



ارائه الگوی مناسب مدیریت انرژی با روش بهینه سازی چند پاسخی و شبیه سازی گذری در سیکل های ترکیبی تولید انرژی

عباس مطلبی^۱، سید احمد شایان نیا^{۲*}، مهدی امیر میاندرق^۳ و ابراهیم نیک نقاش^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۳ و تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۱

چکیده

کمبود برق در سال های اخیر در کشور منجر به قطع برق صنایع و در نتیجه توقفات خطوط تولیدی شده است. در ضمن طبق این نامه ماده ۱۶ قانون جهش تولید دانش بنیان می بایست کلیه صنایع که بالای ۲ مگاوات برق مصرف می نمایند در طی ۵ سال ۵ درصد برق مصرفی خود را از انرژی های تجدیدپذیر استفاده نمایند، بر این اساس در این پژوهش مدل ترکیبی سیستم تولید انرژی در یک شرکت تولیدی بدنه خودرو از روش شبیه سازی گذری^۵ با استفاده از نرم افزار ترنسیس مدل سازی شده و پس از آن با استفاده از روش طراحی آزمایش^۶ به کمک روش سطح پاسخ^۷ مدل بهینه می گردد و در نهایت از روش هزینه چرخه عمر مورد بررسی قرار خواهد گرفت، دو عامل مستقل، مساحت پنل های خورشیدی و توان دیزل ژنراتور به عنوان متغیرهای اصلی انتخاب شده است و در ادامه مصرف کل برق، کل مصرف گاز، کل مصرف سوخت دیزل و همچنین، بازگشت سرمایه به عنوان پاسخ اقتصادی برای بهینه سازی انتخاب شده است. نتایج نشان می دهد که افزایش مساحت پنل های خورشیدی با یک شیب کم باعث افزایش دوره بازگشت سرمایه می شود. از سوی دیگر، افزایش توان دیزل ژنراتور تا حدود ۲۰۰۰ کیلو وات به کاهش شدید دوره بازگشت سرمایه کمک می کند. اما افزایش بیشتر توان دیزل ژنراتور از ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلووات باعث افزایش دوره بازگشت سرمایه می شود. بهینه سازی به روش سطح پاسخ نشان داد که نقطه بهینه در مساحت پنل ۱۱۷۱۶،۸۹ مترمربع و در توان دیزل ژنراتور^۸ ۱۹۸۶،۶۹۹ کیلووات رخ می دهد که بازگشت سرمایه آن ۱،۶۱۲ سال است، بنابراین همان طور که در نتایج مشاهده شد بیشترین مقدار تابع مطلوبیت مقدار ۰،۷۲۵ است. این بدان معنی است که ترکیب متغیرهای انتخاب شده در بهینه سازی در

^۱ دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران.

^۲ استادیار گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران، (نویسنده مسئول): sheibat@yahoo.com

^۳ استادیار گروه ریاضی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران.

^۴ استادیار گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران.

^۵Transys

^۶Design of experiment (DOE)

^۷Response surface methodology

^۸Diesel energy generator system

بهترین حالت بهینه به مقدار تابع مطلوبیت ۰,۷۲۵ می‌رسد که عددی بسیار نزدیک نسبت به بیشترین مقدار ممکن (یعنی حالت ایده آل که تابع مطلوبیت آن برابر با مقدار ۱) است.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی، انرژی‌های تجدیدپذیر، بهینه‌سازی، سیستم‌های گذری، بهینه‌سازی چند پاسخی.

مقدمه

انرژی های تجدید پذیر با استفاده از تکنیک های بی ضرر تولید می شوند که در مقایسه با سایر انواع انرژی ، اثرات مخرب کمتری بر محیط زیست دارند. بنابراین ، انرژی های تجدید پذیر نقش اساسی در حرکت به سمت توسعه پایدار دارد. با افزایش نگرانی ها در مورد گرم شدن کره زمین و تغییرات آب و هوا و همچنین برای اطمینان از امنیت انرژی جهان ، چندین کشور متوجه شده اند که نیاز به پایداری در تولید و مصرف انرژی به طور فزاینده ای بسیار مهم است. ایران واقع در خاورمیانه ، دومین ذخایر بزرگ گاز طبیعی جهان و همچنین دومین عرضه نفت اوپک را در اختیار دارد (فدایی و حسینیان، ۲۰۱۱).

تکنولوژی های مربوط به انرژی های تجدید پذیر تقریباً ۳/۳ درصد از نیازهای کل جهان به بخش انرژی را تامین می کند. در نتیجه در طی سال های متمادی دانشمندان زیادی بر روی تحقیق و توسعه این نوع از انرژی کار کرده اند. از جمله دلایل اصلی اینگونه فعالیت ها را می توان در عواملی چون: گرم شدن زمین، افزایش بهای حامل های انرژی و خرابی های که از کاهش ذخایر انرژی فسیلی به گوش می رسد دانست. محققان آلودگی های ناشی از تولید و استفاده از سوخت های فسیلی را دلیل اولیه در گرم شدن کره زمین می دانند (الکلت و روزبن، ۲۰۱۰).

با توجه به حذف یارانه های انرژی ، کمبود منابع تولید انرژی و در نهایت هزینه های بالای آن ، بر اهمیت مقوله صرفه جویی در انرژی و مدیریت مطلوب و بهینه آن می افزاید لذا مدیریت مطلوب انرژی خصوصاً در صنایع تولیدی و مادر که از مصرف انرژی بالایی برخوردارند، اهمیت بیشتری پیدا خواهند کرد . دستیابی به راه حل برای مشکلات زیست محیطی که امروز با آن روبرو هستیم ، نیازمند اقدامات بالقوه بلند مدت برای توسعه پایدار است. در این راستا ، به نظر می رسد منابع انرژی تجدید پذیر یکی از کارآمدترین و مؤثرترین راه حل ها است انرژی های تجدید پذیر (خورشیدی ، برق ، زیست توده ، باد ، اقیانوس و انرژی زمین گرمایی) در مقایسه با منابع انرژی معمولی فواید زیست محیطی زیادی را ارائه می دهند. هر نوع انرژی تجدید پذیر نیز دارای مزایای ویژه خود است که آن را منحصر به فرد برای برنامه های خاص می کند. تقریباً هیچ یک از آنها نیز آلودگی های مضر زیست محیطی را ندارند، انرژی نقش اساسی در زندگی اجتماعی و اقتصادی و دستیابی به توسعه پایدار در عصر مدرن دارد. هرگاه انرژی به میزان کافی در دسترس باشد ، بنابراین توسعه اقتصادی امکان پذیر است. انرژی همچنین اصلی ترین مؤلفه برای کاهش فقر ، بهبود آسایش انسان و بالا بردن سطح زندگی است (گرگیان و قبادیان، ۲۰۱۹). اقتصاد این کشور به شدت وابسته به صادرات انرژی است ، به گونه ای که بیشتر صادرات ایران نفت و گاز طبیعی است. در سال ۲۰۱۰ ، فقط نفت ۸۰ درصد از کل صادرات از ایران را تشکیل می داد (نادیزاده، کریمی و نعمت الهی، ۲۰۱۰). ایران همچنین دارای پتانسیل بالای

^۱Fadaee & hoseiniyan

^۲Rozben& alkelt

^۳Gorgiyan&ghobadiyan

انرژی های تجدید پذیر مانند انرژی برق ، باد ، خورشیدی ، زمین گرمایی و انرژی موج است. از این رو ، استفاده از این منابع به طور واضح برای کاهش نرخ مصرف ضروری است.

ایران پتانسیل قابل توجهی برای انرژی خورشیدی با میانگین نرخ سالانه ۴٫۵ - دارد. ۵٫۵ کیلو وات ساعت در متر مربع. در این شرایط ، نیروگاه های خورشیدی فتوولتائیک خورشیدی می توانند نقش مهمی در تأمین بخش قابل توجهی از تقاضای برق کشور داشته باشند. اگرچه تمایل بالایی از دولت و سیاستگذاران برای استقرار فناوری سیستم های فتو ولتائیک در ایران وجود دارد ، اما هنوز موانع بسیاری برای تبدیل پتانسیل به واقعیت در این بخش به دلیل رشد ناکافی صنعت ، مشکلات تأمین مالی ، کمبود قوانین حاکم و عدم وجود وجود دارد. نقشه راه توسعه پایدار. حل این مسائل به سیاست های طولانی مدت و پایدار برای دستیابی به توسعه فنی و صنعتی برای دستیابی به پیشرفت گسترده ایده استفاده از کلکتورهای خورشیدی و به تسخیر درآوردن توان خورشید، به دوران پیش از تاریخ باز می گردد. یعنی زمانی که در سال ۲۰۱۲ قبل از میلاد دانشمند یونانی ارشمیدوس روشی برای به آتش کشیدن کشتی های رومی ها ابداع کرد (اندرسون؛ ۱۹۷۷)

هزینه های بعضی از فناوری های تجدیدپذیر به ویژه در بخش برق به سرعت رو به کاهش است. برای نمونه، نوآوری ها در تولید و نصب خورشیدی فتوولتائیک، بهبود در جنس و طراحی توربین ها و پیشرفت در ذخیره سازی انرژی گرمایی در سی اس پی، در کاهش کلی هزینه ها نقش داشته اند. امروزه، در بسیاری از کشورها، تجدیدپذیرها از نظر هزینه با سوخت های فسیلی و منابع هسته ای جدید رقابت پذیرند و با لحاظ نمودن یارانه های فریب دهنده ی آن ها (تجدیدپذیرها تنها یک چهارم یارانه ای را دریافت می کنند که به سوخت های فسیلی داده می شود) این رقابت پذیری بیشتر هم می شود.

