

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

محمد فرح بخش<sup>۱</sup>، محمود مدیری<sup>۲\*</sup>، سید علی خاتمی فیروزآبادی<sup>۳</sup>، علیرضا پورابراهیمی<sup>۴</sup>

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 طباطبائی، 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 سعی شده 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. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده نتایج حاصله از مدل بهینه‌سازی ارایه‌شده با نتایج واقعی در دسترس بین سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۸ با فاصله کمی مطابقت 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 سوخت‌های 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

## 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 زنجیره تامین برای صنایع امروزی به امری حیاتی مبدل شده است.

از این رو 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 این رو 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 زنجیره تامین مجموعه روش‌هایی می‌باشد که در جهت یکپارچه‌سازی موثر تامین کنندگان، تولید کنندگان، 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 تقریباً 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 عنوان شده 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 مطرح شده در این تحقیق سعی شده تا یک مدل بهینه‌سازی چرخه عمر محصول با استفاده از شبیه‌سازی عامل بنیان<sup>۱</sup> در نیروگاه‌های تولیدکننده برق، ارایه گردد، در این راستا ابتدا چرخه عمر تولید برق را

<sup>1</sup> Agent Based Modeling Simulation

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 سوخت‌های فسیلی به کار رفته در نیروگاه‌های (آبی، برقی، 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 تغییرات شده 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 بخش‌های 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 نظر گرفته 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 <sup>۱</sup>LC و <sup>۲</sup>ABM 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 زنجیره تامین 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.

<sup>۱</sup> Life Cycle

<sup>۲</sup> Agent Based Modeling

با توجه به پیش زمینه مطرح شده تاکنون، در ادامه به بررسی مدل ارایه‌شده جهت شبیه‌سازی و بهینه‌سازی واقع‌گرایانه چرخه عمر صنعت برق با استفاده 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<sup>۱</sup>، 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<sup>۲</sup> 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<sup>۳</sup> 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 گرفته است. [۸]

راند<sup>۴</sup> و همکاران، به بررسی و مطالعه «مدل‌سازی عامل بنیان انتشار بازار محصول جدید: مروری بر نقاط قوت و انتقادات» پرداخته‌اند/ هدف از این 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 و مدل‌سازی عامل بنیان بهره بگیریم. [۹] کوک<sup>۵</sup> 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

<sup>1</sup> Zupko

<sup>2</sup> Solis

<sup>3</sup> Diaz

<sup>4</sup> Rand

<sup>5</sup> Kwok

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

امیلی<sup>۱</sup> 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<sup>۲</sup> و همکاران، در مقاله خود یک مدل شبیه‌سازی عامل بنیان از پریشانی مالی شرکت برای مراحل مختلف چرخه عمر محصول ارائه نمودند. در این مقاله یک مدل شبیه‌سازی عامل بنیان جدید برای شبیه‌سازی علل و فرآیندهای پریشانی مالی شرکت پیشنهاد دادند. چارچوب کلی مدل ارائه‌شده توسط آنان دربرگیرنده چهار عامل، محیط سازمانی، محصول، بانک و محیط کلان می‌باشد. با بررسی علل مختلف در ماندگی مالی در مراحل مختلف چرخه عمر شرکت، مدل شبیه‌سازی مطرح‌شده در چهار دوره 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<sup>۳</sup> و همکاران، پژوهشی با عنوان، «بهینه‌سازی چرخه عمر محصول برای تولید دستکش پلاستیکی» ارائه 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 گاز کربن، 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<sup>۴</sup> و همکاران، مقاله‌ای با عنوان، طراحی چرخه عمر محصول برای ایجاد ارزش پایدار: روش‌های توسعه پایدار محصول در زمینه مهندسی با ارزش بالا ارائه 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 ارائه می‌دهد. یک مدل ارزش پایدار بر اساس درک ارزش از دیدگاه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی مطرح می‌شود. [۱۳]

<sup>1</sup> Ameli

<sup>2</sup> Kao

<sup>3</sup> Poh

<sup>4</sup> Tao

والتر<sup>۱</sup> 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 تکامل یافته ولی، تاکید کمی بر ادغام آنها در سیستم‌های اطلاعاتی مدرن شده است. [۱۴]

ماندا<sup>۲</sup> 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<sup>۳</sup> 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 و ساز ساختمان با تمرکز عمده بر این که 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 محدودیت‌هایی روبه‌رو هستیم و نحوه برخورد با آنها چگونه خواهد بود؟

### ۴ 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 نیروگاه‌های کشور (بخاری، گازی، سیکل

<sup>1</sup> Walter

<sup>2</sup> Manda

<sup>3</sup> Chau

ترکیبی، برق آبی و تجدیدپذیر) جمع آوری و استخراج شده است. جامعه مورد مطالعه پژوهش حاضر صنعت برق در سطح کشور می باشد و جهت استخراج اطلاعات این صنعت را به سه بخش تقسیم کرده ایم:

بخش اول اطلاعات مربوط به مصرف کنندگان می باشد که شامل مصرف کنندگان خانگی، مصرف کنندگان صنعتی، مصرف کنندگان کشاورزی و مصرف کنندگان عمومی می باشند، 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 هر کدام از این نیروگاه ها نیز از گزارش ۵۳ ساله صنعت برق استخراج گردید. بخش سوم مربوط به عامل دولت می باشد که اطلاعات این بخش نیز از گزارش ۵۳ ساله صنعت برق استخراج گردید که در این بخش تعیین شد که با توجه به استراتژی تدوین شده از سمت دولت در بازه زمانی بین سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۸ چند درصد از چه نیروگاهی در چرخه تولید برق دخیل بوده است. جهت مدل سازی و بهینه سازی چرخه عمر صنعت برق و جهت تحلیل نتایج و بهینه سازی در این پژوهش می بایست اطلاعات مربوط به متغیرها را در دو سطح گسسته و پیوسته جمع آوری نموده و سپس به کمک نرم افزار AnyLogic مدل چرخه عمر محصول را شبیه سازی نموده و پس از آن جهت بهینه سازی متغیرهای مساله تعداد ۵ سناریو با توجه به شرایط مطرح شده توسط خبرگان با هدف کاهش مصرف سوخت (گازی و فسیلی)، کاهش انتشار گاز کربن و تولید میزان مگاوات برق مورد نیاز (مصرف کنندگان 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)

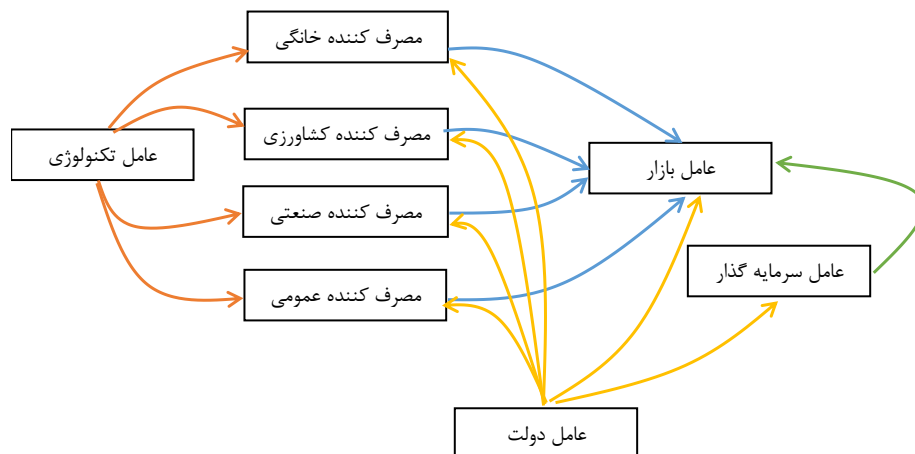
جدول ۱. عامل های مورد استفاده جهت شبیه سازی عامل بنیان

| عامل (Agent)                    | شرح                                                                             |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| مصرف کننده خانگی <sup>۱</sup>   | شامل مگاوات برق مصرفی، بخش خانگی                                                |
| مصرف کننده صنعتی <sup>۲</sup>   | شامل مگاوات برق مصرفی، بخش صنعتی                                                |
| مصرف کننده کشاورزی <sup>۳</sup> | شامل مگاوات برق مصرفی، بخش کشاورزی                                              |
| مصرف کننده عمومی <sup>۴</sup>   | شامل مجموع مگاوات برق مصرفی، بخش های (عمومی+عمومی مصارف+روشنایی معابر)          |
| دولت <sup>۵</sup>               | نقش موثر و تعیین کننده بر روی همه عوامل به جز عامل تکنولوژی دارد.               |
| بازار <sup>۶</sup>              | تولید کننده برق                                                                 |
| تکنولوژی <sup>۷</sup>           | عاملی است که می توان بر میزان مصرف بخش های مختلف تاثیر مثبت یا منفی داشته باشد. |

<sup>1</sup> Household Consumption<sup>2</sup> Industrial Consumption<sup>3</sup> Agriculture Consumption<sup>4</sup> General Consumption<sup>5</sup> Government<sup>6</sup> Market<sup>7</sup> Technology

|                                                                                                               |                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| این عامل میزان کمبود مگاوات را از طریق سرمایه‌گذاری روی انواع نیروگاه‌ها با توجه به عوامل موجود تامین می‌کند. | سرمایه‌گذار <sup>۱</sup> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|

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



شکل ۱. مدل مفهومی پژوهش

براساس مدل مفهومی (شکل ۱) ارایه شده در این پژوهش سعی شده تا با در نظر گرفتن هشت عامل و تاثیرات آنها بر یکدیگر به ارایه مدل شبیه‌سازی عامل بنیان از صنعت برق کشور پردازیم. بدین منظور با توجه به اطلاعات موجود از میزان مگاوات برق مصرفی، مصرف کنندگان در بخش‌های مختلف اطلاعات وارد نرم افزار Anylogic شده و نتایج حاصله را با دادن سناریوهای مختلف مورد تحلیل و بررسی قرار می‌دهیم. طبق مدل ارایه شده، تعداد ۴ عامل تحت عنوان مصرف کننده داریم که عبارتند از: مصرف کننده خانگی، مصرف کننده صنعتی، مصرف کننده کشاورزی و مصرف کننده 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 مصرف کنندگان 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 اسمی نیروگاه‌ها محاسبه شده و یا نیروگاهی در بخش دولتی وارد چرخه تولید شده یا از آن خارج می‌شود. علاوه بر این دولت با دستورالعمل‌ها و قوانین صادره می‌تواند بر مصرف کنندگان 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 نشان‌دهنده کمبود مگاوات برق

