاد تفاوت زیاد بین مگاوات برق تولیدی و مگاوات برق مصرفی شده است که این مساله معضلات و چالش‌های زیادی را پیش روی ما خواهد گذاشت.

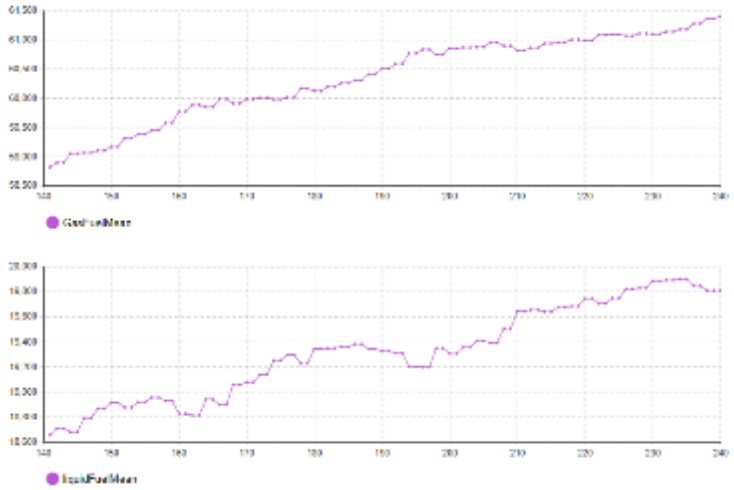
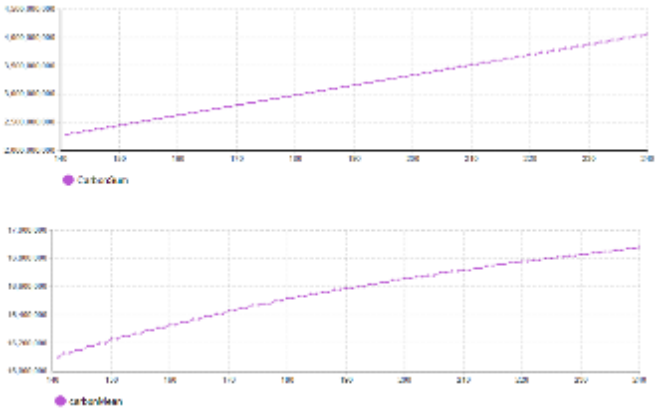
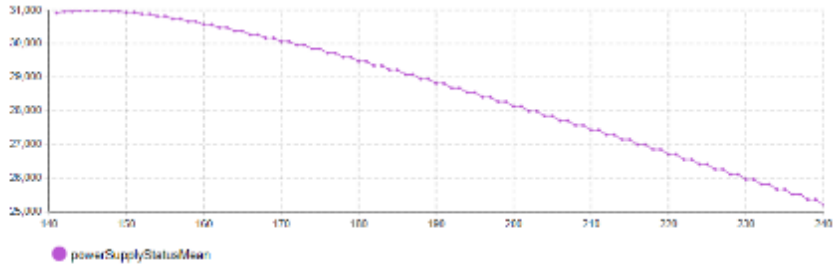
**جدول ۱۰.** سناریو ۵ و نتایج حاصل از آن

| | |
|---|---|
| **سناریو ۵:** تکنولوژی وارد بازار شود که منجر به کاهش مصرف همه عامل‌های مصرف‌کننده گردد. | |
| **نتایج سناریو ۵** | |
| ورود تکنولوژی جدید به بازارو کاهش میزان مصرف همه عوامل مصرف‌کننده |  |
| ظرفیت اسمی‌در این بازه زمانی ثابت باقی مانده است و هیچ سرمایه‌گذاری انجام نشده است. |  |



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-08-31 ]

[ DOI: 10.22034/20.3.141 ]

| | |
|---|---|
| مصرف سوخت گازی و مایع به شدت افزایش پیدا کرده است. |  |
| افزایش چشمگیر آلودگی هوا و انتشار گاز کربن |  |
| مازاد مگاوات برق تولیدی نسبت به مگاوات برق موردنیاز |  |

در نهایت آخرین نتیجه‌ای که از این سناریو(جدول ۱۰) می‌توان داشت این است که با توجه به کاهش مگاوات برق مصرفی عامل‌های مصرف‌کننده و با درنظر گرفتن ۶۹۶۰۳ مگاوات ظرفیت اسمی‌در این بازه ۲۰ساله، برخلاف سناریوهای قبل با مازاد مگاوات برق مصرفی در مقابل مگاوات برق تولیدی روبه‌رو هستیم.