دست آخر، گسترش تجدیدپذیرها باعث ایجاد مشاغل و ارزش های محلی می شود. با رشد پایینی که اقتصادها در سراسر دنیا با آن مواجه اند، بخش انرژی تجدیدپذیر راهی است برای افزایش درآمد، بهبود تراز تجاری، مشارکت در توسعه ی صنعتی و ایجاد شغل. تحلیل ها نشان می دهد کشورهایی که چارچوب سیاستی پایداری در انرژی تجدیدپذیر داشته اند از ارزش محلی تولید شده ی این بخش بیشترین بهره را می برند(علیزاده فرد و همکاران؛ ۱۳۹۷)

آلودگی های محیط زیست و کمبود انرژی به عنوان بحران های جدی، پژوهشگران و صنعتگران را بر آن داشته تا به دنبال راهکارهای مناسب با هدف مدیریت انرژی و مدیریت توان باشند. یک سیستم مدیریت انرژی ممکن است یک هدف واحد یا چندین هدف داشته باشد که ممکن است فنی، اقتصادی، فنی اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی اقتصادی باشد. مطالعات متعددی در مورد سیستم مدیریت انرژی انجام شده است، اما بیشتر مشارکت های تحقیقاتی بر روی اهداف اقتصادی متمرکز شده است. اهداف فنی سیستم مدیریت انرژی عبارتند از: عملکرد بهتر سیستم، کیفیت توان بهتر و کاهش تعمیر و نگهداری و خرابی در سیستم مورد نظر می باشد. ادغام وسایل نقلیه برقی پلاگین ، سیستم های ذخیره انرژی و منابع انرژی تجدیدپذیر بدون

هماهنگی مناسب ممکن است باعث انحراف سیستم از عملکرد مورد نظر خود شود، به عنوان مثال، شارژ و تخلیه وسایل نقلیه برقی در مدیریت ناهماهنگ ممکن است منجر به استرس حرارتی در شبکه توزیع و ترانسفورماتورها شود و یکپارچگی ناهماهنگ منابع انرژی تجدیدپذیر ممکن است مشکل توان راکتیو ایجاد کند که باعث انحراف در ولتاژ و مسائل دیگر شود. اهداف اقتصادی به کل هزینه عملیاتی انرژی، هزینه برای مشتریان، حداکثر کردن سود و غیره اشاره دارد. در این مقاله به بررسی کلی روش‌های مدیریت انرژی و مدیریت توان و همچنین معماری‌های متمرکز و غیر متمرکز و الگوریتم‌های مختلف کنترل و بهینه سازی و همچنین چالش‌ها و محدودیت‌های روش‌های مختلف پرداخته می‌شود (موسوی گزافردی و همکاران، ۱۴۰۲).

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

معرفی پروژه

هدف از انجام این پروژه تحقیقاتی، شبیه سازی یک سیستم تولید همزمان ترکیبی با انرژی‌های تجدیدپذیر با استفاده از شبیه سازی گذرا در نرم افزار MATLAB و بهینه سازی چند پاسخی و همچنین هزینه چرخه عمر است. محل اجرای پروژه در یک کارخانه صنعتی تولید قطعات بدنه خودرو با دو سالن تولید و سه ساختمان اداری در شرایط آب و هوایی شهر تهران خواهد بود. شکل ۱ پلان محل اجرای پروژه را نشان می‌دهد.

ردیف	نام ساختمان	کاربری
1	سالن پرس شاپ	صنعتی (تولید قطعات پرسی خودرو)
2	سالن مجموعه سازی	صنعتی (تولید قطعات مجموعه خودرو)
3	ساختمان انکس	ستادی
4	ساختمان مدیریت	ستادی
5	ساختمان خراست	ستادی
6	ساختمان اداری	ستادی
7	ساختمان طرح و برنامه (سیتم ها و روشها)	ستادی
8	ساختمان رستوران	عمومی
9	ساختمان دوش و رفشکن	تولیدی
10	ساختمان موتورخانه	صنعتی



شکل ۱- مشخصات پلان محل اجرای پروژه

جدول ۱ و جدول ۲، به ترتیب جزییات ساعت و تعداد افراد حاضر در محل و اطلاعات ساختمان‌های تولیدی و ستادی در پروژه مورد بررسی را نشان می‌دهد. همچنین جدول ۳ و **Error! Reference source not found.** جزییات مصرف برق و گاز ساعتی در پروژه مورد بررسی را گزارش می‌کنند. این اطلاعات در طراحی سیستم ترکیبی مورد نظر نقش مهمی دارند.

جدول ۱- جزئیات ساعت و تعداد افراد حاضر در محل

ردیف	شیفت	ساعت کارکرد	تعداد نفرات	محل فعالیت
۱	یک	۷ الی ۱۶	۷۰۰	۲۵۰ نفر ستادی
				۴۵۰ نفر تولیدی
۲	دو	۱۶ الی ۲۴	۳۵۰	تولیدی
۳	سه	۷ الی ۲۴	۳۵۰	تولیدی

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۲- اطلاعات ساختمان‌های تولیدی و ستادی

نام ساختمان	کاربری	متراژ (متر مربع)	تعداد نفرات شاغل در محل	وضعیت و جغرافیایی	توضیحات	میزان مصرف برق (kwh)
سالن پرس شاپ	صنعتی (تولید قطعات پرسی خودرو)	۲۳۰۰۰	۳۰۰ نفر شیفت یک و ۲۵۰ نفر شیفت دو و سه	عمده ترین بخش شرق به غرب و بخشی نیز شمال به جنوب	۲۳۰۰۰ متر مربع در یک طبقه	۱۳۰۰
سالن مجموعه سازی	صنعتی (تولید قطعات مجموعه خودرو) جوشکاری و سایر فعالیت‌های مشابه	۵۸۰۰	۱۵۰ نفر شیفت یک و ۱۰۰ نفر شیفت دو و سه	شمال به جنوب	۵۸۰۰ متر مربع در یک طبقه	۵۰۰
ساختمان انکس	ستادی	۲۵۰۰	۱۲۰	شمال به جنوب	۲۵۰۰ متر مربع در سه طبقه	۱۴۰
ساختمان مدیریت	ستادی	۱۳۰۰	۳۵	غرب به شرق	۱۳۰۰ متر مربع در سه طبقه	۱۲۰

۵۰	۴۰۰ متر مربع در سه طبقه	غرب به شرق	۳۵	۴۰۰	ستادی	ساختمان حراست
۵۰	۵۰۰ متر مربع در ۲ طبقه	غرب به شرق	۴۰	۵۰۰	ستادی	ساختمان اداری
۵۰	۷۵۰ متر مربع در دو طبقه	غرب به شرق	۲۰	۷۵۰	ستادی	ساختمان طرح ویرانه (سیستم ها و روشن ها)
۳۰	۵۰۰ متر مربع در یک طبقه	غرب به شرق	۷۰۰ نفر شیفت یک از ساعت ۱۲ الی ۱۴ و ۳۵۰ نفر شیفت دو از ساعت ۲۰ الی ۲۱:۳۰	۵۰۰	عمومی	ساختمان رستوران
۱۰	۲۵۰ متر مربع در یک طبقه	شمال به جنوب	۲۰۰ نفر	۲۵۰	تولیدی	ساختمان دوش و رختکن
۷۵۰	۳۵۰ متر مربع در یک طبقه		۳ نفر	۳۵۰	صنعتی	ساختمان موتورخانه

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۳- جزییات مصرف برق ساعتی در پروژه مورد بررسی

مصرف کل KW	محل مصرف									ساعات
	ساختمان دوش و رختکن	ساختمان رستوران	ساختمان طرح و برنامه	ساختمان اداری	ساختمان حراست	ساختمان مدیریت	ساختمان انگس	سالن مجموعه سازی	سالن پرس شاپ (KW)	
۲۱۰۹	۱۰	۲۰	۳۴	۲۵	۳۰	۸۰	۱۰۰	۵۰۰	۱۳۰۰	۷
۲۰۷۳	۱۰	۲۲	۴۰	۴۱	۴۰	۸۵	۱۰۵	۴۸۰	۱۲۵۰	۸
۲۰۵۹	۱۱	۲۱	۴۳	۴۴	۴۵	۹۰	۱۰۵	۴۷۰	۱۲۳۰	۹
۲۰۴۲	۶	۲۱	۴۵	۴۶	۴۷	۹۲	۱۱۰	۴۶۵	۱۲۱۰	۱۰
۲۰۹۵	۵	۲۳	۴۸	۴۹	۵۰	۹۵	۱۱۵	۴۴۰	۱۲۷۰	۱۱
۲۰۶۳	۷	۳۰	۵۲	۵۲	۵۲	۱۱۰	۱۲۰	۴۴۰	۱۲۰۰	۱۲
۲۱۶۰	۶	۳۱	۵۱	۵۱	۵۱	۱۲۰	۱۳۰	۴۳۰	۱۲۹۰	۱۳
۲۱۲۱	۶	۳۰	۵۰	۵۰	۵۰	۱۲۲	۱۳۸	۴۲۵	۱۲۵۰	۱۴
۲۱۴۳	۱۰	۳۱	۴۷	۴۸	۴۸	۱۲۰	۱۳۹	۴۲۰	۱۲۸۰	۱۵
۲۱۴۲	۱۱	۱۸	۴۸	۴۹	۵۰	۱۲۱	۱۴۰	۴۲۰	۱۲۸۵	۱۶
۲۱۳۰	۵	۱۸	۵۰	۵۰	۵۰	۱۲۲	۱۴۰	۴۲۰	۱۲۷۵	۱۷
۲۰۱۱	۶	۱۹	۴۸	۴۸	۴۹	۱۲۱	۱۳۰	۴۱۰	۱۱۸۰	۱۸
۱۶۸۱	۶	۲۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۵	۲۵	۴۱۰	۱۱۷۵	۱۹
۱۶۴۹	۷	۳۰	۸	۸	۸	۱۴	۲۴	۴۱۰	۱۱۴۰	۲۰
۱۶۱۲	۵	۳۰	۷	۷	۷	۱۳	۲۳	۴۰۵	۱۱۱۵	۲۱
۱۶۰۰	۵	۲۸	۶	۷	۶	۱۴	۲۴	۴۰۰	۱۱۱۰	۲۲
۱۵۷۶	۱۰	۱۸	۷	۷	۶	۱۵	۲۳	۳۸۵	۱۱۰۵	۲۳
۱۵۶۲	۱۰	۱۷	۶	۶	۶	۱۵	۲۲	۳۸۰	۱۱۰۰	۲۴
۱۴۰۵	۵	۱۵	۶	۶	۷	۱۴	۲۲	۳۵۰	۹۸۰	۱
۱۳۹۷	۴	۱۵	۶	۶	۶	۱۴	۲۱	۳۵۰	۹۷۵	۲
۱۳۸۴	۴	۱۴	۷	۷	۶	۱۴	۲۲	۳۴۰	۹۷۰	۳
۱۳۵۳	۵	۱۴	۶	۶	۶	۱۵	۲۱	۳۳۰	۹۵۰	۴
۱۳۴۶	۵	۱۷	۶	۶	۷	۱۴	۲۱	۳۳۰	۹۴۰	۵
۱۳۴۱	۱۰	۱۷	۸	۸	۸	۱۵	۲۰	۳۲۰	۹۳۵	۶

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۴- جزییات مصرف گاز ساعتی در پروژه مورد بررسی

