

ارائه روش ترکیبی رویکا برای بهینه‌سازی مسایل چندپاسخه: مطالعه موردی نیروگاه‌های برق کشور ایران

الهام شادکام^{۱*}، مهرناز غیور مداح^۲

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۲۳	
پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۰۵	
واژگان کلیدی: تحلیل پوششی داده‌ها، روش رویه پاسخ، کارایی، بهینه‌سازی، نیروگاه برق.	<p>بهینه‌سازی مسائل چندپاسخه همیشه یکی از حوزه‌های چالش برانگیز بهینه‌سازی می باشند. در این مقاله روش ترکیبی رویکا جهت بهینه‌سازی مسایل چندپاسخه ارائه شده است که ترکیبی از دو روش رویه پاسخ و تحلیل پوششی داده‌ها می باشد. در روش رویکا رویه کارایی ایجاد و بهینه سازی می گردد و در واقع یک رویه کارایی جایگزین چندین رویه پاسخ می گردد و مسأله از حالت چندپاسخه به تک پاسخ تبدیل می گردد. بنابراین در روش پیشنهادی رویکا علاوه بر بهینه‌سازی رویه پاسخ‌ها به بیشینه‌سازی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری نیز پرداخته می شود. نتیجه این روش تعیین پارامترهای ورودی و خروجی واحد تصمیم‌گیری ایده‌آل و جدیدی است که دارای حداکثر مقدار کارایی نیز می باشد. به دلیل اهمیت بالای صنعت برق و تولید انرژی، نیروگاه‌ها که بخش بسیار مهم تولید برق را به عهده دارند، ناگزیرند مقادیر کارایی فعالیت‌های خود را به منظور استفاده بهتر از منابع افزایش دهند. بدین منظور روش پیشنهادی رویکا برای چهارده نیروگاه در سطح کشور مورد بررسی قرار گرفته است که علاوه بر تعیین کارایی هر نیروگاه به تعیین پارامترهای بهینه جهت احداث نیروگاه جدید با حداکثر کارایی نیز می پردازد. در نهایت به منظور اعتبارسنجی روش پیشنهادی، از سه رویکرد مشابه دیگر برای مسأله مذکور استفاده شده است و نتایج نشان دهنده برتری روش رویکا می باشد.</p>

۱- مقدمه

خاص، تمیز داده می شوند [۲]. مدل‌های ریاضی چندپاسخه زیر مجموعه مسائل بهینه‌سازی چندهدفه می باشند و مسائل چندهدفه به منظور طراحی در یک مجموعه پیوسته از جواب‌ها به کار می روند و در نهایت یک مدل ریاضی را ایجاد می کنند [۳]. به طور کلی مرحله اول در فرآیند بهینه‌سازی، برآورد رابطه‌ی بین متغیرهای ورودی و خروجی سیستم می باشد که روش‌های طراحی آزمایشات برای اثبات وجود رابطه‌ی علی و معلولی بین یک یا چند عامل کنترل و یک متغیر پاسخ در این مرحله استفاده می شود [۴]. یکی از روش‌های معروف در حوزه بهینه‌سازی، روش رویه پاسخ

اکثر مسائل دنیای واقعی دارای چندین هدف ناسازگار می باشند و معمولاً دستیابی به مقدار بهینه یک هدف باعث دور شدن از اهداف دیگر می شود. بسیاری از این مسائل با تبدیل تمامی اهداف مسأله به یک تابع هدف یکسان با قیود مشخص حل می شوند [۱]. مسائل بهینه‌سازی اهمیت زیادی در اکثر شاخه‌های علوم دارند و هدف آنها یافتن بهترین پاسخ ممکن برای حل یک مسأله است. مسائل بهینه‌سازی ترکیبی چندپاسخه نمونه‌ای خاص از مسائل بهینه‌سازی می باشند که به واسطه مجموعه‌های محدودیت ساختاریافته

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: e.shadkam@khayyam.ac.ir

۱. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه خيام، مشهد، ایران

۲. کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه خيام، مشهد، ایران

کارایی یک سیستم یا واحد تصمیم‌گیری از طریق تعیین فرآیند چگونگی تبدیل ورودی‌ها به خروجی‌هاست [۱۱]. صنعت برق به عنوان صنعت زیربنایی در فرآیند توسعه اقتصادی کشور و ایجاد زیرساخت‌های توسعه، نقشی ارزنده و اساسی دارد و بسترهای لازم را برای پویایی و رشد کشور در زمینه‌های گوناگون اقتصادی، صنعتی، فرهنگی و اجتماعی فراهم می‌کند. از این رو، اندازه‌گیری کارایی نیروگاه‌های برق از اهمیت شایانی برخوردار است [۱۲]. صنعت برق یکی از صنایع بزرگ در تولید انرژی می‌باشد. صنعت برق را می‌توان به سه بخش تولید، انتقال و توزیع تقسیم‌بندی کرد. در این میان، بخش تولید برق که در نیروگاه‌ها انجام می‌شود از اهمیت بالایی برخوردار است. وظیفه اصلی نیروگاه‌ها، تبدیل انرژی از دیگر شکل‌های آن به انرژی الکتریکی می‌باشد. افزایش کارایی و بهره‌وری در تمام صنایع کشور راهی مطمئن جهت رسیدن به رشد اقتصادی هر چه بیشتر با همان منابع و امکانات موجود است. در این میان صنعت برق به دلیل نقش زیربنایی و ارتباط بسیار زیاد با سایر عوامل مؤثر بر رشد اقتصادی، صنعت بسیار مهمی است، بنابراین افزایش کارایی و بهره‌وری در این صنعت از اهمیت بالایی برخوردار است [۱۳]. در واقع کارایی، انجام بهتر هر آنچه تاکنون صورت گرفته است، می‌باشد؛ یعنی تمرکز بر هزینه‌ها دارد و به دنبال راهکارهایی برای کاهش هزینه‌ها می‌باشد [۱۴]. استانداردهای ساخت نیروگاه‌ها دارای مزایای زیادی نظیر سهولت طراحی و ساخت نیروگاه‌های جدید، کاهش هزینه تمام شده و بهبود زمان مورد نیاز ساخت نیروگاه‌های جدید می‌باشد [۱۵]. برای ارزیابی کارایی به متغیرهایی نیاز است که بتواند نتیجه درستی از عملکرد واحدهای تصمیم‌گیری را ارائه دهد. انتخاب متغیرهای ورودی و خروجی یکی از مهم‌ترین گام‌ها در ارزیابی کارایی نیروگاه‌ها و شرکت‌های برق منطقه‌ای به روش تحلیل پوششی داده‌ها است. چنانچه انتخاب متغیرهای مورد نیاز صحیح نباشد، نتایج ارزیابی بی اعتبار است [۱۶].

در جدول ۱ به مرور مقالات پیشین مربوط به روش‌های ترکیبی از رویه سطح پاسخ پرداخته شده است. همچنین در جدول ۲ و ۳ به مرور مقالات پیشین و نحوه انتخاب داده‌های اولیه در حوزه نیروگاه‌های برق پرداخته شده است. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد، روش‌های مختلفی با

می‌باشد که در ابتدا توسط باکس و ویلسون (RSM)^۱ معرفی شده است [۵]. این روش، مجموعه‌ای از روش‌های ریاضی برای تحلیل و مدل‌سازی مسائل مختلف است که در آن یک پاسخ مورد نظر تحت تأثیر چندین متغیر مستقل می‌باشد [۶].