<sup>1</sup> Investors

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 مطرح شده، 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 افزایش یافته به طور مثال با ورود تکنولوژی کولرهای گازی میزان مصرف بسیار افزایش پیدا کرد یا بالعکس 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 استخراج شده از گزارش ۵۳ ساله صنعت برق [۱۷] در زمینه مگاوات برق اسمی تولیدی در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۸، مگاوات برق عملی تولیدی نیروگاه‌ها، میزان مگاوات برق مصرفی مصرف‌کنندگان خانگی، صنعتی، کشاورزی و عمومی و همچنین میزان سوخت مصرفی (مایع و فسیلی (نفت کوره و گازوئیل)) به تفکیک در جداول زیر ارائه شده است:

جدول ۲. عامل‌های مورد استفاده جهت شبیه‌سازی عامل بنیان

| سال  | نیروگاه بخاری |       | نیروگاه گازی |       | نیروگاه سیکل ترکیبی |        | نیروگاه برق آبی |       | نیروگاه تجدید پذیر |
|------|---------------|-------|--------------|-------|---------------------|--------|-----------------|-------|--------------------|
|      | دولتی         | خصوصی | دولتی        | خصوصی | دولتی               | خصوصی  | دولتی           | خصوصی |                    |
| 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  |                    |

جدول ۳. ظرفیت عملی نیروگاه‌های کشور

| سال  | نیروگاه بخاری |       | نیروگاه گازی |       | نیروگاه سیکل ترکیبی |       | نیروگاه برق آبی | وگاه تجدید پذیر |
|------|---------------|-------|--------------|-------|---------------------|-------|-----------------|-----------------|
|      | 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 ۴. مگاوات برق مصرفی مصرف کنندگان

| سال  | خانگی    | عمومی    | صنعتی    | کشاورزی  |
|------|----------|----------|----------|----------|
| ۱۳۹۰ | ۰/۳۰۸۷۱۴ | ۰/۱۸۰۳۴۹ | ۰/۳۴۷۷۰۱ | ۰/۱۶۳۳۳۶ |
| 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

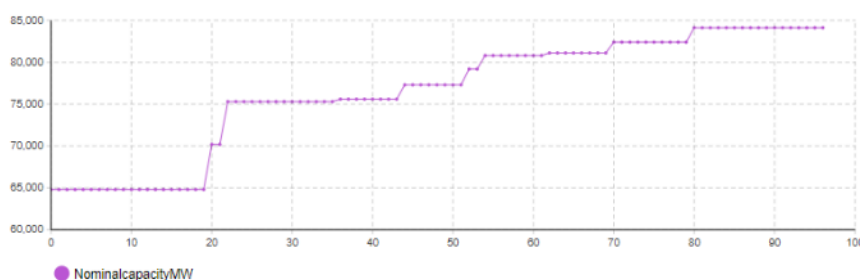
| سال  | سوخت مایع (Liquid)<br>و لیتر (Lit) |             | سوخت گازی (Gas)<br>مترمکعب (M <sup>3</sup> ) | مجموع سوخت مایع<br>(Lit) | مجموع سوخت گازی<br>(M <sup>3</sup> ) | مگاوات برق<br>تولیدی |
|------|------------------------------------|-------------|----------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|----------------------|
|      | گازوئیل                            | نفت<br>کوره |                                              |                          |                                      |                      |
| 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 مونت کارلو 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 کالبره (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

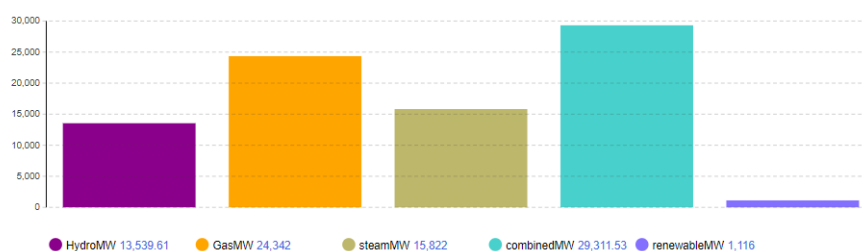
کردیم که با ورود اطلاعات سال ۱۳۹۰ به عنوان مقادیر اولیه پس از ۸ سال (۹۶ ماه) اجرای مدل نتایج حاصله در زمینه میزان مگاوات برق تولیدی اسمی، سوخت مصرفی (Liquid Fuel و Gas Fuel) و ظرفیت اسمی نیروگاه‌های گازی، بخاری، سیکل ترکیبی، برق آبی و تجدیدپذیر به مقادیر موجود در سال ۱۳۹۸ برگرفته از گزارش ۵۳ ساله وزارت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

طبق نمودار آورده شده در (شکل ۲)، ظرفیت اسمی نیروگاه‌های 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 اسمی تا سال ۱۳۹۸ را ۸۲۴۴۹ مگاوات عنوان کرده است.



شکل ۳. ظرفیت اسمی نیروگاه‌ها در ۹۶ ماه اجرای مدل

ظرفیت اسمی نیروگاه‌ها 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 برق آبی (Hydro) در این اجرا معادل ۱۳,۵۳۹ مگاوات، برق تولیدی نیروگاه گازی (Gas) معادل ۲۴,۳۴۲ مگاوات، برق تولیدی نیروگاه بخاری (Steam) معادل ۱۵,۸۲۲ مگاوات، برق تولیدی نیروگاه سیکل ترکیبی (Combined) معادل ۲۹,۳۱۱ مگاوات و برق تولیدی نیروگاه تجدیدپذیر (Renewable) معادل ۱,۱۱۶ مگاوات می‌باشد.