کل مصرف (m ³)	محل مصرف																سالن پرس شاپ (m ³)		سالن	
	ساختمان دوش رختکن		ساختمان رستوران		ساختمان طرح و برنامه		ساختمان اداری		ساختمان حراست		ساختمان مدیریت		ساختمان انکس		سالن مجموعه سا زی					
	اول	دوم	اول	دوم	اول	دوم	اول	دوم	اول	دوم	اول	دوم	اول	دوم	اول	دوم				
۴۴۵	۴۰	۴۰	۶	۴۰	۶	۲۵	۳	۲۵	۳	۲۵	۳	۲۵	۳	۲۵	۳	۴۰	۳	۲۰۰	۱۰	۷
۴۱۰	۴۰	۴۰	۶	۴۰	۶	۲۰	۳	۲۰	۳	۲۰	۳	۲۰	۳	۲۰	۳	۴۰	۳	۱۹۰	۱۰	۸
۳۴۰	۳۹	۳۰	۶	۳۰	۶	۲۰	۳	۲۰	۳	۲۰	۳	۲۰	۳	۲۰	۳	۳۰	۳	۱۵۰	۹	۹
۳۰۰	۳۴	۳۰	۶	۳۰	۶	۲۰	۲	۲۰	۲	۲۰	۲	۲۰	۲	۲۰	۳	۳۰	۲	۱۱۰	۹	۱۰
۲۸۰	۳۱	۳۰	۵	۳۰	۵	۲۰	۲	۲۰	۲	۲۰	۲	۲۰	۲	۲۰	۳	۳۰	۲	۹۰	۸	۱۱
۲۰۵	۳۰	۲۰	۵	۲۰	۵	۱۵	۲	۱۵	۲	۱۵	۲	۱۵	۲	۱۵	۲	۲۰	۲	۷۰	۸	۱۲
۱۹۵	۳۲	۲۰	۶	۲۰	۶	۱۵	۲	۱۵	۲	۱۵	۲	۱۵	۲	۱۵	۲	۲۰	۲	۶۰	۸	۱۳
۱۹۵	۳۲	۲۰	۶	۲۰	۶	۱۵	۲	۱۵	۲	۱۵	۲	۱۵	۲	۱۵	۲	۲۰	۳	۶۰	۷	۱۴
۱۹۵	۳۱	۲۰	۶	۲۰	۶	۱۵	۲	۱۵	۲	۱۵	۲	۱۵	۲	۱۵	۲	۲۰	۳	۶۰	۶	۱۵
۱۹۵	۳۱	۲۰	۶	۲۰	۶	۱۵	۲	۱۵	۲	۱۵	۲	۱۵	۲	۱۵	۲	۲۰	۳	۶۰	۶	۱۶
۱۹۵	۲۲	۲۰	۴	۲۰	۴	۱۵	۱	۱۵	۱	۱۵	۱	۱۵	۱	۱۵	۱	۲۰	۳	۶۰	۶	۱۷
۲۰۵	۲۶	۲۰	۶	۲۰	۶	۱۵	۱	۱۵	۱	۱۵	۱	۱۵	۱	۱۵	۱	۲۰	۳	۷۰	۶	۱۸
۱۵۵	۲۸	۲۰	۶	۲۰	۶	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۲۰	۳	۷۰	۸	۱۹
۱۶۵	۲۸	۲۰	۶	۲۰	۶	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۲۰	۳	۸۰	۸	۲۰
۱۹۵	۲۸	۲۰	۶	۲۰	۶	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۲۰	۳	۱۱۰	۸	۲۱
۲۰۵	۲۸	۲۰	۶	۲۰	۶	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۲۰	۳	۱۲۰	۸	۲۲
۲۴۵	۲۳	۳۰	۳	۳۰	۳	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۳۰	۳	۱۳۰	۹	۲۳
۲۵۵	۲۳	۳۰	۳	۳۰	۳	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۳۰	۳	۱۴۰	۹	۲۴
۲۶۵	۲۳	۳۰	۳	۳۰	۳	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۳۰	۳	۱۵۰	۹	۱
۲۷۵	۲۳	۳۰	۳	۳۰	۳	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۵	۱	۳۰	۳	۱۶۰	۹	۲
۳۱۰	۲۴	۳۰	۳	۳۰	۳	۱۰	۱	۱۰	۱	۱۰	۱	۱۰	۱	۱۰	۱	۳۰	۳	۱۷۰	۱۰	۳
۳۵۰	۳۰	۴۰	۵	۴۰	۵	۱۰	۱	۱۰	۱	۱۰	۱	۱۰	۱	۱۰	۳	۴۰	۳	۱۸۰	۱۰	۴
۳۳۵	۳۶	۴۰	۶	۴۰	۶	۲۵	۲	۲۵	۲	۲۵	۲	۲۵	۲	۲۵	۳	۴۰	۳	۱۹۰	۱۰	۵
۳۴۵	۳۶	۴۰	۶	۴۰	۶	۲۵	۲	۲۵	۲	۲۵	۲	۲۵	۲	۲۵	۳	۴۰	۳	۲۰۰	۱۰	۶

ماخذ: یافته‌های تحقیق

سیستم پیاده سازی شده در TRNSYS

همانطور که در بخش پیش ذکر شد، در این پژوهش از نرم افزار ترنسیس برای شبیه سازی سیستم تولید همزمان سرمایش، گرمایش و برق ترکیبی با انرژی تجدید پذیر استفاده می شود. شکل ۲ سیستم ترکیبی تولید انرژی با پنل و کلکتور خورشیدی پیاده سازی شده در نرم افزار TRNSYS را نشان می دهد. همچنین، اجزای اصلی استفاده شده در این سیستم و سیستم های استفاده شده در آن در

جدول ۵ که منبع آن نرم افزار TRNSYS می باشد نشان داده شده است، نرم افزار شبیه سازی سیستم های انرژی ترنسیس □□□□□□، یک نرم افزار شبیه سازی برای حالت گذرا می باشد، یک نرم افزار با پایه گرافیکی بسیار انعطاف پذیر می باشد. محیط نرم افزار برای شبیه سازی رفتار سیستم های حالت گذرا تعبیه شده است. ترنسیس یک محیط مدل سازی کامل و قابل توسعه برای شبیه سازی فرآیندهای گذرا می باشد که شامل ساختمان هایی با چندین منطقه نیز می شود. این نرم افزار در سراسر دنیا توسط محققان و مهندسان برای اعتبارسنجی مفاهیم جدید انرژی در زمینه های مختلف و وسیعی از قبیل سیستم های آب گرم خانگی تا طراحی ساختمان ها و تجهیزات آنها، استراتژی های کنترل، رفتار ساکنین، سیستم های انرژی جایگزین (باد، خورشید، فوتوولتائیک، سیستم های هیدروژن و غیره) مورد استفاده قرار می گیرد، یکی از ویژگی های اصلی ترنسیس که باعث موفقیت آن شده است ساختار ماژولار و متن باز می باشد که به این مفهوم می باشد که هسته مرکزی نرم افزار و همچنین مدل های کمپوننت مختلف قابل تغییر توسط کاربر نهایی می باشد و می توان برای کاربردهای خاص ویرایش شوند. کاربران می توانند با بهره گیری از ساختار بر پایه DLL به راحتی تجهیزات و کمپوننت های اختصاصی خود را با زبان های مختلف برنامه نویسی (از قبیل سی، پاسکال، فرترن و غیره) توسعه و به برنامه اضافه کنند. همچنین ترنسیس به راحتی می تواند با دیگر برنامه ها از قبیل اکسل، متلب، EES و غیره لینک شود. برخی از کاربردهای ترنسیس در زیر ذکر شده است:

تحلیل سیستم های خورشیدی (حرارتی و فوتوولتائیک)

ساختمان های کم انرژی و سیستم های تهویه مطبوع با قابلیت های پیشرفته

سیستم های انرژی تجدیدپذیر

تولید همزمان حرارت و توان و سلول های سوختی

و هر چیزی که به طور کلی نیازمند شبیه سازی دینامیک باشد

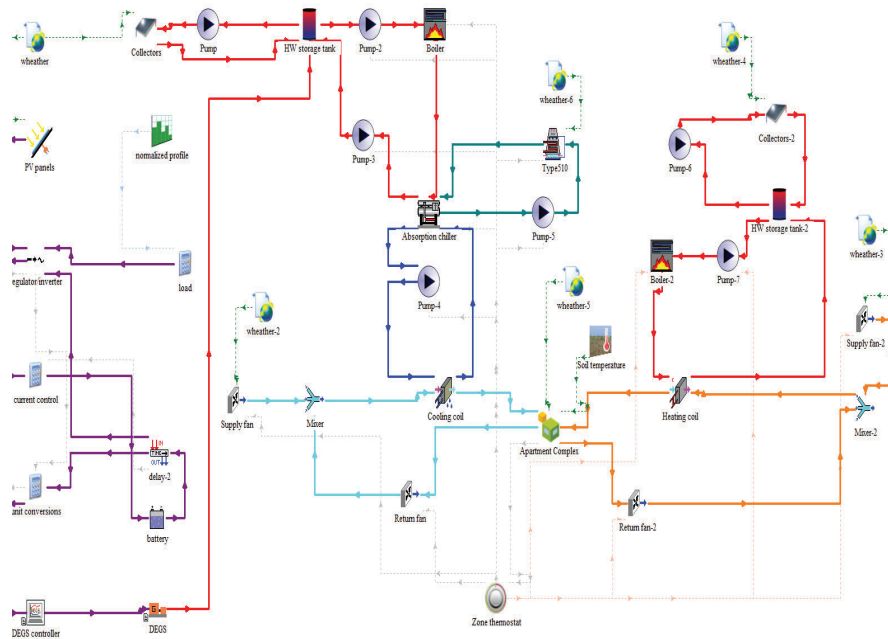
برنامه ترنسیس شامل مجموعه ای از برنامه های مختلف زیر می شود:

TRNSYS Studio: برنامه اصلی برای شبیه سازی شرایط گذرا

TRNExe: موتور اجراگر برنامه

TRNBuild: برنامه ساخت مدل حرارتی ساختمان و افزودن ویژگی های مختلف به آن

TRNEdit: ویرایشگر فایل متنی ترنسیس و ایجاد فایل های قابل توزیع از ترنسیس



شکل ۲- سیستم ترکیبی نیروگاه همزمان برق، حرارت و برودت با پنل و کلکتور خورشیدی پیاده سازی شده در نرم افزار TRNSYS

جدول ۵- اجزای اصلی استفاده شده در سیستم مورد بررسی و سیستم های استفاده شده در نرم افزار