## ۶ نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به مدل ارایه‌شده از چرخه عمر صنعت برق در کشور و شبیه‌سازی آن به کمک نرم افزار Anylogic و پارادایم عامل بنیان پنج سناریو جهت بهینه‌سازی مدل با توجه به نتایج به‌دست آمده برای بازه زمانی ۱۰ سال آینده ارایه و مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی‌های انجام‌شده و اسلایدرهای تدوین‌شده در نرم افزار می‌توانیم با اعمال



[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-08-31 ]

[ DOI: 10.22034/20.3.141 ]

تغییر در مدل شرایط مختلفی را مورد بررسی قرار داده و مدل را بهینه‌سازیم تا بتوان میزان آلودگی هوا و همچنین مصرف سوخت‌های فسیلی را کاهش داده و همچنین میزان کمبود مگاوات برق تولیدی را در بخش‌های مصرفی کاهش داد.

## منابع


[1] Salahi, F., et al., Design of Multi-Objective Model for Disruption Risk Assessment of Supply Chain Using Combined Genetic Algorithm and Simulated Annealing. Journal of Operational Research and Its Applications,(2010), 16(4),89-108.

[2] Kwok, S.Y., J. Schulte, and S. Hallstedt. Approach for sustainability criteria and product life-cycle data simulation in concept selection. in Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference. (2020). Cambridge University Press.

[3] Rouzbahan, M.V., R. Gholipour, and S.R. Seyed Javadin, Optimizing the Competency Model of University Administrators with Delphi-Fuzzy Technique and Grounded Theory Approach. Journal of Operational Research and Its Applications, (2022). 19(1), 57-80.

[4] Guinée, J.B., Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards. The international journal of life cycle assessment, (2002). 7(5), 311-313.

[5] Guinée, J.B. and E. Lindeijer, Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards. Vol. 7. 2002: Springer Science & Business Media.

[6] Zupko, R., Application of agent-based modeling and life cycle sustainability assessment to evaluate biorefinery placement. Biomass and Bioenergy, (2021). 144: p. 105916.

[7] Solis, C.M.A., et al., A multi-objective life cycle optimization model of an integrated algal biorefinery toward a sustainable circular bioeconomy considering resource recirculation. Energies, (2021). 14(5), 1416.

[8] Diaz, A., et al., Sustainable product development in a circular economy: Implications for products, actors, decision-making support and lifecycle information management. Sustainable Production and Consumption, (2021). 26, 1031-1045.

[9] Rand, W. and C. Stummer, Agent-based modeling of new product market diffusion: an overview of strengths and criticisms. Annals of Operations Research, (2021). 305(1), 425-447.

[10] Ameli, M., S. Mansour, and A. Ahmadi-Javid, A simulation-optimization model for sustainable product design and efficient end-of-life management based on individual producer responsibility. Resources, Conservation and Recycling, (2019). 140, 246-258.

[11] Niven, T. and H.-Y. Kao, Probing neural network comprehension of natural language arguments. arXiv preprint arXiv:1907.07355, (2019).

[12] Poh, G.K., I.M. Chew, and J. Tan, Life cycle optimization for synthetic rubber glove manufacturing. Chemical Engineering & Technology, (2019). 42(9), 1771-1779.

[13] Li, J., et al., Big data in product lifecycle management. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2015). 81(1), 667-684.

[14] Walter, M., C. Leyh, and S. Strahringer, Knocking on industry's door: needs in product-cost optimization in the early product life cycle stages. Complex Systems Informatics and Modeling Quarterly, (2017)(13), 43-60.

[15] Manda, B.K., et al., Value creation with life cycle assessment: an approach to contextualize the application of life cycle assessment in chemical companies to create sustainable value. Journal of Cleaner Production, (2016). 126, 337-351.

[16] Chau, C.K., T. Leung, and W. Ng, A review on life cycle assessment, life cycle energy assessment and life cycle carbon emissions assessment on buildings. Applied energy, (2015). 143, 395-413.

[17] Energy, M.o., 53 years of Iran's electricity industry in the mirror of statistics (1346-1398). January 2021, Tavanir specialized parent company, 46.


[ Downloaded from jamlu.liau.ac.ir on 2025-08-31 ]

[ DOI: 10.22034/20.3.141 ]