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

معادل ۲۲۶۰۱۸ مگاوات، نیروگاه بخاری (steam) معادل ۱۵۸۲۹ مگاوات، نیروگاه سیکل ترکیبی (Combined) معادل ۲۱۲۷۰۱۳ مگاوات و نیروگاه تجدیدپذیر (renewable) معادل ۱،۱۱۹ مگاوات.

## ۵ یافته‌ها

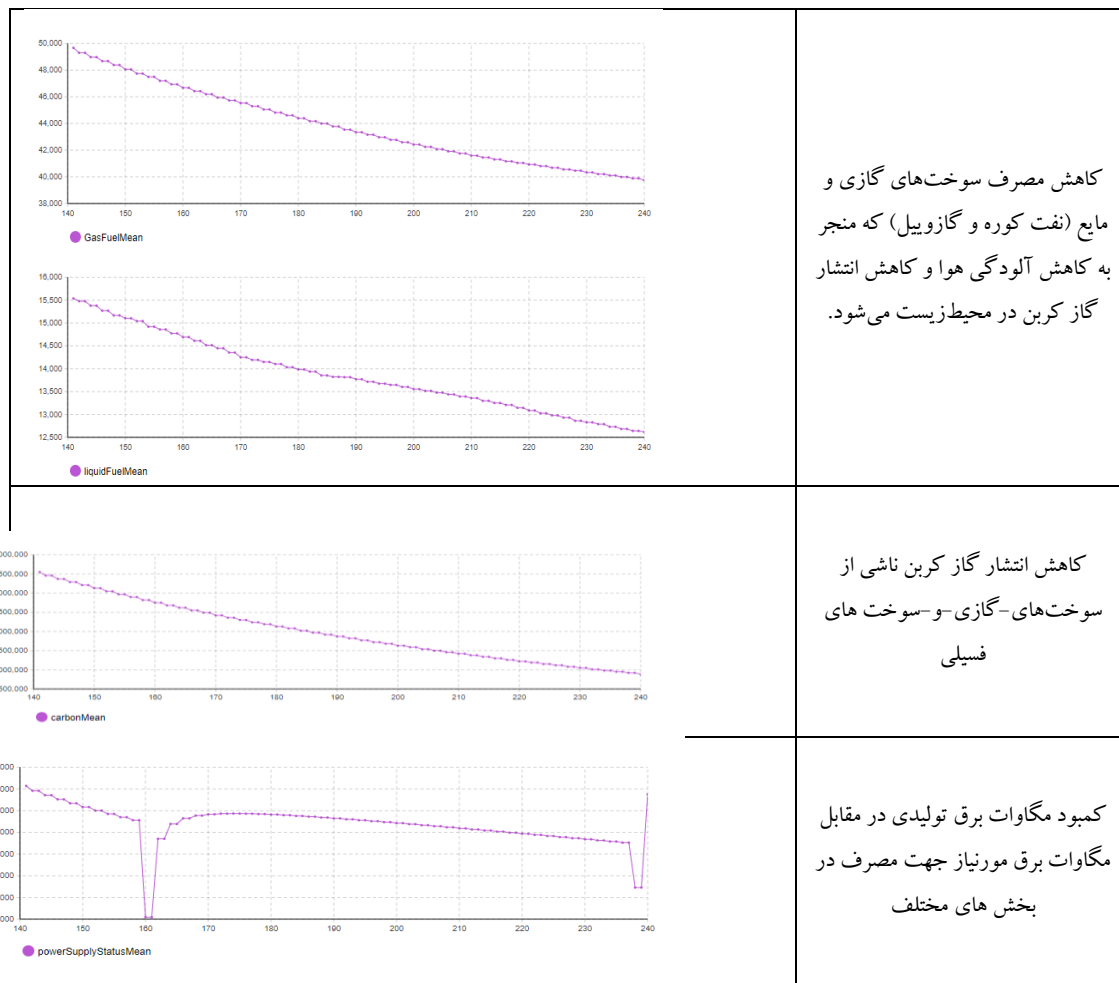
جهت بهینه‌سازی مدل شبیه‌سازی عامل بنیان ارایه‌شده در مدل مفهومی، با بهره‌گیری از نظرات خبرگان تعداد پنج سناریو با شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفت که هدف هر یک آنها کاهش اثرات آلودگی هوا، بهینه‌سازی مصرف سوخت‌های مایع و سوخت‌های فسیلی و همچنین تامین مگاوات برق مصرفی موردنیاز مصرف‌کنندگان در بخش‌های مختلف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