TRNSYS

ردیف	نام سیستم	شماره Type استفاده شده در نرم افزار TRNSYS
۱	پنل خورشیدی	Type 562d
۲	کلکتور خورشیدی	Type 1b
۳	دیزل ژنراتور (DEGS)	Type 120a
۴	بویلر	Type 700
۵	چیلر جذبی	Type 107
۶	برج خنک کن	Type 510
۷	کویل سرمایشی	Type 508a
۸	کویل گرمایشی	Type 670
۹	اینورتر	Type 48c
۱۰	باتری	Type 185a
۱۱	پمپ	Type 114
۱۲	فن	Type 642
۱۳	ساختمان	Type 56
۱۴	میکسر هوا	Type 648
۱۵	داده آب و هوایی	Type 15
۱۶	کنترلر سیستم تولید همزمان	Type 102a
۱۷	ترموستات	Type 166

ماخذ: یافته‌های تحقیق

سیستم مورد بررسی

در این پژوهش یک سیستم تولید همزمان کویل شده با پنل‌های خورشیدی و دیزل ژنراتور بررسی می‌شود. بر اساس تعریفی کلی به هرگونه تولید توانان انرژی حرارتی و الکتریکی از یک منبع انرژی واحد توسط سیستمی یکپارچه و از یک جریان واحد سوخت، تولید همزمان گفته می‌شود و چنانچه این سیستم با یک چیلر جذبی برای تامین سرمایش ساختمان نیز تکمیل گردد و آب گرم مورد نیاز چیلر جذبی با استفاده از آن تامین گردد به عنوان یک سیستم تولید همزمان برق، حرارت و سرما شناخته می‌شود. امروزه توسعه و تسهیل کاربرد سیستم‌های تولید همزمان به علت پیشرفت تکنولوژی و کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و نیز سودمندی اقتصادی این رویه تبدیل انرژی، باعث رویکرد گسترده مصرف‌کننده‌های عمده انرژی به استفاده از این تکنولوژی گردیده است. این در حالی است که راندمان بالای انرژی این سیستم‌ها قادر است در مقیاس کلان ضمن کاهش مصرف سوخت

^۱ Diesel energy generator system (DEGS)

و آلاینده های زیست محیطی تا حد ۵۰٪، گامی در جهت توسعه صنعت برق تجدید ساختار یافته و بهره مندی از مزایای تولیدات پراکنده باشد. آنچه که بیشتر اهمیت سیستم های تولید همزمان را نشان می دهد اتلاف کمتر انرژی و حرارت بیشتر قابل بازیافت نسبت به روش متداول است.

ظرفیت این سیستم به پارامترهایی مانند توان حرارتی و الکتریکی مورد نیاز مجموعه و تغییرات هریک از این دو بر حسب تولید بستگی دارد. به علاوه با توجه به تغییرات مصرف الکتریکی و حرارتی، می توان ظرفیت سیستم را به شکلی تعیین نمود که بخشی از توان الکتریکی مورد نیاز مجموعه توسط این سیستم تامین شده و یا بخشی از برق تولیدی به شبکه سراسری فروخته شود. بررسی امکانسنجی نصب سیستمهای نیروگاه همزمان حرارت و برق^۱ و نیروگاه همزمان برق، حرارت و برودت^۲ با توجه به شرایط مجموعه انجام شده و ظرفیت آن را میزان نیاز حامل های انرژی، هزینه تمام شده تولید برق داخل مجموعه و هزینه برق خریداری شده از شبکه تعیین می نماید.

با توجه به خصوصیت نیروگاه همزمان برق، حرارت و برودت در تامین همزمان برق و حرارت و سرمایش، طراحی سیستم مستلزم شناخت مناسبی از مجموعه مورد نظر بوده و در آن بایستی تغییرات دیماند برقی و حرارتی یک مجموعه تعیین شده و ظرفیت سیستم بر اساس آن طراحی شود. بزرگ سایز شدن سیستم منجر به کارکرد آن در ظرفیت پایینتر از ظرفیت نامی می شود که سبب طولانی تر شدن زمان بازگشت سرمایه می گردد. همچنین با توجه به اینکه با افزایش سایز سیستم هزینه خرید آن بصورت متناسب با ظرفیت افزایش نیافته و کاهش می یابد، کوچک سایز شدن آن نیز باعث کاهش صرفه اقتصادی سیستم می گردد. از این رو طراحی نوع سیستم نیروگاه همزمان برق، حرارت و برودت نقش ویژه ای در تعیین صرفه اقتصادی طرح دارد. در برآورد فنی اقتصادی اجرای سیستم مواردی مانند هزینه های بهره برداری سیستم و تهیه قطعات نیز بایستی دقت گردد.

روش شناسی پژوهش

بهینه سازی

همان طور که در بخش قبلی ذکر شده، طراحی دقیق سیستم های نیروگاه همزمان برق، حرارت و برودت به گونه ای که همه پارامترها در حالت بهینه خود باشند بسیار مهم است. از این رو در این پژوهش نیز از یک روش بهینه سازی برای دستیابی به

^۱Combined Heat and Power

^۲Combined Cooling ,Heat and Powe

بهترین طراحی ممکن در نرم افزار ترنسیس استفاده می‌شود. در این پژوهش از روش طراحی آزمایش^۱ به کمک روش سطح پاسخ^۲ استفاده می‌شود.

برای دستیابی به بهترین عملکرد سیستم طراحی شده، از روش سطح پاسخ استفاده شد. علاوه بر این، تاثیر تغییر عامل‌هایی از سیستم بر روی پاسخ‌های مشخص شده مورد مطالعه قرار گرفت. عامل‌ها متغیرهای مستقلی برای تصمیم‌گیری موثر در طراحی سیستم هستند. از طرفی، پاسخ‌ها شاخص‌های عملکرد سیستم را تحت تاثیر عامل‌های انتخاب شده توصیف می‌کنند. روش سطح پاسخ یک سری روش‌های ریاضی و آماری است که برای بهینه‌سازی یک پاسخ خاص، در جایی که پاسخ تحت تاثیر عامل‌های مختلفی باشد، استفاده می‌شود. بر اساس عامل‌های انتخاب شده، سطح پاسخ مجموعه‌ای از آزمایش‌ها (در اینجا، شبیه‌سازی) را طراحی می‌کند که پاسخ‌ها باید در آن ارزیابی شوند. سطح پاسخ یک مدل درجه دوم کلی برای پیش‌بینی رابطه بین پاسخ و عوامل مستقل ارائه می‌دهد، که در معادله (۳-۱) آمده است:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{N_f} \beta_i Z_i + \sum_{i=1}^{N_f} \beta_{ii} Z_i^2 + \sum_{i < j=2}^{N_f} \sum_{j=2}^{N_f} \beta_{ij} Z_i Z_j \quad (3-1)$$

که در آن y پاسخ در نظر گرفته شده، Z عامل انتخاب شده را نشان می‌دهد، i و j نماینده فاکتورهای مستقل هستند و N_f تعداد عامل‌ها است. علاوه بر این، β ضرایب مجهول متعددی هستند که با تجزیه و تحلیل رگرسیون برآورد می‌شوند.

بهینه‌سازی چند پاسخی

همان‌طور که قبلاً بحث شد، هدف این مطالعه بهینه‌سازی سیستم پیشنهادی با در نظر گرفتن جنبه‌های انرژی و اقتصادی به طور همزمان است، به این معنی که بیش از یک پاسخ باید بهینه شود. برای این منظور از روشی به نام تابع مطلوبیت^۳ استفاده می‌شود. در این مفهوم، هر پاسخ به یک تابع مطلوبیت خاص تبدیل می‌شود. تابع مطلوبیت مربوطه بین مقادیر صفر و یک تغییر می‌کند، به این معنی که برای بدترین حالت، مقدار تابع مطلوبیت صفر است، در حالی که تابع مطلوبیت برابر با یک نشان‌دهنده حالت ایده‌آل است. سپس، توابع مطلوبیت پاسخ‌ها ترکیب می‌شوند و مطلوبیت ترکیبی^۴ بدست می‌آید که مطلوبیت کلی مطالعه بهینه‌سازی را نشان می‌دهد. بر این اساس، مطلوبیت ترکیبی به شرح معادله زیر محاسبه می‌شود:

^۱Design of experiment (DOE)

^۲Response surface methodology (RSM)

^۳Factor

^۴Response

^۵Desirability function

^۶Composite desirability (CD)

$$CD = (de_1 \times de_2 \times \dots \times de_{N_r})^{\frac{1}{N_r}} = \left(\prod_{i=1}^{N_r} de_i \right)^{\frac{1}{N_r}}$$

که در آن de_i مطلوبیت پاسخ i ام و N_r تعداد پاسخ‌ها است. شایان ذکر است که هدف بهینه‌سازی عددی، به حداکثر رساندن مطلوبیت ترکیبی است.

عامل‌ها و پاسخ‌های در نظر گرفته شده برای بهینه‌سازی

دو عامل مستقل، از جمله مساحت پنل‌های خورشیدی نصب شده و توان دیزل ژنراتور استفاده شده به عنوان اصلی‌ترین متغیرهای طراحی سیستم پیشنهادی انتخاب شد. دامنه تغییرات عامل‌ها در جدول (۶) که بر گرفته از نرم افزار Design-Expert می‌باشد ذکر شده است. دلیل انتخاب این عامل‌ها و محدودیت‌های آن‌ها در ادامه توضیح داده شده است. مساحت مفید کلکتور نصب شده اثر بسیار بالایی در میزان برق تولیدی سیستم، هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و میزان توان مورد نیاز دیزل ژنراتور دارد. شیب پنل‌ها برابر با عرض جغرافیایی محل یعنی ۳۵٫۷ درجه تنظیم شد. باتوجه به این شیب و میزان فضای سقف در دسترس، حداکثر ۲۴۰۰۰ مترمربع پنل خورشیدی قابل نصب است. به همین دلیل حد بالای تغییرات این عامل، ۲۴۰۰۰ در نظر گرفته شد. حد پایین مساحت پنل نیز صفر فرض شد که نماینده زمانی است که هیچ پنلی استفاده نشود. بنابراین در طول بهینه‌سازی بازه تغییرات مساحت پنل‌های خورشیدی از ۰ تا ۲۴۰۰۰ متر مربع فرض شد. عامل دوم بهینه‌سازی، توان دیزل ژنراتور است که بازه تغییرات آن از ۰ کیلووات (نماینده حالتی که هیچ دیزل ژنراتوری استفاده نشود) تا ۳۰۰۰ کیلووات که بیشترین حد ممکن دیمانند محل مورد نظر است فرض شده است.