در روش رویه پاسخ، هدف اصلی تعیین مقادیری از متغیرهای ورودی یک سیستم است که به ازای آنها متغیر خروجی سیستم بهینه می‌گردد. به بیان بهتر، روش رویه پاسخ شامل مجموعه‌ای از روش‌های آماری و ریاضی است که به منظور مدل‌سازی و حل مسأله بهینه‌سازی به کارگرفته می‌شود. با استفاده از روش رویه پاسخ براساس داده‌های تجربی، معادله‌ای جهت تعیین رابطه بین یک خروجی و ورودی‌ها ایجاد می‌گردد. همچنین از یک نمودار هم‌پوشانی برای تعیین رویه و مشخص کردن ورودی‌های بهینه استفاده می‌شود. در حالت چندین پاسخ، رویه برای هر خروجی ایجاد می‌گردد و پارامتر بهینه با ترسیم نمودارهای هم‌پوشانی تعیین می‌شود. در این حالت، شناسایی پارامتر بهینه بسیار دشوار است [۷]. این روش طی دو فاز به جستجوی جواب بهینه می‌پردازد و با بهره‌گیری از فرامدل‌های رگرسیونی در فاز اول به دنبال تعیین ناحیه بهینه و در فاز دوم به دنبال تعیین جواب بهینه می‌باشد [۸]. یکی دیگر از روش‌های معروف این حوزه، روش تابع مطلوبیت است و جهت بهینه‌سازی پاسخ‌های دوگانه استفاده می‌شود. آلن و یو روش رویه پاسخ را با رویکرد کم‌هزینه جدید توسعه دادند که این روش شامل بهینه‌سازی گرافیکی و تابع مطلوبیت می‌باشد [۹]. بهینه‌سازی مسائل چند پاسخ پیچیده است و شناسایی ورودی‌های بهینه برای یک مدل چند پاسخ زمانی دشوار است که باید چندین خروجی همزمان بهینه گردند. یک روش بهینه‌سازی جدید توسط تسایی و همکاران با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)^۲ برای بهینه‌سازی مسأله پاسخ‌های چندگانه ارائه شده است. در روش آنها در ابتدا مقادیر کارایی محاسبه می‌گردد و سپس، از روش رویه پاسخ برای ساخت پارامتر بهینه براساس بازده نسبی استفاده شده است. در نهایت، مسأله چند پاسخ را می‌توان به سادگی در یک رویه منفرد از طریق ترکیب تحلیل پوششی داده‌ها و روش رویه پاسخ بهینه‌سازی کرد [۱۰]. هدف تحلیل پوششی داده‌ها تعیین

^۲ Data envelopment analysis

^۱ Response surface method

استفاده قرار گرفته است، می‌پردازد. همانگونه که مشاهده می‌گردد از ترکیب این دو روش تاکنون در این حوزه استفاده نشده است و نوآوری دیگر این پژوهش می‌باشد. جدول ۳ مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌های مختلفی می‌باشد که در حوزه ارزیابی عملکرد و محاسبه کارایی نیروگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به جدول ۳ پرتکرارترین و مهم‌ترین ورودی‌ها و خروجی‌ها تعیین شده و در این پژوهش نیز در بخش مطالعه موردی مورد بررسی قرار خواهند گرفت. با توجه به مقالات مذکور می‌توان نتیجه گرفت که جهت بررسی حالت چندهدفه مسأله از دو رویکرد کلی می‌توان استفاده نمود. در رویکرد اول از الگوریتم‌های فراابتکاری مخصوص مسائل چندهدفه استفاده کرد که در همه مسائل قابل کاربرد نیستند و تنها برای مسائلی با مقیاس بزرگ توجیه‌پذیر می‌باشند. در رویکرد دوم از ابزارهای مکمل مانند تحلیل سلسله مراتبی، تاپسیس و غیره استفاده شده است و در واقع با کمک این ابزارها توابع هدف مختلف وزن‌دهی می‌شوند و در هم ادغام می‌گردند. بنابراین می‌توان گفت رویکرد مورد استفاده در این پژوهش در دسته دوم قرار دارد و مزیت مهمی که نسبت به دیگر روش‌های این دسته دارد، در نظر گرفتن کارایی به صورت همزمان با بهینه‌سازی پارامترها می‌باشد. در این مقاله به معرفی و بررسی روش تلفیقی رویکا که ترکیب دو الگوریتم تحلیل پوششی داده‌ها و روش رویه پاسخ می‌باشد، پرداخته شده است. با توجه به مزایای انفرادی که هر یک از این دو روش بصورت مجزا دارند، با ترکیب آنها می‌توان از تمام مزایا بصورت همزمان بهره برد. هر یک از این روش‌ها کاربردی متفاوت و منحصر به خود دارند، به عنوان مثال DEA برای محاسبه صرفا کارایی می‌باشد و RSM برای ایجاد تابعی بین ورودی‌ها و خروجی‌های یک مسأله. در این پژوهش از ترکیب آنها به منظور کاربردی متفاوت که بهینه‌سازی همزمان چندین رویه پاسخ می‌باشد استفاده شده است و علاوه بر آن همزمان به بهینه‌سازی کارایی نیز می‌پردازد. در ابتدا تعدادی واحد تصمیم‌گیرنده^۷ DMU انتخاب شده و مقادیر ورودی‌ها و خروجی‌های آنها تعیین می‌شوند. سپس مقادیر کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها محاسبه می‌شود.

ترکیب با رویه پاسخ ایجاد شده‌اند و هر یک دارای کاربرد خاص خود می‌باشند که در ادامه به بررسی تعدادی از مقالات مشابه با پژوهش حاضر پرداخته می‌شود. چائو و همکاران^۱ در سال ۲۰۱۹ به طراحی اتصال دوار سازگار با استفاده از روش رویه پاسخ پرداخته‌اند و با توجه به چندهدفه بودن مسأله از الگوریتم توده ذرات چندهدفه برای بهینه‌سازی مسأله و تعیین پارامترهای بهینه آن استفاده کرده‌اند [۱۷]. ردی و همکاران^۲ در سال ۲۰۲۰ به مدل‌سازی ریاضی چندهدفه فرآیند هیدروفرمینگ لوله با استفاده از روش رویه پاسخ پرداخته‌اند و سپس برای پیش‌بینی این فرآیند از شبکه‌های عصبی مصنوعی کمک گرفته‌اند [۱۸]. یوسف زاده و همکاران^۳ در سال ۲۰۲۰ به بررسی تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای روش‌های هیدرومتالورژی پرداخته‌اند و بدین منظور در ابتدا از روش رویه پاسخ جهت ایجاد توابع مربوط به فرآیند استفاده کرده‌اند و با توجه به وجود چندین رویه پاسخ از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس به منظور وزن‌دهی و ادغام اهداف در هم استفاده کرده‌اند [۱۹]. لی و همکاران^۴ در سال ۲۰۱۹ به منظور مدل‌سازی فرآیند فرآیند قالب‌گیری تزریق کامپوزیت تقویت شده با الیاف به طراحی آزمایشات و ایجاد توابع مختلف با رویه پاسخ پرداخته‌اند و در نهایت با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه این مسأله را حل و بهینه‌سازی کرده‌اند [۲۰]. کاکوتاکا و همکاران^۵ در سال ۲۰۲۱ به بررسی مسأله زمانبندی چند هدفه برای برنامه‌های گردش کار با استفاده از روش رویه پاسخ، الگوریتم توده ذرات و الگوریتم نجات می‌پردازند. در روش ترکیبی آنها به منظور بررسی حالت چندهدفه مسأله از الگوریتم چند هدفه توده ذرات استفاده شده است [۲۱]. وانگ و همکاران^۶ در سال ۲۰۲۱ مسأله بهینه‌سازی شکل و اندازه سازه‌های مشبک با فرم آزاد را با استفاده از رویه پاسخ و الگوریتم ژنتیک چندهدفه بررسی می‌کنند [۲۲].