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

## جدول ۶. سناریو ۱ و نتایج حاصل از آن

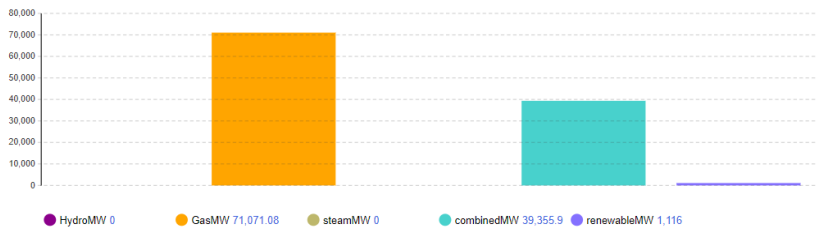
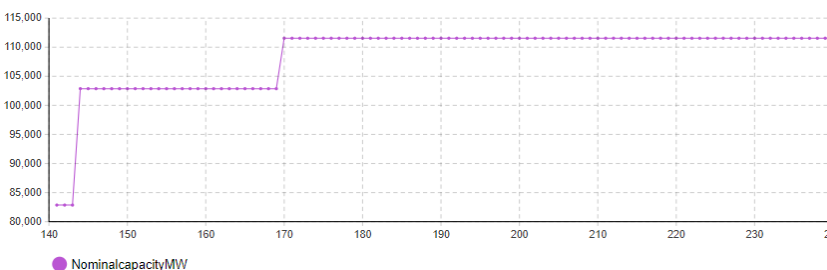
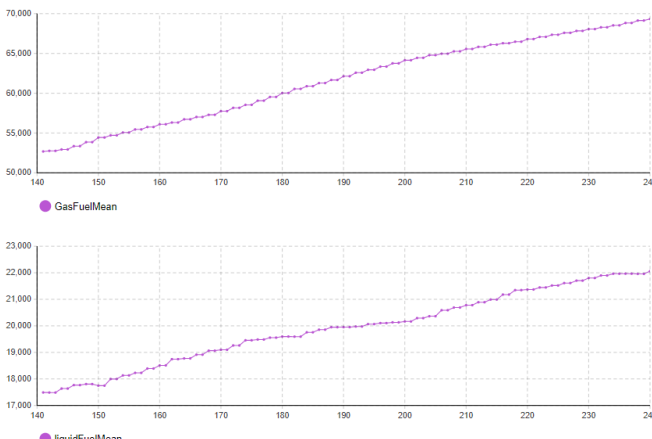
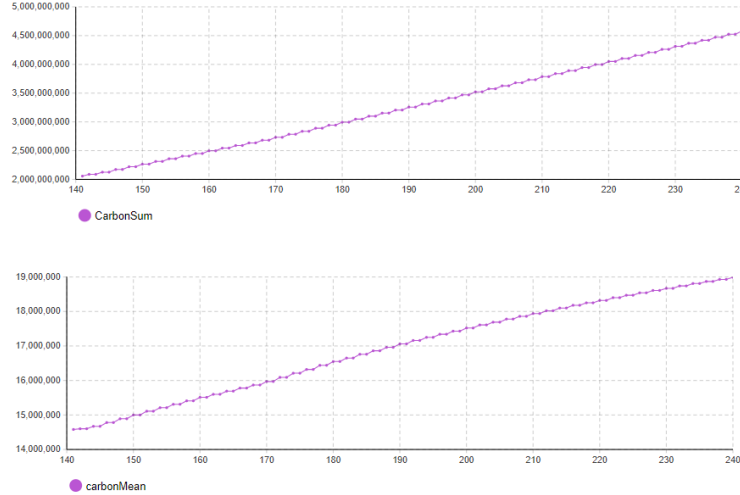


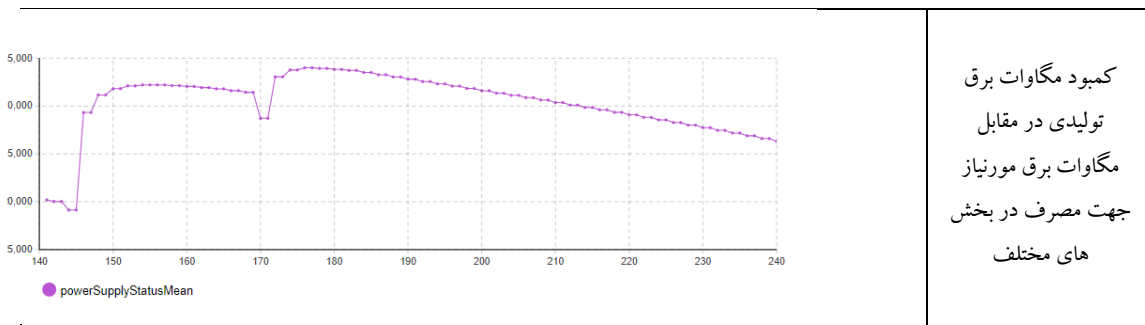
<sup>1</sup> Renewable



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 و گازی) کاهش پیدا کرده ولی در مقابل شاهد کمبود شدید مگاوات برق مصرفی برای عامل‌های مصرف‌کننده نباشیم.