جدول ۶- دامنه تغییرات عامل‌های در نظر گرفته شده در روش سطح پاسخ

واحد	دامنه تغییرات	عامل
m ²	۰ - ۲۴۰۰۰	مساحت پنل‌های خورشیدی
KW	۰ - ۳۰۰۰	توان دیزل ژنراتور یا DEGS

ماخذ: یافته‌های تحقیق

سرانجام، برای عامل‌های انتخاب شده، روش سطح پاسخ تعداد $N_{exp} = 13$ آزمایش (در اینجا، اجرای شبیه سازی) همراه با طراحی مرکب مرکزی^۲ را پیشنهاد داد. شایان ذکر است که طراحی آزمایش^۳ و محاسبات سطح پاسخ با استفاده از نرم افزار Design Expert انجام شد.

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، این مطالعه، یک مسئله بهینه‌سازی چند پاسخی را با در نظر گرفتن پاسخ‌های انرژی و اقتصادی ارائه می‌کند. در این پژوهش ۴ پاسخ یا تابع هدف بهینه سازی انتخاب شد که در جدول ۷ که بر گرفته از نرم افزار Design-Expert می‌باشد آمده است. پاسخ‌های در نظر گرفته شده از دیدگاه انرژی عبارتند از مصرف کل برق^۴، کل مصرف گاز^۵، کل مصرف سوخت دیزل^۶، همچنین، بازگشت سرمایه^۷ به عنوان پاسخ اقتصادی برای بهینه سازی انتخاب شد. لازم به ذکر است که پاسخ مصرف کل برق^۸ از تفریق مصرف برق در مجموعه و میزان برق تولیدی سیستم بدست می‌آید. بنابراین زمانی که میزان تولیدی برق از میزان مصرف بیشتر باشد این پارامتر منفی می‌شود. هدف از بهینه سازی کمینه سازی هر ۴ پاسخ (تابع هدف) در نظر گرفته شده به صورت همزمان است.

جدول ۷ - پاسخ های در نظر گرفته شده در بهینه سازی

Response	Name	Field
R1	Net electricity consumption	energy
R2	Total natural gas consumption	energy
R3	Total diesel consumption	energy
R4	Payback period	economic

ماخذ: یافته‌های تحقیق

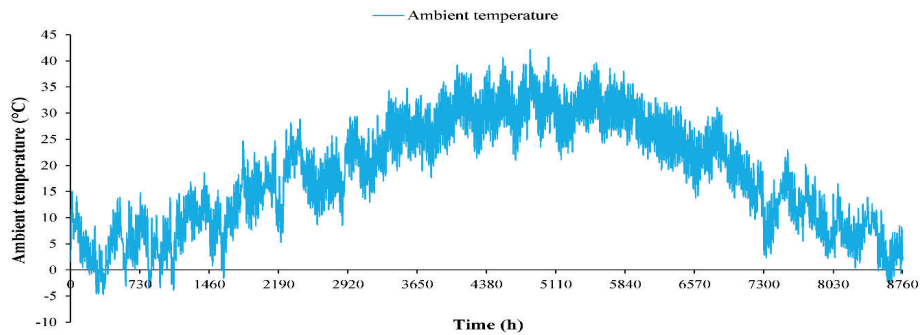
یافته‌های پژوهش

در این بخش نتایج حاصل از شبیه سازی و بهینه سازی گزارش می‌شود.

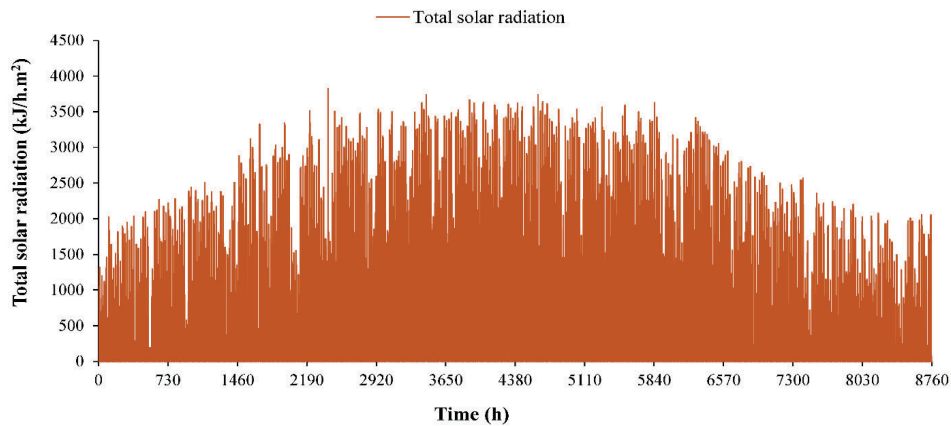
- ¶Simulation runs
- ¶Central composite design
- ¶Design of experiment (DOE)
- ¶Net electricity consumption
- ¶Total natural gas consumption
- ¶Total diesel fuel consumption
- ¶Payback period
- ¶Net electricity consumption

شرایط آب و هوایی و مطالعه موردی

همانطور که ذکر شد، شبیه سازی برای شرایط آب و هوایی تهران انجام شده است. شکل ۳ و شکل ۴ که بر گرفته از نرم افزار ترنسپس می باشد و میانگین ۴۰ سال گذشته آب و هوای شهر تهران می باشد، تغییرات دمای بیرون و تشعشع خورشیدی در طول سال را نشان می دهند. با توجه به اینکه شبیه سازی به صورت دقیق و ساعتی انجام شده است، در محور افقی، کل سال ۸۷۶۰ ساعت بوده و هر ماه با ۷۳۰ ساعت نشان داده شده است. شکل ۳ نشان می دهد که در طول سال دمای هوای بیرون بین ۵- تا حدود ۴۰ درجه سانتی گراد متغیر است. همچنین مطابق شکل ۴ سطح تشعشع خورشیدی در محل مورد نظر بین ۰ تا 3700 kJ/h.m^2 تغییر می کند.



شکل ۳- تغییرات دمای هوای بیرون در طول سال



شکل ۴- تغییرات تشعشع خورشیدی در طول سال

جدول ۸ که بر گرفته از داده‌های بانک مرکزی و اداره برق استان تهران می‌باشد داده‌های تعریف انرژی و داده‌های اقتصادی استفاده شده در محاسبات را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است با در نظر گرفتن نرخ دلار ۵۰۰۰۰۰ هزار ریال، همه محاسبات بر مبنای دلار صورت گرفته است تا نتایج به نوسانات ارز وابسته نباشد و بعدها نیز نتایج به راحتی قابل تبدیل و استناد باشد.

جدول ۸- مشخصات اقتصادی اعمال شده در آنالیز اقتصادی سیستم

مقدار	مشخصه اقتصادی
۴۱,۳٪	نرخ تورم
۱۸٪	نرخ تنزیل
\$ kWh ⁻¹ ۰,۰۰۳۲۴	تعرفه خرید برق از شبکه
\$ kWh ⁻¹ ۰,۰۴۴	تعرفه فروش برق به شبکه
\$ m ⁻³ ۰,۰۱۲	تعرفه مصرف گاز طبیعی
ریال ۵۰۰۰۰۰۰	نرخ تبدیل هر دلار به ریال
۱ مهر ۱۴۰۲	تاریخ استعلام اطلاعات

نتایج بهینه سازی

همان‌طور که قبلاً بحث شد، برای بدست آوردن بهترین ترکیب عامل‌های انتخاب شده، روش سطح پاسخ مورد استفاده قرار گرفت. جدول ۹ که بر گرفته از نرم افزار Design Expert می‌باشد مقادیر پیش‌بینی شده توسط روش سطح پاسخ برای عامل‌ها را به گونه‌ای که به سیستم بهینه، دست پیدا کنیم، نشان می‌دهد. همچنین، مقادیر هر پاسخ برای شرایط بهینه در جدول ۱۰ که برگرفته از نرم افزار Design Expert می‌باشد خلاصه شده است. مطلوبیت ترکیبی ۰.۷۲۵ برای جواب بهینه، که نزدیک به جواب ایده‌آل (یعنی مطلوبیت ترکیبی = ۱) است، بدست آمد.

جدول ۹- مقادیر بهینه بدست آمده برای عامل‌های انتخاب شده در بهینه‌سازی

واحد	مقدار بهینه	عامل
m ²	۱۱۷۱۶,۸۹۵	مساحت پنل‌های خورشیدی
kW	۱۹۸۶,۶۹۵	توان دیزل ژنراتور یا DEGS

ماخذ: یافته‌های تحقیق

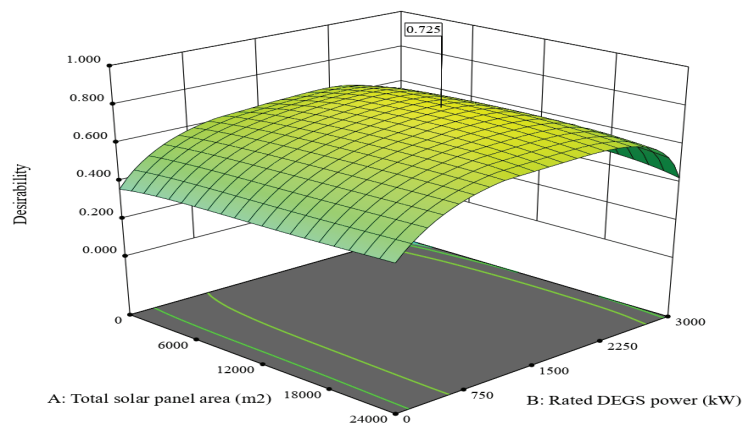
جدول ۱۰- مقادیر بدست آمده برای پاسخ‌ها در سیستم بهینه بدست آمده

واحد	نتایج بهینه	پاسخ‌ها	جنبه‌های انرژی-اقتصادی
kWh	-۱۰۷۹۱۱۷,۳	مصرف کل برق	انرژی
m ³	۳۷۵۳۷۱,۷	کل مصرف گاز	
L	۲۴۶۶۴۷۶,۴	کل مصرف سوخت دیزل	
سال	۱,۶۱۲	دوره بازگشت سرمایه (PBP)	اقتصادی

ماخذ: یافته‌های تحقیق

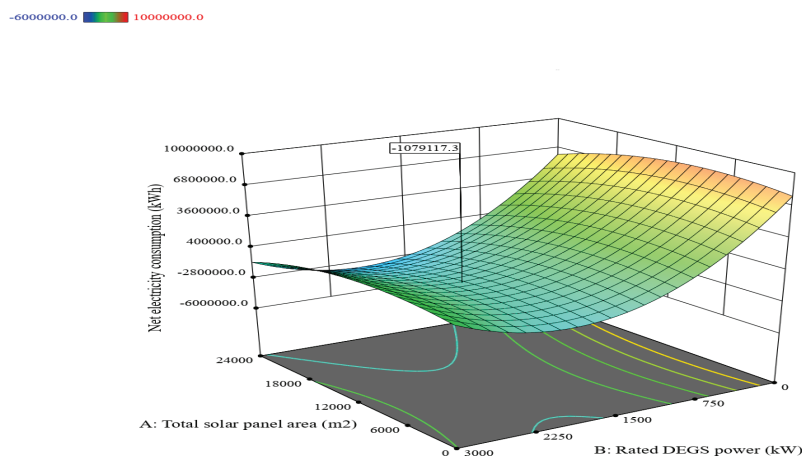
برای دستیابی به درک عمیق‌تری از نتایج، یک آنالیز حساسیت نیز انجام شد تا اثر تغییر هر یک از عامل‌های انتخابی روی پاسخ‌های بهینه‌سازی مشخص شود. شکل ۵ که بر گرفته و خروجی نرم افزار Design Expert می‌باشد اثر تغییر عامل‌های مساحت پنل‌های خورشیدی و توان دیزل ژنراتور روی تابع مطلوبیت را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار تابع مطلوبیت مقدار ۰,۷۲۵ است. این بدان معنی است که ترکیب متغیرهای انتخاب شده در بهینه‌سازی در بهترین حالت سیستم بهینه به مقدار تابع مطلوبیت ۰,۷۲۵ می‌رسد که عددی بسیار نزدیک نسبت به بیشترین مقدار ممکن (یعنی حالت ایده آل که تابع مطلوبیت آن برابر با مقدار ۱) است.