با توجه به جدول ۱ تاکنون از ترکیب رویه پاسخ و تحلیل پوششی داده‌ها در زمینه مسائل چندپاسخه استفاده نشده است و نوآوری پژوهش ایجاد روش ترکیبی با کمک این دو روش می‌باشد. همچنین در جدول ۲ به بررسی روش‌های مختلفی که در حوزه مسائل بهینه‌سازی نیروگاه‌ها مورد

^۵ Kakkottakath

^۶ Wang

^۷ Decision Making Unit

^۱ Chau *et al.*

^۲ Reddy *et al.*

^۳ Yousefzadeh *et al.*

^۴ Li *et al.*

جدول ۱ مروری بر مقالات پیشین روش های ترکیبی با روش رویه پاسخ

ردیف	نام نویسنده	سال	شماره مرجع	مساله	روش
۱	سید حسینی و حیدری	۱۳۸۷	[۲۳]	مکان‌یابی	الگوریتم ژنتیک و رویه پاسخ
۲	بشیری و حسینی‌نژاد	۱۳۸۸	[۲۴]	بهینه‌سازی فرآیند با چند رویه پاسخ	الگوریتم شبکه‌های عصبی و رویه پاسخ
۳	امیری و همکاران	۱۳۸۸	[۲۵]	فرآیند تولید (کارتن‌های دایکاتی)	روش رویه پاسخ و الگوریتم ژنتیک
۴	کحال و همکاران	۱۳۹۲	[۱]	مسأله چندهدفه کمینه‌سازی	روش رویه پاسخ و الگوریتم ژنتیک
۵	شهرکی و همکاران	۱۳۹۲	[۲۶]	بهینه‌سازی نیروی گریز از مرکز (با هدف کاهش جذب روغن)	روش رویه پاسخ و الگوریتم ژنتیک
۶	قاسمی و همکاران	۱۳۹۳	[۲۷]	بهینه‌سازی فلزات و کامپوزیت‌ها	روش رویه پاسخ و الگوریتم ژنتیک
۷	بهشتی‌نیا و اعرابی	۱۳۹۶	[۲۸]	زنجیره تأمین و تخصیص	الگوریتم ژنتیک و رویه پاسخ
۸	میزا و همکاران	۲۰۱۷	[۲۹]	شبیه‌سازی	روش رویه پاسخ و الگوریتم ژنتیک استفاده از نرم افزار متلب
۹	بی وانگ	۲۰۱۸	[۳۰]	بهینه‌سازی	روش رویه پاسخ و الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تاگوچی
۱۰	دب و یانگ	۲۰۰۹	[۳۱]	معرفی الگوریتم فاخته	الگوریتم فاخته و رویه پاسخ
۱۱	گرجستانی و همکاران	۲۰۱۳	[۳۲]	ارائه روش ترکیبی	الگوریتم فاخته و رویه پاسخ
۱۲	شادکام و اکبرزاده	۲۰۱۵	[۳۳]	برنامه‌ریزی تولید	الگوریتم فاخته و الگوریتم ژنتیک و رویه پاسخ
۱۳	شادکام و همکاران	۲۰۱۵	[۳۴]	ارائه روش ترکیبی برای حل مسأله چندهدفه	الگوریتم فاخته و ϵ -constraint
۱۴	شادکام و بیجاری	۲۰۱۵	[۳۵]	بهینه‌سازی پیوسته غیرخطی	الگوریتم فاخته و رویه پاسخ
۱۵	برهانی‌فر و همکاران	۲۰۱۵	[۳۶]	ارائه الگوریتم ترکیبی برای حل مسائل چندهدفه	الگوریتم فاخته، توزین ساده و رویه پاسخ
۱۶	کاکوتاکا و همکاران	۲۰۲۱	[۲۱]	زمانبندی چند هدفه برای برنامه های گردش کار	الگوریتم جستجو ذرات و الگوریتم نجات RSM و
۱۷	دابی و همکاران	۲۰۲۱	[۳۷]	زمانبندی گردش کار	الگوریتم جستجو ذرات ترکیبی چندهدفه RSM و
۱۸	وانگ و همکاران	۲۰۲۱	[۲۲]	بهینه‌سازی شکل و اندازه سازه‌های مشبک با فرم آزاد	الگوریتم ژنتیک ترکیبی چند هدفه بهبود یافته و RSM

جدول ۲ مروری بر روش های مورد استفاده در مقالات بهینه سازی نیروگاهی

ردیف	نویسندگان	سال انتشار	شماره مرجع	مساله	روش
۱	عسکری و حبیبی	۲۰۱۶	[۳۸]	محاسبه کارایی ۱۰ نیروگاه	تحلیل پوششی داده‌ها
۲	مجتبوی و یعقوبی	۲۰۱۴	[۱۱]	محاسبه کارایی چند نیروگاه برق	تحلیل پوششی داده‌ها
۳	غفاری و همکاران	۱۳۸۷	[۳۹]	مسأله چندهدفه	الگوریتم ژنتیک
۴	جواهری و خامنه	۱۳۸۸	[۴۰]	محاسبه و تحلیل عملکرد ۴۱ واحد تولید برق	تحلیل پوششی داده‌ها
۵	قربانیا و همکار	۱۳۹۱	[۱۴]	محاسبه عملکرد ۲۹ واحد تولید برق	تحلیل پوششی داده‌ها
۶	بهلولی و استادزاد	۲۰۱۳	[۱۳]	محاسبه کارایی ۱۷ نیروگاه برق	تحلیل پوششی داده‌ها
۷	ابونوری و همکاران	۱۳۹۲	[۴۱]	محاسبه کارایی	تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص کارایی مالم کوئیست
۸	متقی و همکاران	۱۳۹۴	[۴۲]	زیست کارایی نیروگاه برق	تحلیل پوششی داده‌ها
۹	شفیعی نیک آبادی و همکاران	۱۳۹۵	[۸]	محاسبه کارایی	DEA شبکه ای و تحلیل پنجره
۱۰	سیما و همکاران	۲۰۱۹	[۴۳]	ارزیابی کارایی نیروگاه برق آبی	DEA
۱۱	تسولاس و همکاران	۲۰۲۰	[۴۴]	پروژه‌های نیروگاه تهیه و ساخت (EPC)	سری دو مرحله‌ای DEA
۱۲	ژانگ و چن	۲۰۲۱	[۴۵]	پیش‌بینی انرژی باد	روش ترکیبی SVD، CEEMDAN، PSO
۱۳	آشتابوج و همکاران	۲۰۲۱	[۴۶]	تنظیم فرکانس نیروگاه مجازی یکپارچه شبکه	روش دو مرحله ای بهینه سازی GOA
۱۴	چن و همکاران	۲۰۲۱	[۴۷]	شناسایی پارامترهای آنلاین و پلتفرم بهینه‌سازی بلادرنگ برای سیستم‌های حرارتی	الگوریتم سلسله مراتبی و طبقه بندی شده (H&C)

روش پیشنهادی، روش رویکا برای چهارده نیروگاه برق کشور ایران پیاده‌سازی شده است. در بخش چهارم مقاله اعتبارسنجی مدل از طریق چهار رویکرد بهینه‌سازی رویه‌ها، برنامه‌ریزی آرمانی، روش دستیابی به آرمان و همچنین استفاده از نرم افزار مینی‌تب انجام شده است و در نهایت به بررسی و مقایسه نتایج حاصله از رویکردها در مقایسه با روش رویکا پرداخته شده است.