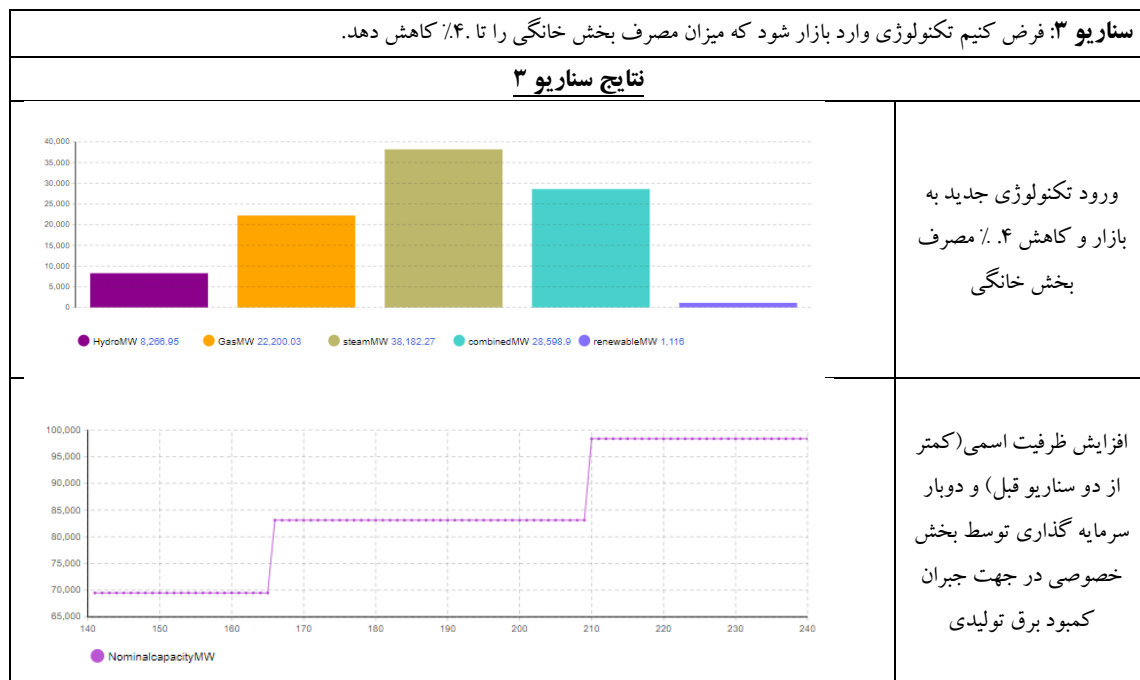
## جدول ۲. سناریو ۲ و نتایج حاصل از آن

| سناریو ۲: به دلیل خشکسالی و کمبود منابع آبی دولت به ناچار بخش اعظمی از نیروگاه برق آبی (hydro) و بخار (Steam) را از چرخه تولید برق خارج کند. |                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| نتایج سناریو ۲                                                                                                                               |                                                                                                                                                       |
|                                                            | جذابیت نیروگاه‌های برقابی و بخار برابر با صفر در نظر گرفته شده است                                                                                    |
|                                                           | افزایش ظرفیت اسمی و-<br>دوبار سرمایه گذاری<br>توسط بخش خصوصی<br>در جهت جبران کمبود<br>برق تولیدی                                                      |
|                                                           | افزایش مصرف-سوخت-<br>های گازی و مایع (نفت-<br>کوره و گازوئیل) که<br>منجر به افزایش آلودگی<br>هوا و افزایش انتشار گاز-<br>کربن در محیط زیست<br>می شود. |
|                                                           | افزایش انتشار گاز کربن<br>ناشی از سوخت های<br>گازی و سوخت های<br>فسیلی                                                                                |



اگر ملاحظات زیست محیطی را در نظر بگیریم قطعاً 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



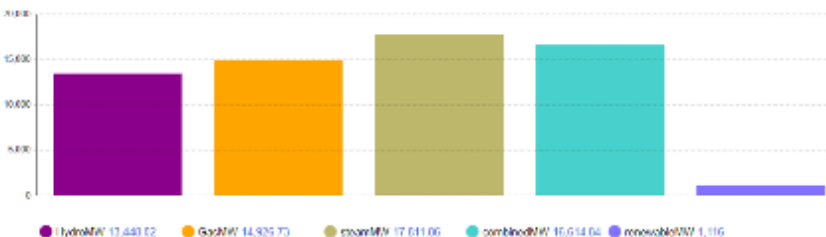
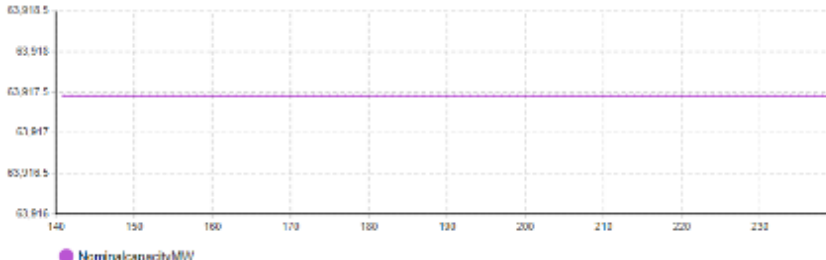
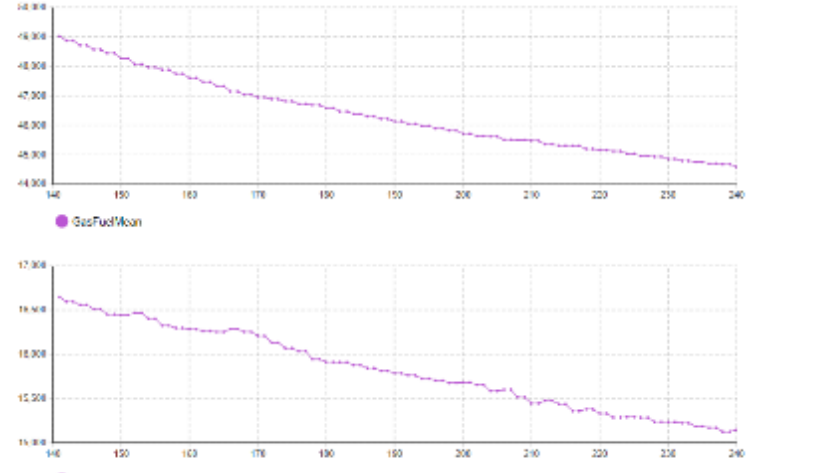
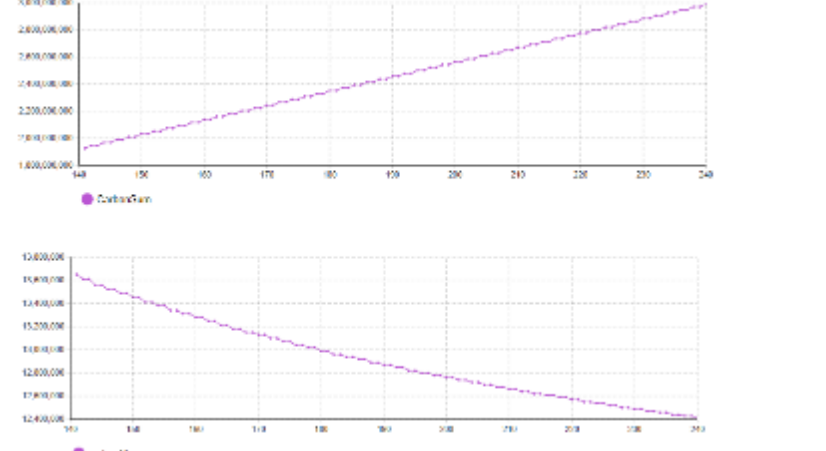