0.000 1.000



شکل ۵- اثر تغییر عامل‌های مساحت پنل‌های خورشیدی و توان دیزل ژنراتور روی تابع مطلوبیت

شکل ۶ که بر گرفته و خروجی نرم افزار Design Expert می باشد اثر تغییر عامل های مساحت پنل های خورشیدی و توان دیزل ژنراتور روی مصرف کل برق را نشان می دهد. همانطور که نشان داده شده است، با افزایش مقدار توان دیزل ژنراتور از ۰ تا ۳۰۰۰ کیلووات میزان مصرف کل برق از ۷۰۰۰۰۰۰ kWh در سال به مقدار حدود ۲۵۰۰۰۰۰ kWh- در سال می رسد. مقدار منفی در اینجا به این معنی است که کل مقدار دیماند مصرفی مجموعه تامین شده و از طرفی مقداری نیز برای فروش به شبکه باقی می ماند. همچنین نتایج نشان می دهد که افزایش مقدار مساحت پنل های خورشیدی در کاهش مصرف کل برق موثر است. اما شیب تغییرات آن به نسبت تغییری که توان دیزل ژنراتور ایجاد می کند کمتر است. این نشان می دهد توان انتخابی دیزل ژنراتور نسبت به مساحت پنل های خورشیدی پارامتری موثر تر در مصرف کل برق است. بهینه سازی به روش سطح پاسخ نشان داد که نقطه بهینه در مساحت پنل ۱۱۷۱۶٫۸۹ مترمربع و در توان دیزل ژنراتور ۱۹۸۶٫۶۹ کیلووات رخ می دهد که مصرف کل برق آن ۱۰۷۹۱۱۷٫۳- کیلووات ساعت در سال است.

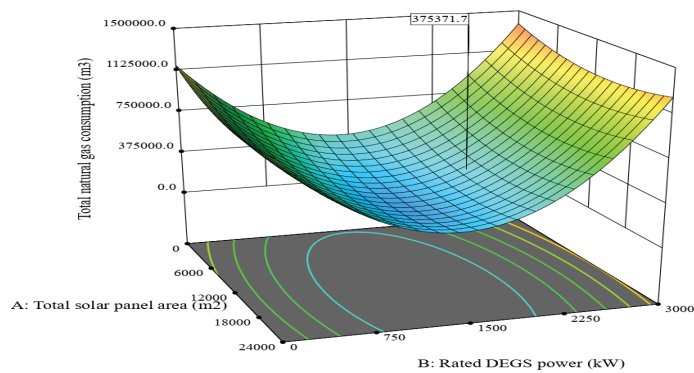


شکل ۶- اثر تغییر عامل های مساحت پنل های خورشیدی و توان دیزل ژنراتور روی مصرف کل برق

شکل ۷ که بر گرفته و خروجی نرم افزار Design Expert می باشد اثر تغییر عامل های مساحت پنل های خورشیدی و توان دیزل ژنراتور روی مصرف کل گاز سیستم و مجموعه نشان می دهد. همانطور که نشان داده شده است، افزایش توان دیزل ژنراتور از ۰ تا حدود ۱۶۰۰ کیلووات باعث کاهش چشمگیری در میزان مصرف گاز به مقدار ۱٪، ۷۷٪ از ۱۳۰۹۹۸۵ مترمکعب در سال تا حدود ۳۰۰۰۰۰ مترمکعب می شود. این کاهش به دلیل استفاده از گرمای هدر رفته در دیزل ژنراتور در افزایش دمای

آب مخزن ذخیره آب گرم شده و در نتیجه بویلر ساعت کمتری مجبور به کار کردن می‌شود. نکته قابل توجه این است که با افزایش مقدار توان دیزل ژنراتور از ۱۶۰۰ تا ۳۰۰۰ نتیجه عکس می‌شود و مجدداً مصرف گاز افزایش می‌یابد. این نکته از اهمیت بهینه‌سازی مقدار توان انتخابی دیزل ژنراتور و هم‌خوانی آن با مقدار پنل خورشیدی نصب شده خبر می‌دهد. بهینه‌سازی به روش سطح پاسخ نشان داد که نقطه بهینه در مساحت پنل ۱۱۷۱۶٫۸۹ مترمربع و در توان دیزل ژنراتور ۱۹۸۶٫۶۹ کیلووات رخ می‌دهد که کل مصرف گاز آن ۳۷۵۳۷۱٫۷ مترمکعب در سال است.

0.0 1500000.0

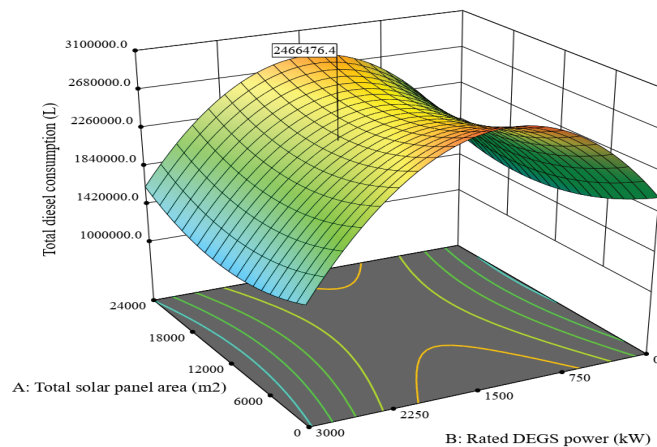


شکل ۷- اثر تغییر عامل‌های مساحت پنل‌های خورشیدی و توان دیزل ژنراتور روی کل مصرف گاز

شکل ۸ که بر گرفته و خروجی نرم افزار Design Expert می‌باشد اثر تغییر عامل‌های مساحت پنل‌های خورشیدی و توان دیزل ژنراتور روی کل مصرف سوخت دیزل را نشان می‌دهد. همانطور که نشان داده شده است، نتایج این نمودار دقیقاً روندی بلاعکس شکل ۷ که برای مصرف گاز بود، را دارد. این نشان می‌دهد که کاهش همزمان مصرف گاز و مصرف سوخت دیزل در دیزل ژنراتور ممکن نیست چون روندی برعکس یکدیگر دارند. در واقع بهترین نقطه که هر دو پاسخ مصرف گاز و مصرف سوخت دیزل در مکثادیر کمینه و معقولی قرار گیرند توسط الگوریتم بهینه‌سازی انتخاب شده است. اما نتایج این نمودار نشان می‌دهد که به دلیل عکس بودن روند تغییرات میزان مصرف گاز و دیزل، باید بین استفاده بیشتر از هر سوخت تصمیم‌گیری شود. یعنی بسته به کمبود گاز طبیعی در کشور و افت فشار در شبکه می‌توان روی افزایش توان دیزل ژنراتور تا ۱۶۰۰ کیلووات حساب باز کرد. که به موجب آن کمترین مصرف گاز رخ می‌دهد اما بیشتر مصرف سوخت دیزل را داریم. بهینه‌سازی به روش

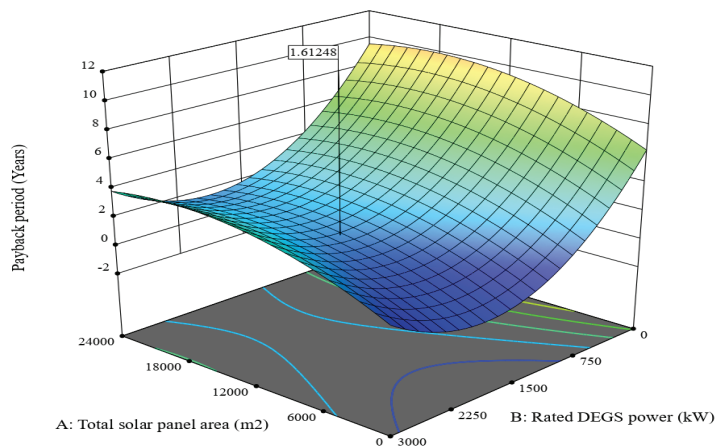
سطح پاسخ نشان داد که نقطه بهینه در مساحت پنل ۱۱۷۱۶٫۸۹ مترمربع و در توان دیزل ژنراتور ۱۹۸۶٫۶۹ کیلووات رخ می‌دهد که کل مصرف سوخت دیزل آن ۲۴۶۶۴۷۶٫۴ لیتر در سال است.