در ادامه تعدادی رویه با روش RSM ایجاد می‌گردد که شامل یک رویه کارایی و چندین رویه پاسخ (به تعداد متغیرهای خروجی) می‌باشد. سپس رویه‌ی کارایی بهینه می‌شود و مقادیر متغیرهای مستقل بهینه به دست می‌آیند، سپس متغیرهای مستقل بهینه در رویه‌های پاسخ جایگذاری می‌شوند و متغیرهای پاسخ بهینه به دست می‌آیند. در بخش بعدی به شرح و تفسیر روند روش پیشنهادی رویکا پرداخته شده است، در بخش سوم مقاله برای بررسی کاربرد

جدول ۳ مروری بر داده‌های مورد استفاده در مقالات نیروگاهی

ردیف	نویسندگان	سال انتشار	شماره مرجع	نهادها (ورودی‌ها)	ستاده‌ها (خروجی‌ها)
۱	ابونوری و لاجوردی	۱۳۹۲	[۲۰]	۱- ارزش حرارتی ۲- نیروی انسانی ۳- ظرفیت نصب شده ۴- مصرف داخلی نیروگاه	۱- تولید برق خالص (میلیون کیلو وات ساعت)
۲	مجتبوی و یعقوبی	۲۰۱۴	[۱۱]	۱- نیروی انسانی ۲- هزینه‌های ساخت و ساز ۳- هزینه‌های نگهداری سالانه ۴- اخراج تعدادی مهندس	۱- قدرت تولید شده (مگاوات) ۲- رویه ایمنی
۳	عسگری و حبیبی	۲۰۱۶	[۳۸]	۱- ظرفیت نصب شده نیروگاه ۲- مقدار برق مصرف شده ۳- مقدار گرمای سوخت مصرف شده	۱- تولید برق خالص
۴	بهلولی و استاذزاده	۲۰۱۳	[۱۳]	۱- نیروی انسانی ۲- سوخت ۳- هزینه ساخت ۴- هزینه نگهداری و تعمیرات	۱- تولید برق
۵	متقی و ناصرزاده	۱۳۹۴	[۱۷]	۱- نیروی انسانی ۲- سرمایه ۳- سوخت مصرفی	۱- برق تولید شده (مگا وات ساعت) ۲- آلودگی ایجاد شده (کیلوگرم)
۶	قربانیان	۱۳۹۱	[۱۴]	۱- انرژی مصرفی ۲- ظرفیت اسمی ۳- هزینه‌های پرسنلی ۴- هزینه‌های مواد و مصالح غیرشیمیایی ۵- هزینه تعمیرات	۱- انرژی الکتریکی تولیدی ناخالص
۷	شفیعی نیک‌آبادی و یاکیده	۱۳۹۵	[۸]	۱- مصارف داخلی نیروگاه ۲- سوخت مصرفی ۳- طول خطوط انتقال ۴- طول خطوط فوق توزیع ۵- ظرفیت پست‌های انتقال ۶- ظرفیت پست‌های فوق توزیع	۱- قدرت نامی نیروگاه‌ها ۲- قدرت عملی نیروگاه‌ها ۳- حداکثر بار تولیدی در پیک هم‌زمان ۴- تولید ناویژه نیروگاه ۵- تولید ویژه ۶- راندمان ۷- بازده حرارتی
۸	ونگ و همکاران	۲۰۱۹	[۴۸]	۱. سرمایه ۲. نیروی کار ۳. زغال سنگ ۴. روغن ۵. گاز	۱. هیدروکسی بنزن فرار ۲. سیانور ۳. COD ۴. نفت ۵. آمونیاک - نیتروژن ۶. ارزش تولید ناخالص صنعتی
۹	محمودی و همکاران	۲۰۱۹	[۴۹]	۱. ظرفیت تولید ۲. کل ساعت کار ۳. مصرف داخلی ۴. مصرف سوخت ۵. تعداد کارکنان غیر عملیاتی ۶. تعداد کارمندان عملیاتی ۷. هزینه برق تولید شده ۸. کل هزینه آموزش	۱. درآمد کل ۲. مقدار کل برق تولید شده ۳. انتشار CO ₂
۱۰	پورعلیزاده و همکاران	۲۰۲۱	[۵۰]	۱. سرمایه ۲. نیروی انسانی	۱. خروجی مطلوب نفت و گاز ۲. خروجی نامطلوب گازفلرینگ

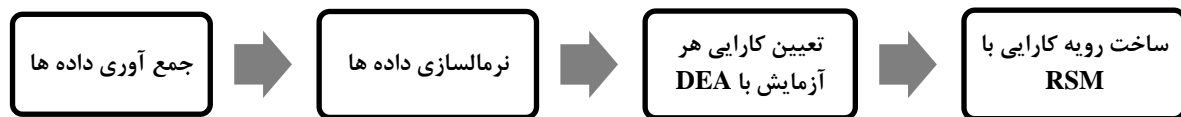
گام ۱. جمع‌آوری داده‌ها

در گام اول متغیرهای ورودی و خروجی به واسطه تحقیقات پیشین و نظر خبرگان تعیین می‌شوند. این داده‌ها به عنوان داده‌های اولیه برای واحدهای تصمیم‌گیری مشخص، جمع‌آوری می‌شوند.

گام ۲. نرمال‌سازی داده‌ها

به منظور کاهش اثر مقیاس‌های گوناگون در داده‌ها، داده‌های جمع‌آوری شده نرمال می‌شوند. در این پژوهش از نرمال‌سازی اقلیدسی که در رابطه ۱ آمده است، استفاده می‌شود.

$$y'_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_j^n y_{ij}^2}} \quad (1)$$



شکل ۱ فرآیند کلی روش پیشنهادی رویکا

کارایی ایجاد می‌گردد. مهم‌ترین مزیت ترکیب روش‌های RSM و DEA در مرحله چهارم می‌باشد و در واقع به جای ایجاد چندین رویه پاسخ برای خروجی‌ها به صورت جداگانه، یک رویه کارایی طبق رابطه ۳ جهت محاسبه مقادیر بهینه پارامترها ایجاد می‌شود و رابطه (۳) از نوع کارایی می‌باشد.

$$\text{Max efficiency} = f(x) \quad (3)$$

۳- پیاده‌سازی روش ترکیبی رویکا در نیروگاه‌های برق

به منظور بررسی عملکرد این رویکرد، روش پیشنهادی رویکا برای داده‌های ۱۴ نیروگاه تولید برق در سطح کشور پیاده‌سازی می‌گردد. هدف از این مطالعه تعیین نیروگاه کارا از بین نیروگاه‌های موجود و پارامترهای بهینه برای ایجاد یک نیروگاه ایده‌آل جدید می‌باشد.

گام ۱. جمع‌آوری اطلاعات

به منظور انتخاب متغیرهای ورودی و خروجی مسأله از پژوهش‌های مشابه پیشین و نظر مهندسين نیروگاه‌ها کمک گرفته شده است. سه ورودی مطالعه شامل تعداد مولد،

۲- معرفی روش پیشنهادی رویکا

در این پژوهش روش ترکیبی رویکا برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه ارائه می‌شود. مدل پیشنهادی از ترکیب روش‌های تحلیل پوششی داده‌ها و رویه پاسخ حاصل شده است. مزیت اصلی روش رویکا ایجاد یک رویه پاسخ به جای تولید چندین رویه برای هر یک از خروجی‌ها یا توابع هدف می‌باشد. فرآیند کلی مربوط به روش پیشنهادی ترکیبی رویکا بصورت شکل (۱) می‌باشد. ذکر این نکته ضروری است که در این پژوهش از مدل طرح مرکب مرکزی RSM^(۱) (CCD) استفاده شده است که یکی از رویکردهای اصلی در روش رویه پاسخ می‌باشد.