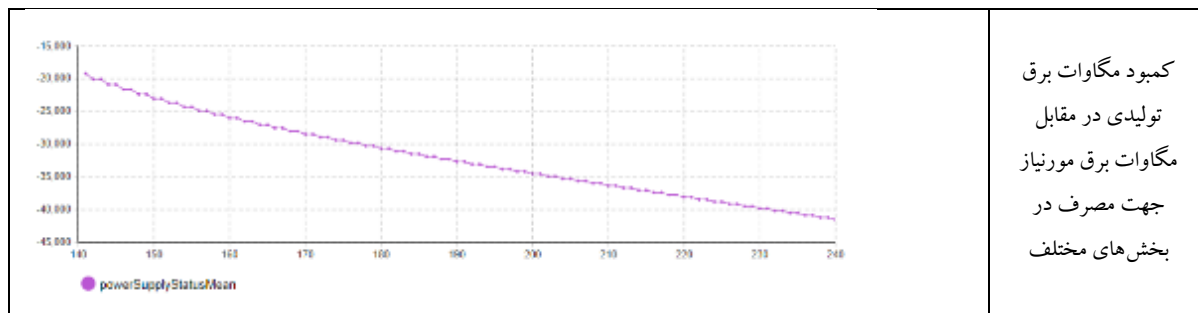
در این سناریو (جدول ۸) با این که میزان مگاوات برق مصرفی بخش خانگی ۴۰٪ کاهش پیدا کرد باز هم با کمبود مگاوات برق تولیدی در مقابل مگاوات برق مصرفی روبه‌رو هستیم و نیازمند سرمایه‌گذاری، سرمایه‌گذار با توجه به جذابیت‌های تدوین شده توسط دولت می‌باشیم.

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

**سناریو ۴:** ورود تکنولوژی که منجر به افزایش مگاوات برق مصرفی بخش کشاورزی شود و همچنین تمرکز دولت نیز در این حالت بر نیروگاه‌های تجدیدپذیر باشد.