1000000.0 3100000.0



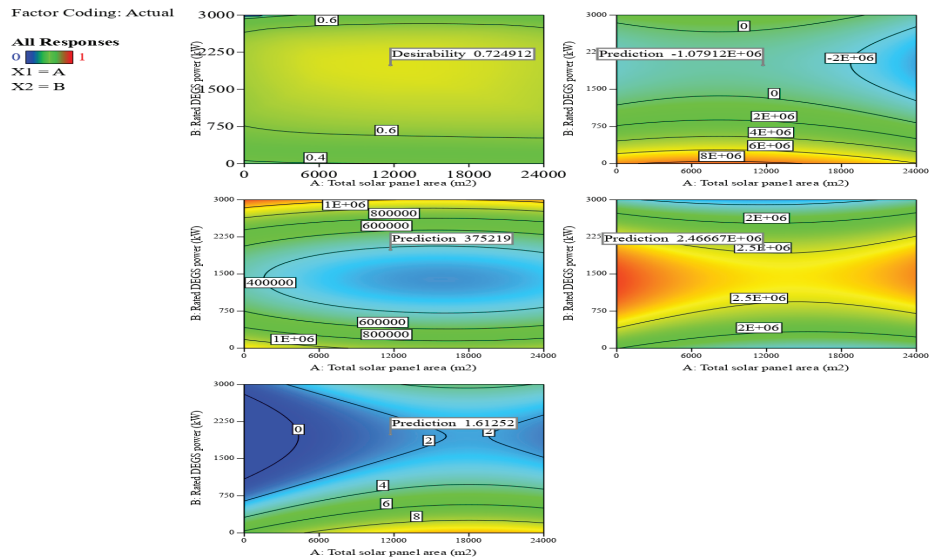
شکل ۸- اثر تغییر عامل‌های مساحت پنل‌های خورشیدی و توان دیزل ژنراتور روی کل مصرف سوخت دیزل

شکل ۹ که بر گرفته و خروجی نرم افزار Design Expert می‌باشد اثر تغییر عامل‌های مساحت پنل‌های خورشیدی و توان دیزل ژنراتور روی دوره بازگشت سرمایه را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که افزایش مساحت پنل‌های خورشیدی با یک شیب کم باعث افزایش دوره بازگشت سرمایه می‌شود. از سوی دیگر، افزایش توان دیزل ژنراتور تا حدود ۲۰۰۰ کیلووات به کاهش شدید دوره بازگشت سرمایه کمک می‌کند. اما افزایش بیشتر توان دیزل ژنراتور از ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلووات باعث افزایش دوره بازگشت سرمایه می‌شود. بهینه‌سازی به روش سطح پاسخ نشان داد که نقطه بهینه در مساحت پنل ۱۱۷۱۶٫۸۹ مترمربع و در توان دیزل ژنراتور ۱۹۸۶٫۶۹ کیلووات رخ می‌دهد که بازگشت سرمایه آن ۱٫۶۱۲ سال است، لازم به توضیح می‌باشد بازگشت سرمایه بر اساس داده‌های جدول ۸ و دریافت اطلاعات از گزارش بانک مرکزی در تاریخ ۱ مهر ۱۴۰۲ با نرخ بهره ۱۸ درصد و تورم ۴۱٫۲ درصد در نظر گرفته شده است، در ضمن نحوه محاسبه نیز بر اساس فرمول در نرم افزار اکسل انجام شده که خلاصه آن هزینه اولیه تقسیم بر جریان نقدی سالیانه محاسبه شده است.

0  12

شکل ۹- اثر تغییر عامل های مساحت پنل های خورشیدی و توان دیزل ژنراتور روی دوره بازگشت سرمایه

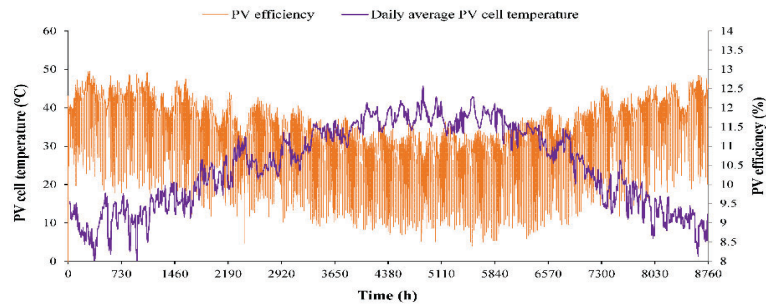
شکل ۱۰ که بر گرفته و خروجی نرم افزار Design Expert می باشد کانتورهای اثرات تغییر عامل های مساحت پنل های خورشیدی و توان دیزل ژنراتور روی پاسخ های انرژی-اقتصادی انتخاب شده را نشان می دهد. نتایج این شکل در واقع تجمع شده نتایج شکل ۵ تا ۹، در یک نمودار به صورت یکجا و دو بعدی است.



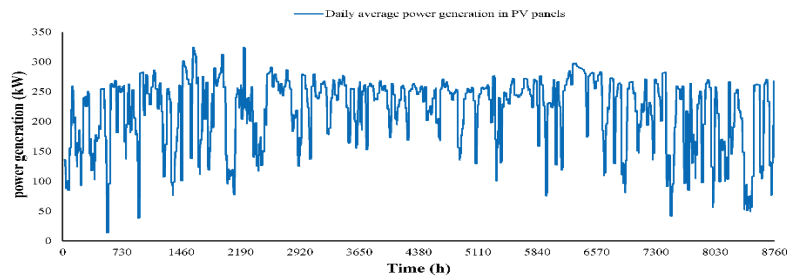
شکل ۱۰- کانتورهای اثرات تغییر عامل های مساحت پنل های خورشیدی و توان دیزل ژنراتور روی پاسخ های انرژی-اقتصادی انتخاب شده

نتایج دینامیکی

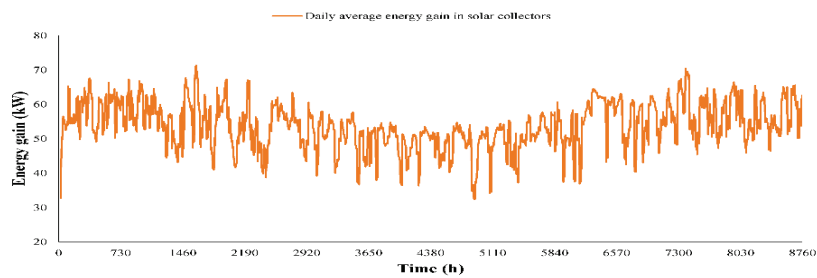
در این بخش نتایج دینامیکی مختلف به صورت ساعتی در طول سال گزارش شده است. در کپشن نمودار توضیح داده شده است هر شکل چه چیزی را نشان می دهد، همانطور که در شکل ۱۱ مشاهده می شود تغییرات دما و بازدهی پنل نشان می دهد که در محل پروژه بیشترین بازدهی مربوط به ساعت ۴۳۸۰ می باشد همچنین در شکل ۱۲ تغییرات متوسط روزانه برق تولیدی در پنل های خورشیدی در طول سال را نشان می دهد در برخی از زمان ها تا ۳۵۰ کیلو وات در روز برق تولید می شود، شکل های ۱۱ الی ۱۶ برگرفته و خروجی نرم افزار ترنسیس می باشد.



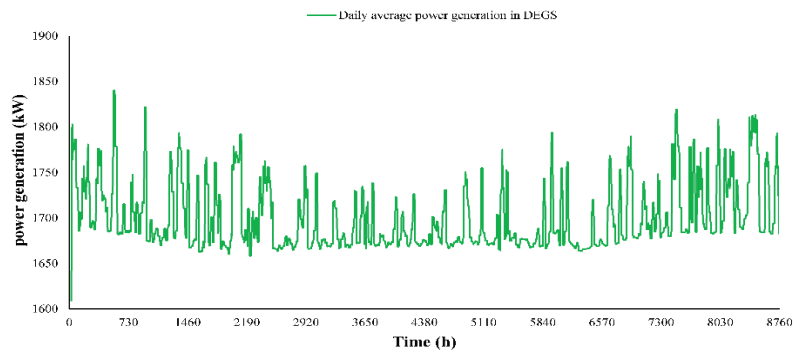
شکل ۱۱- تغییرات دما و بازدهی پنل های خورشیدی در طول سال



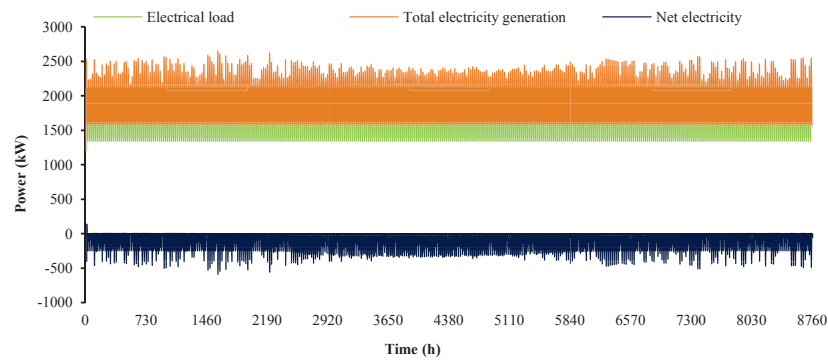
شکل ۱۲- تغییرات متوسط روزانه برق تولیدی در پنل ها در طول سال



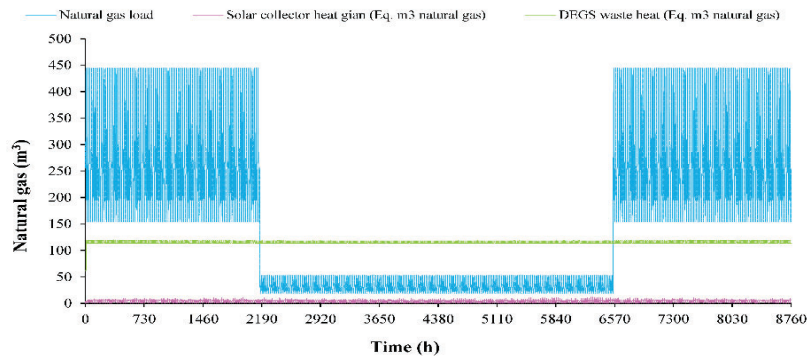
شکل ۱۳- انرژی جذب شده متوسط روزانه در کلکتورهای خورشیدی (مساحت ۱۰۰ متر مربع کلکتور به منظور پیش گرمایش آب در نظر گرفته شده است)



شکل ۱۴- تغییرات متوسط روزانه برق تولیدی در دیزل ژنراتور در طول سال



شکل ۱۵- تغییرات ساعتی تقاضای برق، کل برق تولید شده (مجموع برق پیلهای خورشیدی و برق تولید شده توسط دیزل ژنراتور) و مصرف کل برق (تفاضل تقاضای برق و کل برق تولیدی) در طول سال



شکل ۱۶- تغییرات ساعتی تقاضای مصرف گاز سیستم و مجموعه، معادل مترمکعب گاز حاصل از انرژی جذب شده از طریق کلکتورهای خورشیدی و معادل مترمکعب گاز حاصل از انرژی اگزاست دیزل ژنراتور