گام ۳. تعیین کارایی هر واحد تصمیم‌گیرنده با روش DEA

اندازه‌گیری مقادیر کارایی در حوزه ارزیابی عملکرد شرکت‌ها و سازمان‌ها بسیار حائز اهمیت است. تحلیل پوششی داده‌ها یک روش غیر پارامتری در حوزه ارزشیابی عملکرد می‌باشد. مدل‌های مختلفی در حوزه تحلیل پوششی داده‌ها وجود دارد و روش CCR^۲ یکی از روش‌های اساسی و کاربردی در این حوزه می‌باشد و از طریق رابطه ۲ در این پژوهش به منظور بررسی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$\text{Max } E_u = \frac{\sum_x u_x o_{tx}}{\sum_x u_x I_{tx}} \quad (2)$$

$$\frac{\sum_y u_y o_{wy}}{\sum_x u_x I_{wx}} < 1$$

s.t.

$$W = 1, \dots, L, \quad u_y > 0,$$

$$u_x > 0$$

گام ۴. تعیین رویه با روش RSM

در این مرحله با استفاده از مقادیر کارایی به دست آمده از گام قبل و مقادیر متغیرهای ورودی واحدها، رویه پاسخ

² Charlz- Cooper-Roderz

¹ Central Composite Design

شده در گام ۱ با استفاده از نرم اقلیدسی نرمال‌سازی می‌گردند.

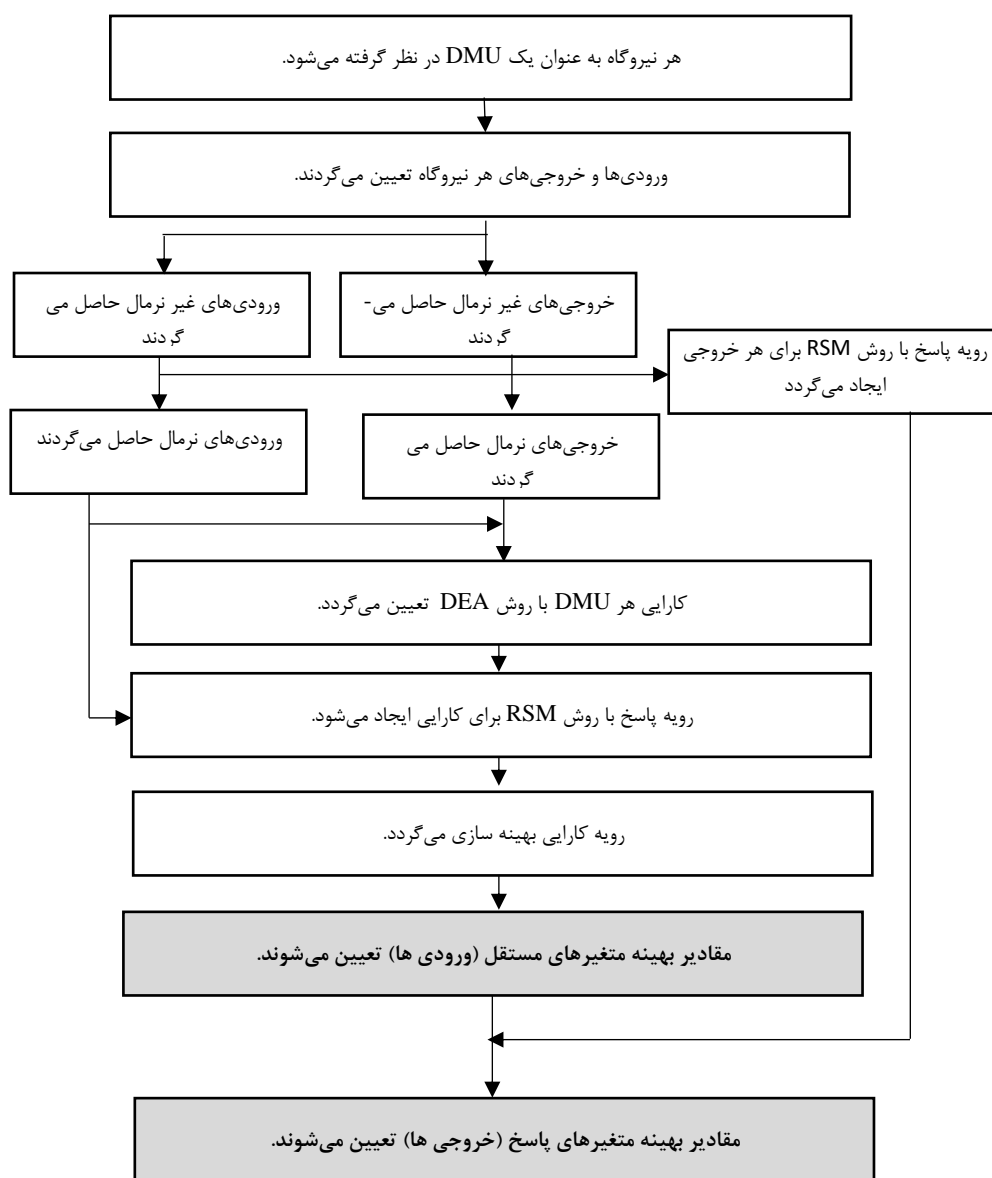
گام ۳. محاسبه کارایی با تحلیل پوششی داده‌ها

هر نیروگاه به عنوان یک واحد تصمیم‌گیرنده (DMU) در نظر گرفته شده است و مقادیر کارایی نیروگاه‌ها با استفاده از داده‌های نرمال بدست آمده از گام ۲ و مدل CCR محاسبه شده است و در ستون آخر جدول ۴ ارائه شده است.

تعداد پرسنل، مقادیر سوخت مصرفی سالانه (بر حسب متر مکعب بر ساعت) می‌باشند و سه خروجی شامل راندمان گرمایی، قدرت نامی نیروگاه و مقادیر تولید برق خالص می‌باشند. مقادیر اولیه ورودی‌ها و خروجی‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. شایان ذکر است که اطلاعات جمع‌آوری شده مربوط به سال ۱۳۹۹ می‌باشد.

گام ۲. نرمال‌سازی داده‌ها

به منظور یکسان‌سازی مقیاس داده‌ها، داده‌های جمع‌آوری



شکل ۲ مراحل پیاده‌سازی روش پیشنهادی رویکا در نیروگاه‌های برق

کارایی به عنوان یک پاسخ و مقادیر ورودی هم ورودی‌های اصلی مسأله در نظر گرفته می‌شود و یک رویه پاسخ برای کارایی ایجاد می‌گردد. در واقع مقادیر کارایی جایگزین

گام ۴. ساخت رویه کارایی

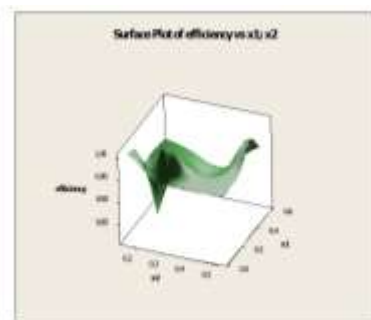
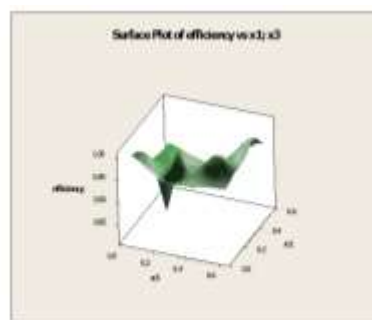
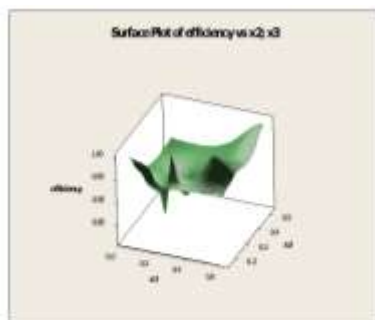
در این گام با استفاده از اطلاعات به دست آمده از گام ۳ به تعیین رویه برای کارایی پرداخته شده است. در واقع مقادیر

نرم افزار لینگو بهینه‌سازی می‌شود. خروجی بهینه‌سازی، تعیین مقادیر بهینه مربوط به متغیرهای ورودی می‌باشد که به دلیل هم‌مقیاس‌سازی و نرمال‌سازی در بازه بین صفر تا یک هستند و برای رسیدن به مقدار واقعی پارامترها باید تبدیل به داده‌های غیر نرمال گردند و دقیقاً عکس فرآیند نرمال‌سازی انجام می‌گردند که نتایج در جدول ۵ ارائه شده است.