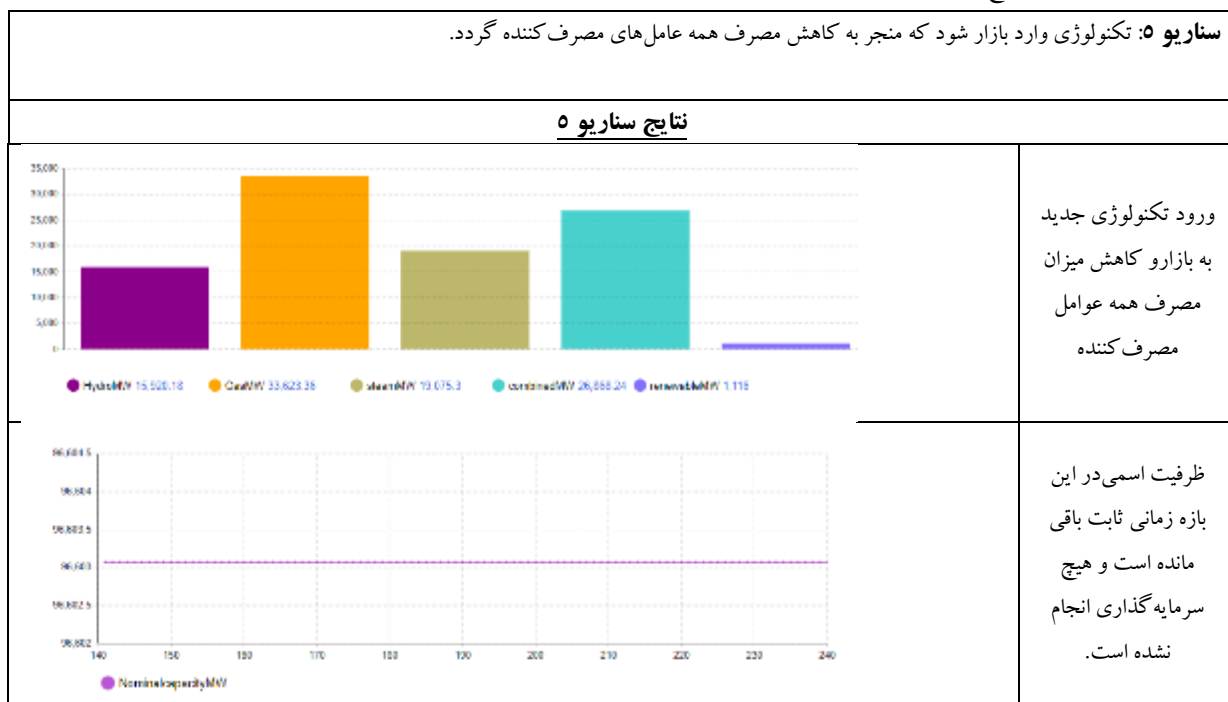
#### نتایج سناریو ۴

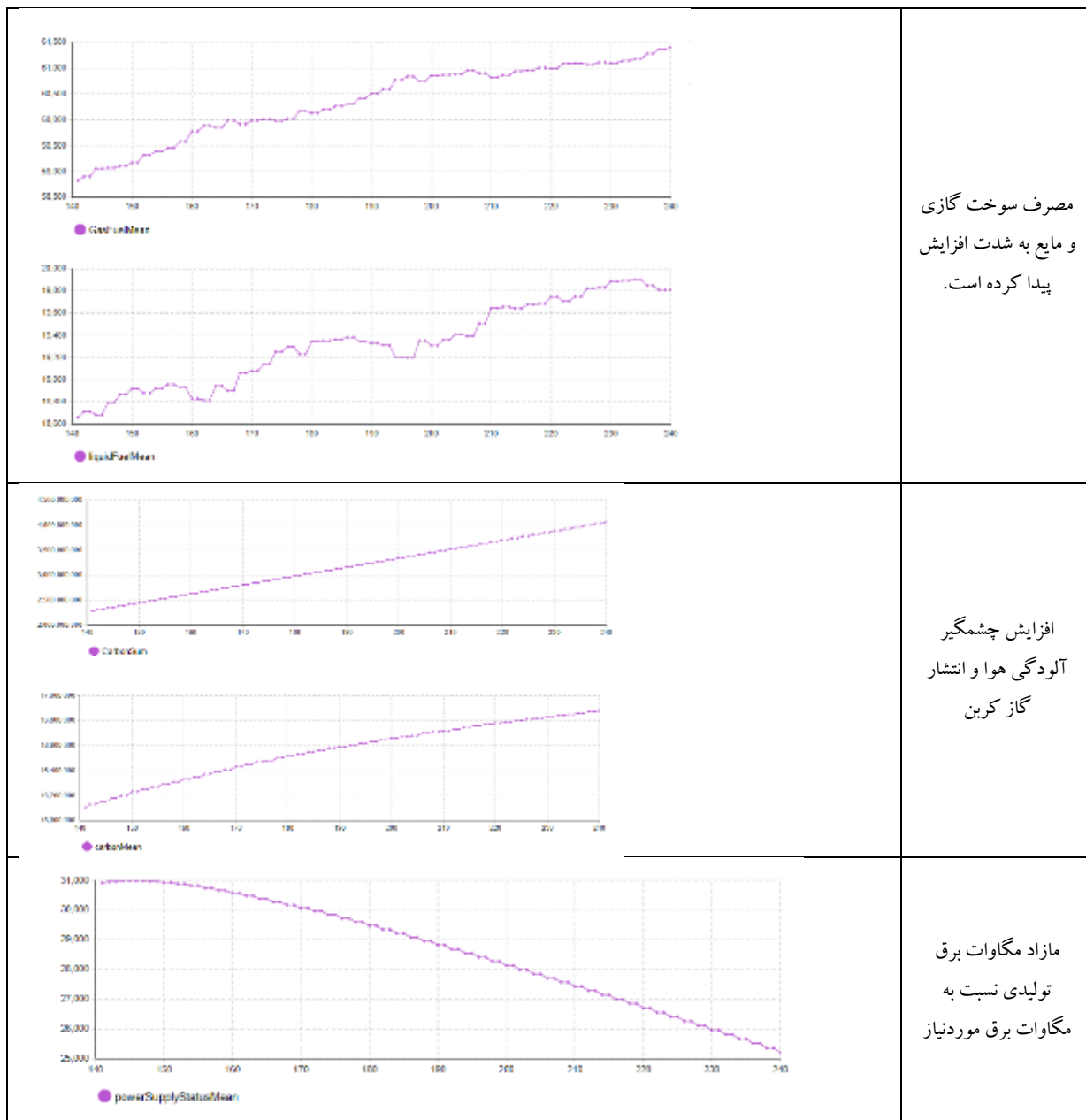
|                                                                                                                                                                                     |                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>HydroMW 13,443.62 GasMW 14,925.73 coalMW 17,611.06 combinedMW 16,614.04 renewableMW 1,116</p> | <p>ورود تکنولوژی جدید<br/>به بازار و افزایش برق<br/>مصرفی بخش<br/>کشاورزی</p>                       |
|  <p>NominalCapacity/MW</p>                                                                        | <p>افزایش ظرفیت<br/>اسمی (کمتر از دو<br/>سناریو قبل) و هیچ<br/>سرمایه گذاری انجام<br/>نشده است.</p> |
|  <p>GasFuelMean</p> <p>LiquidFuelMean</p>                                                        | <p>مصرف سوخت گازی<br/>و مایع به شدت کاهش<br/>پیدا کرده است.</p>                                     |
|  <p>CoalFuelMean</p> <p>carbonEmit</p>                                                          | <p>کاهش چشمگیر<br/>آلودگی هوا و انتشار<br/>گاز کربن</p>                                             |



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 بهینه شده ولی میزان مگاوات برق تولیدی ظرفیت اسمی نیروگاه‌ها 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





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 در نظر گرفتن ۶۹۶۰۳ مگاوات ظرفیت اسمی در این بازه ۲۰ ساله، 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

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.