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

در این پژوهش مدل ترکیبی سیستم تولید انرژی از روش شبیه سازی گذری، روش طراحی آزمایش به کمک روش سطح پاسخ طراحی و بهینه گردید، دو عامل مستقل، از جمله مساحت پنل‌های خورشیدی نصب شده و توان دیزل ژنراتور استفاده شده به عنوان اصلی‌ترین متغیرهای طراحی سیستم پیشنهادی انتخاب شد و در ادامه ۴ پاسخ یا تابع هدف بهینه سازی انتخاب شد پاسخ‌های در نظر گرفته شده از دیدگاه انرژی عبارتند از مصرف کل برق، کل مصرف گاز، کل مصرف سوخت دیزل و همچنین، بازگشت سرمایه به عنوان پاسخ اقتصادی برای بهینه سازی، نتایج نشان داد که: ۱- اثر تغییر عامل‌های مساحت پنل‌های خورشیدی و توان دیزل ژنراتور روی مصرف کل برق با افزایش مقدار توان دیزل ژنراتور از ۰ تا ۳۰۰۰ کیلووات میزان مصرف کل برق از ۷۰۰۰۰۰ kWh در سال به مقدار حدود ۲۵۰۰۰۰ kWh در سال می‌رسد. مقدار منفی در اینجا به این معنی است که کل مقدار دیمانند مصرفی مجموعه تامین شده و از طرفی مقداری نیز برای فروش به شبکه باقی می‌ماند ۲- اثر تغییر عامل‌های مساحت پنل‌های خورشیدی و توان دیزل ژنراتور روی کل مصرف گاز سیستم و مجموعه نشان می‌دهد، افزایش توان دیزل ژنراتور از ۰ تا حدود ۱۶۰۰ کیلووات باعث کاهش چشمگیری در میزان مصرف گاز به مقدار ۱٪، ۷۷٪ از ۱۳۰۹۹۸۵ مترمکعب در سال تا حدود ۳۰۰۰۰۰ مترمکعب می‌شود. این کاهش به دلیل استفاده از گرمای هدر رفته در دیزل ژنراتور در افزایش دمای آب مخزن ذخیره آب گرم شده و در نتیجه بویلر ساعت کمتری مجبور به کار کردن می‌شود، ۳- اثر تغییر عامل‌های مساحت پنل‌های خورشیدی و توان دیزل ژنراتور روی کل مصرف سوخت دیزل را نشان می‌دهد. همانطور که نشان داده شده است، نتایج این نمودار دقیقاً روندی بلاعکس بند ۲ که برای مصرف گاز بود، را دارد. این نشان می‌دهد که کاهش همزمان

مصرف گاز و مصرف سوخت دیزل در دیزل ژنراتور ممکن نیست چون روندی برعکس یکدیگر دارند بهینه سازی به روش سطح پاسخ نشان داد که نقطه بهینه در مساحت پنل ۱۱۷۱۶٫۸۹ مترمربع و در توان دیزل ژنراتور ۱۹۸۶٫۶۹ کیلووات رخ می‌دهد که کل مصرف سوخت دیزل آن ۲۴۶۶۴۷۶٫۴ لیتر در سال است، ۴- اثر تغییر عامل های مساحت پنل های خورشیدی و توان دیزل ژنراتور روی دوره بازگشت سرمایه را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که افزایش مساحت پنلهای خورشیدی با یک شیب کم باعث افزایش دوره بازگشت سرمایه می‌شود. از سوی دیگر، افزایش توان دیزل ژنراتور تا حدود ۲۰۰۰ کیلووات به کاهش شدید دوره بازگشت سرمایه کمک می‌کند. اما افزایش بیشتر توان دیزل ژنراتور از ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلووات باعث افزایش دوره بازگشت سرمایه می‌شود. بهینه سازی به روش سطح پاسخ نشان داد که نقطه بهینه در مساحت پنل ۱۱۷۱۶٫۸۹ مترمربع و در توان دیزل ژنراتور ۱۹۸۶٫۶۹ کیلووات رخ می‌دهد که بازگشت سرمایه آن ۱٫۶۱۲ سال است.

منابع و مأخذ

- Chang Sun a , Xiaolei Ju b ,Wengang Hao c ,Yongfei Lu b,2023, “Research on multi-objective optimization of control strategies and equipment parameters for a combined heating system of geothermal and solar energy in cold and arid regions based on TRNSYS” Vol.13, No.4, PP.847-869
- Yuansheng Liang a , Zhenli Xu a , Haifeng Li,2023, “A random optimization strategy of microgrid dispatching based on stochastic response surface method considering uncertainty of renewable energy supplies and load demands” Vol.21, No.9, PP.7199–7215
- Magdi Rashad a , Alina _ Zabnienska-G ora,2022, “Analysis of energy demand in a residential building using TRNSYS” Vol.21, No.9, PP.832–9852
- Fatemeh Negar Irani a , Mohammadhosein Bakhtiaridoust,2023, “A data-driven approach for fault diagnosis in multi-zone HVAC systems: Deep neural bilinear Koopman parity” Vol.21, No.9, PP.522–652
- Milani Shirvan,kamel., Mamorian, mojtaba (2014) A review of the articles on flat plate solar collectors. National Energy Management Conference. Martyr Muftah Hamedan[in persian]
- Tizrou, Ali, Fathi, Mohammad Reza, Fattah Pasand, Amir, & Razi Mohib Siraj, Samia. (1402). Applying fuzzy axiom-oriented design technique to evaluate maintenance and repair strategies based on sustainability indicators. Amad Andisheh Science, 22(84), 175-204. doi: 10.22034/lot.2022.1266945.1178[in persian]
- Yang, Y., Bremner, S., Menictas, C., & Kay, M. (2022). Modelling and optimal energy management for battery energy storage systems in renewable energy systems: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 167, 112671.

- Kasra Mohammadi., Hossein Khorasanizadeh. (2019) The potential and deployment viability of concentrated solar power (CSP) in Iran. *Energy Strategy Reviews*,70:409-417
- S. K. Chaharsooghi., M. Rezaei., M. Alipour.(2015) Iran's energy scenarios on a 20-year vision. *Int. J. Environ. Sci. Technology*, DOI ۱۳۷۶۲-۰۱۵-۸۲۹۷
- Corey Blackman., Chris Balesa., Eva Thorinb.(2015) Techno-economic evaluation of solar-assisted heating and cooling systems with sorption module integrated solar collectors. *Energy Procedia*,70:409-417
- Dimitris katsaprakakis.(2019) Introducing a solar-combi system for hot water production and swimming pools heating in the Pancretan Stadium, Crete, Greece. *Energy Procedi*, ۱۵۹:۱۷۴-۱۷۹
- Shahjadi Hisan Farjana.,Nazmul Huda.,M.A.Parvez Mahmud., R. Saidurb.(2018) Solar process heat in industrial systems – A global review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,48:۲۲۷۰-۲۲۸۶
- Christian Zahler., Oliver Iglauer.(2012) Solar process heat for sustainable automobile manufacturing. *Energy Procedia*,30:775-782
- M. Cotrado., A. Dalibard., R. Söll., D. Pietruschka.(2014) Design, control and first monitoring data of a large scale solar plant at the meat factory Berger, Austria. *Energy Procedia*,۱۱۵۱ – ۱۱۴۴
- Saman Nadizadeh Shorabeh.,Mohammad Karimi Firozjaei.,Omid Nematollahi.,Hamzeh Karimi Firozjaei., Mohammadreza Jelokhani Niaraki.(2019) A risk-based multi-criteria spatial decision analysis for solar power plant site selection in different climates: A case study in Iran. *Renewable Energy*, S۰۹۶۰-۱۴۸۱(۱۹)۳۰۷۲۳-۲
- V.Pranesh.,R.Velraj.,S.Christopher.,V.Kumaresan.(2019) A ۵۰ year review of basic and applied research in compound parabolic concentratin gsolarthermal collector for domestic and industrial applications. *SolarEnergy*, ۱۸۷:۲۹۳-۳۴۰
- E. Saedpanah and H. Pasharshahri, "Performance assessment of hybrid desiccant air conditioning systems: a dynamic approach towards achieving optimum 3E solution across the lifespan," *Energy*, vol. 234, p. 121151, 2021.
- S. Klein, B. Newton, J. Thornton, D. Bradley, J. Mitchell, and M. Kummert, "TRNSYS reference manual: mathematical reference," 2006.
- E. Saedpanah, M. Lahonian, and M. Z. M. Abad, "Optimization of multi-source renewable energy air conditioning systems using a combination of transient simulation, response surface method, and 3E lifespan analysis," *Energy*, vol. 272, p. 127200, 2023
- D. C. Montgomery, *Design and analysis of experiments*. John wiley & sons, 2017.
- G. Derringer and R. Suich, "Simultaneous optimization of several response variables," *Journal of quality technology*, vol. 12, no. 4, pp. 214-21۹, ۱۹۸۰.

-R. H. Myers, D. C. Montgomery, and C. M. Anderson-Cook, Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. John Wiley & Sons. ۲۰۱۶ ,

E. Varghese and M. Hemavathi, "Design Expert Software for RSM and ME: Overview, Design Generation and Analysis," 2023

Providing a suitable model of energy management with multi-response optimization method and transient simulation in combined energy production cycles

Abbas Motallebi,^۱ Ahmad Shayannia,^۲ Mehdi Amir Mianderage^۳ and Ebrahim Niknaghsh^۴

Abstract

In recent years, the lack of electricity in the country has led to power cuts in industries and as a result production lines have stopped. Meanwhile, according to Article 16 of the Knowledge-Based Production Jump Law, all industries that consume more than 2 megawatts of electricity within 5 years must use the percentage of their electricity consumption from renewable energies, based on this, in this research, the combined model of the energy production system in a car body manufacturing company was modeled by the transient simulation method using Transys software, and then using the method The design of the experiment is optimized using the response surface method or RSM model and finally it will be examined from the life cycle cost method, the results show that increasing the area of solar panels with a low slope increases the investment return period. On the other hand, increasing the power of DEGS to about 2000 kilowatts helps to drastically reduce the investment return period. But increasing the power of the diesel generator from 2000 to 3000 kilowatts increases the period of return on investment. Optimization by RSM method showed that the optimal point occurs in the panel area of 11716.89 square meters and in the DEGS power of 1986.69 kilowatts, which has a return on investment of 1.612 years, therefore, as seen in the results, the highest value of the utility function or CD value is 0.725. This means that the combination of the variables selected in the optimization in the best case (Optimum system) reaches the value of the utility function of 0.725, which is a number very close to the maximum possible value (that is, the ideal state whose utility function is equal to the value of 1).

Keywords: Simulation, renewable energies, optimization, transient systems, multi-response optimization.

^۱ PhD Candidate, Department of Industrial Management, Firoozkoh Branch, Islamic Azad University, Firoozkoh, Iran.

^۲Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Industrial Management, Firoozkoh Branch, Islamic Azad University, Firoozkoh, Iran. Email Address: sheibat@yahoo.com

^۳Assistant Professor, Department of Mathematic, Firoozkoh Branch, Islamic Azad University, Firoozkoh, Iran.

^۴Assistant Professor, Department of Industrial Management, Firoozkoh Branch, Islamic Azad University, Firoozkoh, Iran.