مقادیر خروجی‌های مختلف می‌گردد، در نتیجه در این مرحله با کمک روش RSM یک رویه پاسخ که نشان‌دهنده ارتباط مقدار کارایی با مقادیر ورودی‌ها می‌باشد، ایجاد می‌گردد. این رویه کارایی بهینه‌سازی می‌گردد و مقادیر بهینه ورودی‌ها تعیین می‌شود. این رویه‌ها به کمک نرم افزار مینی تب ایجاد می‌شوند. به منظور یافتن پارامترهای بهینه مسأله رویه کارایی به دست آمده مطابق رابطه ۴ به کمک

جدول ۴ ورودی‌ها و خروجی‌های نیروگاه‌های برق

مقدار کارایی	خروجی‌ها			ورودی‌ها			اطلاعات نیروگاه		
	مقادیر تولید برق خالص Y_3	قدرت نامی Y_2	راندمان گرمایی Y_1	مقادیر سوخت مصرفی سالانه (m^3/h) X_3	تعداد پرسنل X_2	تعداد مولد X_1	نام نیروگاه	شهر	ردیف
۰,۸۱۸۸۹۲۱	۴۶۸۰۰۰۰۰	۱۹۴۰	۰,۴۸	۱۵۶۰۰۰۰۰	۶	۴	خضرا	کرمان	۱
۱	۶۲۴۰۰۰۰۰	۱۹۴۰	۰,۴۸	۱۹۵۰۰۰۰۰	۶	۵	کله بست	مازندران	۲
۱	۱۹۸۹۰۰۰۰۰	۱۱۶۶	۰,۸۵	۵۸۵۰۰۰۰۰	۴	۳	صبا باتری	تهران	۳
۱	۳۹۷۸۰۰۰۰۰	۱۹۴۸	۰,۴۸	۱۱۷۰۰۰۰۰۰	۴	۳	کوبر اردکان	یزد	۴
۰,۹۲۵۰۸۷۵	۴۹۱۴۰۰۰۰۰	۱۱۶۶	۰,۶۵	۱۳۶۵۰۰۰۰۰	۶	۷	حکمت	تهران	۵
۱	۱۲۴۸۰۰۰۰۰۰	۴۰۰۰	۰,۷۵	۳۹۰۰۰۰۰۰۰	۷	۵	ساوه	ساوه	۶
۱	۲۱۰۶۰۰۰۰۰۰	۱۹۴۸	۰,۵۳	۵۸۵۰۰۰۰۰۰	۴	۲	ثامن	مشهد	۷
۱	۱۲۴۸۰۰۰۰۰۰	۲۰۰۰	۰,۴۸	۳۹۰۰۰۰۰۰۰	۴	۱	گناباد	گناباد	۸
۰,۸۹۸۳۱۶۹	۳۷۴۴۰۰۰۰۰	۱۰۲۵	۰,۷	۱۱۷۰۰۰۰۰۰۰	۵	۶	کاشانی	تهران	۹
۰,۹۴۰۲۷۶۵	۳۹۷۸۰۰۰۰۰	۱۰۲۵	۰,۷	۱۱۷۰۰۰۰۰۰۰	۵	۶	کن	تهران	۱۰
۰,۸۵۹۶۸۴۴	۶۶۳۰۰۰۰۰۰۰	۱۰۲۵	۰,۶۶	۱۹۵۰۰۰۰۰۰۰	۹	۱۰	معنوی	تهران	۱۱
۱	۱۷۵۵۰۰۰۰۰۰۰	۱۰۲۵	۰,۷۵	۴۸۷۵۰۰۰۰۰۰	۱۳	۱۰	شوش	تهران	۱۲
۰,۸۹۲۱۰۳۰	۸۶۱۹۰۰۰۰۰۰۰	۱۰۲۵	۰,۷۵	۲۵۳۵۰۰۰۰۰۰	۹	۱۳	شهرک صنعتی خوارزمی	تهران	۱۳
۰,۹۹۹۹۹۹۹۸	۱۹۸۹۰۰۰۰۰۰۰	۱۹۴۸	۰,۵۳	۵۸۵۰۰۰۰۰۰۰	۴	۲	میلاد	تهران	۱۴



الف: برحسب متغیرهای تعداد مولد (X_1) و ج: برحسب متغیرهای تعداد پرسنل (X_2) و میزان سوخت مصرفی سالانه (X_3)

شکل ۳ رویه‌های مختلف کارایی نسبت به معیارهای ورودی تعداد مولد، تعداد پرسنل و سوخت مصرفی

$$\begin{aligned} \max e = & -0.64 - 136.049 x_1 + 87.0675 x_2 + 47.1746 x_3 - 367.41 x_1^2 + 10.0824 x_2^2 \\ & + 57.1776 x_3^2 + 482.74 x_1 x_2 + 539.83 x_1 x_3 - 709.644 x_2 x_3 \\ & -0.64 - 136.049 x_1 + 87.0675 x_2 + 47.1746 x_3 - 367.41 x_1^2 + 10.0824 x_2^2 \\ & + 57.1776 x_3^2 + 482.74 x_1 x_2 + 539.83 x_1 x_3 - 709.644 x_2 x_3 \leq 1 \\ 0 \leq & x_1 \leq 1 \\ 0 \leq & x_2 \leq 1 \\ 0 \leq & x_3 \leq 1 \end{aligned} \quad (4)$$

جدول ۵ مقادیر بهینه متغیرهای مستقل (ورودی‌های مساله)

نام متغیر ورودی	متغیر مستقل	نرمال	غیر نرمال
تعداد مولد	X_1	۰.۴۶۳۶۱۴	۱۱.۱۹۴۱۴۰۷
تعداد پرسنل	X_2	۰.۵۱۰۱۴۶	۱۲.۶۸۲۰۱۶۱
میزان سوخت مصرفی سالانه	X_3	۰.۴۵۳۸۴۵	۳۵۹۰۵۱۹۳.۷

نمودارهای رویه پاسخ اول در شکل (۴) نسبت به متغیرهای ورودی مختلف مسأله ترسیم شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌گردد نمودارهای مربوطه دارای شکل پیچیده می‌باشند و به دلیل وجود بهینه‌های محلی متعدد، بهینه‌سازی و یافتن ورودی‌های بهینه این رویه‌ها بسیار دشوار می‌باشد، درحالی که با تبدیل تمام رویه‌های پاسخ مسأله به یک رویه پاسخ کارایی این مشکل برطرف شده است. رویه پاسخ دوم و سوم به ترتیب در شکل‌های (۵) و (۶) نمایش داده شده‌اند. پس از تعیین رویه‌های خروجی‌ها، مقادیر متغیرهای مستقل یا ورودی‌های به دست آمده از گام ۴ در رویه‌های پاسخ جایگذاری می‌شوند و مقادیر بهینه متغیرهای پاسخ طبق جدول ۶ محاسبه می‌گردند. در نتیجه به منظور احداث یک نیروگاه ایده آل با حداکثر مقدار کارایی با توجه به مقادیر به دست آمده به راندمان گرمایی ۰.۵۸ ظرفیت نامی ۱۱۰۹ نیاز می‌باشد و تولید برق خالص باید برابر ۹۱۹۴۲۹۴ می‌باشد.

در نتیجه با توجه به داده‌های غیرنرمال، برای ایجاد یک نیروگاه ایده‌آل و کارا باید ۱۱ مولد، ۱۲ نیروی انسانی و ۳۵۹۰۵۱۹۳٫۶۵ متر مکعب بر ساعت میزان سوخت مصرفی سالانه تعیین شده است.

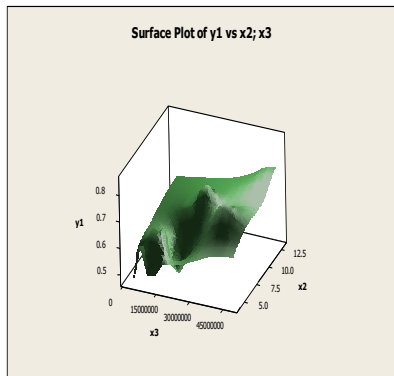
گام ۵. ساخت رویه‌های پاسخ

برای تعیین مقادیر خروجی مربوط به نیروگاه ایده‌آل، رویه مربوط به هر یک از خروجی‌های مسأله به صورت مجزا تعیین می‌گردند. سپس مقادیر ورودی‌های محاسبه شده گام قبل در این رویه‌های خروجی قرار می‌گیرند. این فرآیند مانند گام ۴ با نرم افزار مینی تب برای هر یک از خروجی‌ها انجام می‌شود، با این تفاوت که داده‌های مورد استفاده داده‌های غیرنرمال هستند. با استفاده از X و Y های غیرنرمال موجود در جدول ۱، رویه پاسخ هر خروجی تعیین می‌گردد. در ادامه رویه خروجی اول (y_1) راندمان گرمایی، خروجی دوم (y_2) قدرت نامی و خروجی سوم (y_3) میزان تولید برق خالص به ترتیب مطابق روابط ۵، ۶ و ۷ می‌باشند.

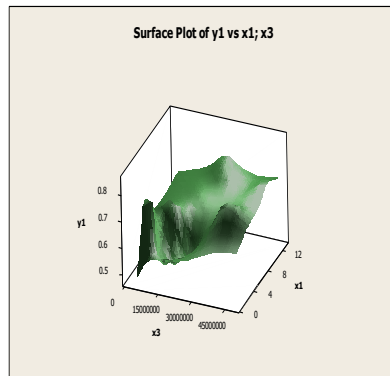
$$\begin{aligned} y_1 = & -0.669262 - 0.0347364x_1 + 0.165617x_2 - 5.43169 \times 10^{-15}x_3 - 3.13729 \times \\ & 10^{-4}x_1^2 + 0.00536442x_2^2 + 5.86903 \times 10^{-31}x_3^2 + 0.00309932x_1x_2 - 1.08497 \times \\ & 10^{-16}x_1x_3 + 2.37742 \times 10^{-16}x_2x_3 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} y_2 = & 814.751 - 139.670x_1 + 160.006x_2 - 5.16092 \times 10^{-12}x_3 + 0.914678x_1^2 - \\ & 3.68395x_2^2 + 1.85939 \times 10^{-27}x_3^2 + 2.16228x_1x_2 - 1.78126 \times 10^{-13}x_1x_3 + 9.21560 \times \\ & 10^{-14}x_2x_3 \end{aligned} \quad (6)$$

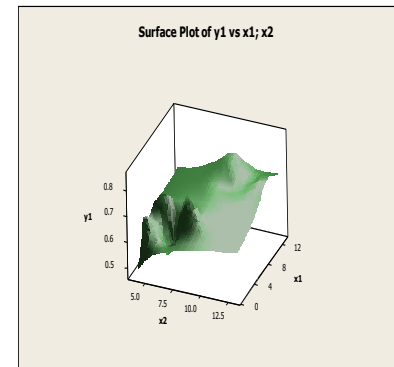
$$Y_3 = 5867973 - 451159x_1 + 936437x_2 + 7.54920 \times 10^{-8}x_3 - 14718.2x_1^2 - 56639.0x_2^2 - 6.02936 \times 10^{-24}x_3^2 + 52509.8x_1x_2 + 4.87881 \times 10^{-12}x_1x_3 + 1.99248 \times 10^{-9}x_2x_3 \quad (Y)$$



ج: برحسب متغیرهای تعداد پرسنل (X_2) و میزان سوخت مصرفی سالانه (X_3)

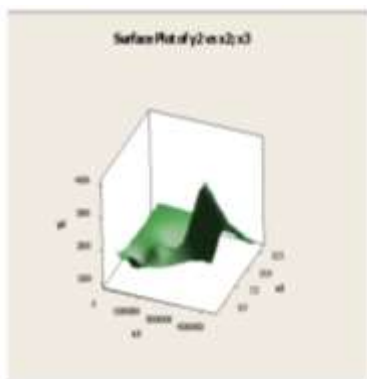


ب: برحسب متغیرهای تعداد مولد (X_1) و میزان سوخت مصرفی سالانه (X_3)

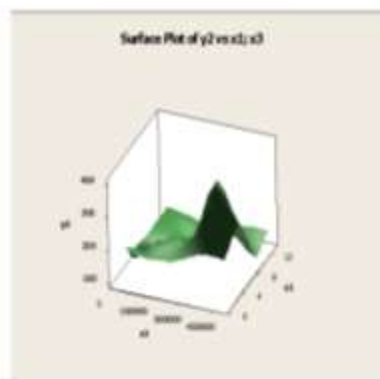


الف: برحسب متغیرهای تعداد مولد (X_1) و تعداد پرسنل (X_2)

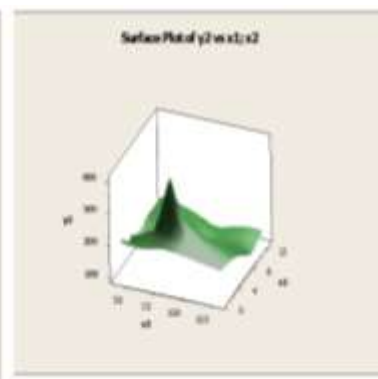
شکل ۴ رویه‌های پاسخ اول



ج: برحسب متغیرهای تعداد پرسنل (X_2) و میزان سوخت مصرفی سالانه (X_3)

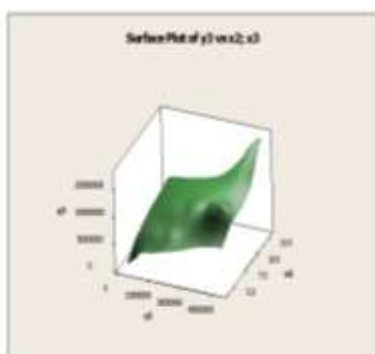


ب: برحسب متغیرهای تعداد مولد (X_1) و میزان سوخت مصرفی سالانه (X_3)

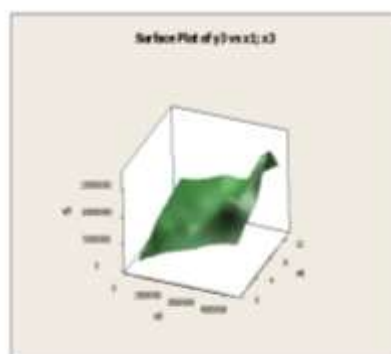


الف: برحسب متغیرهای تعداد مولد (X_1) و تعداد پرسنل (X_2)

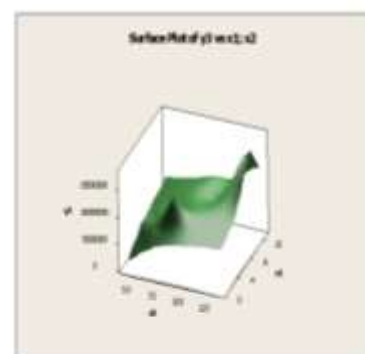
شکل ۵ رویه‌های پاسخ دوم



ج: برحسب متغیرهای تعداد پرسنل (X_2) و میزان سوخت مصرفی سالانه (X_3)



ب: برحسب متغیرهای تعداد مولد (X_1) و میزان سوخت مصرفی سالانه (X_3)



الف: برحسب متغیرهای تعداد مولد (X_1) و تعداد پرسنل (X_2)

شکل ۶ رویه‌های پاسخ سوم

همچنین نیروگاه جدیدی که با روش رویکا ایجاد گردیده است دارای حداکثر کارایی می‌باشد. بنابراین رویکرد رویکا در ایجاد یک واحد جدید از رویکرد اول بهتر عمل کرده است.

۴-۲- اعتبارسنجی با رویکرد دوم و سوم

در این رویکردها از روش برنامه‌ریزی آرمانی و همچنین روش دستیابی به آرمان به منظور بهینه‌سازی مسأله چندپاسخه کمک گرفته شده است. پس از ایجاد مدل برنامه‌ریزی آرمانی و دستیابی به آرمان برای داده‌های نیروگاه، از نرم افزار لینگو جهت حل مسأله استفاده می‌گردد. در نهایت به منظور بررسی نتایج رویکرد دوم و سوم با روش رویکا، به محاسبه کارایی نیروگاه‌های جدید ایجاد شده از هر سه روش با روش تحلیل پوششی داده‌ها پرداخته می‌شود و مقادیر کارایی نیروگاه‌ها با هم مقایسه می‌گردند. شایان ذکر است که کران بالای محدودیت‌های مدل ۸ حداکثر مقدار مجاز و قابل دسترس در هر ورودی می‌باشد که با توجه به بیشینه مقدار داده‌های اولیه تعیین شده است.

$$\text{MAX } \{Y_1, Y_2, Y_3\}$$

S.t.

$$0 \leq X_1 \leq 13$$

$$0 \leq X_2 \leq 13$$

$$0 \leq X_3 \leq 48750000 \quad (8)$$

$$\min = d_1^- + d_2^- + d_3^- + d_4^+ + d_5^+ + d_6^+;$$

S.t.

$$-0.669262 - 0.0347364x_1 + 0.165617x_2 - 5.43169 \times 10^{-15}x_3 - 3.13729 \times 10^{-4}x_1^2 +$$

$$0.00536442x_2^2 + 5.86903 \times 10^{-31}x_3^2 + 0.00309932x_1x_2 - 1.08497 \times 10^{-16}x_1x_3 +$$

$$2.37742 \times 10^{-16}x_2x_3 - d_1^+ + d_1^- = 0.85;$$

$$814.751 - 139.670x_1 + 160.006x_2 - 5.16092 \times 10^{-12}x_3 + 0.914678x_1^2 - 3.68395x_2^2 +$$

$$1.85939 \times 10^{-27}x_3^2 + 2.16228x_1x_2 - 1.78126 \times 10^{-13}x_1x_3 + 9.21560 \times 10^{-14}x_2x_3 -$$

$$d_2^+ + d_2^- = 4000;$$

$$5867973 - 451159x_1 + 936437x_2 + 7.54920 \times 10^{-8}x_3 - 14718.2x_1^2 - 56639.0x_2^2 -$$

$$6.02936 \times 10^{-24}x_3^2 + 52509.8x_1x_2 + 4.87881 \times 10^{-12}x_1x_3 + 1.99248 \times 10^{-9}x_2x_3 -$$

$$d_3^+ + d_3^- = 175500000;$$

$$x_1 + d_4^- - d_4^+ = 13;$$

$$x_2 + d_5^- - d_5^+ = 13;$$

$$x_3 + d_6^- - d_6^+ = 48750000;$$

$$d_1^- \geq 0; d_1^+ \geq 0;$$

$$d_2^- \geq 0; d_2^+ \geq 0;$$

$$d_3^- \geq 0; d_3^+ \geq 0;$$

$$d_4^- \geq 0; d_4^+ \geq 0;$$

$$d_5^- \geq 0; d_5^+ \geq 0;$$

$$d_6^- \geq 0; d_6^+ \geq 0;$$

(9)

هدف از این گام یافتن داده‌های ورودی و خروجی جدید برای نیروگاه‌های جدید طبق جدول ۷ می‌باشد. DMUهای ۱ و ۲ و ۳ نتایج حاصل از محاسبات انجام شده در این گام می‌باشند و در واقع سه نیروگاه جدید با استفاده از بهینه‌سازی توسط رویکرد اول می‌باشند. همچنین DMU4 نشان‌دهنده نیروگاه جدید حاصل از روش پیشنهادی رویکا می‌باشد.

۴-۱-۲- گام دوم، نرمال‌سازی داده‌ها

همانطور که پیش از این هم ذکر شد به منظور هم مقیاس‌سازی داده‌ها از نرم اقلیدسی استفاده می‌گردد (طبق جدول ۸). بنابراین تمامی متغیرهای ورودی نرمال هستند و نیازی به نرمال‌سازی مجدد نیست. در ستون Y_1 اعداد منفی به معنای مقادیر بسیار کوچک می‌باشند و به همین دلیل برای برخورداری از نتایج بهتر در محاسبات پیش رو به جای مقادیر منفی، عدد صفر جایگزین می‌شود. به این صورت اعداد ستون Y_1 هم نیازی به نرمال‌سازی ندارند.

۴-۱-۳- گام سوم، محاسبه کارایی با تحلیل پوششی

داده‌ها

در این گام مقادیر کارایی ۴ واحد تصمیم‌گیری جدید با نرم افزار لینگو مطابق جدول ۹ محاسبه می‌شوند. محاسبات انجام شده برای کارایی، نشان‌دهنده ناکارا بودن سه نیروگاه جدید ایجاد شده از رویکرد اول می‌باشد.

جدول ۱۰ ورودی‌ها و خروجی‌های روش برنامه‌ریزی آرمانی

متغیر	نام متغیر ورودی	X	نام متغیر خروجی	Y
۱	تعداد مولد	۰	راندمان گرمایی	۰,۳۳۳۲
۲	تعداد پرسنل	۸,۲۶۷۵۹۱	قدرت نامی	۱۸۸۵,۸۰۶
۳	میزان سوخت مصرفی سالانه	۴۸۷۵۰۰۰۰	میزان تولید برق خالص	۹۷۳۸۶۰۷

Min z

S.t.

$$-0.669262 - 0.0347364x_1 + 0.165617x_2 - 5.43169 \times 10^{-15}x_3 - 3.13729 \times 10^{-4}x_1^2 + 0.00536442x_2^2 + 5.86903 \times 10^{-31}x_3^2 + 0.00309932x_1x_2 - 1.08497 \times 10^{-16}x_1x_3 + 2.37742 \times 10^{-16}x_2x_3 + 0.3z \geq 0.85$$

$$814.751 - 139.670x_1 + 160.006x_2 - 5.16092 \times 10^{-12}x_3 + 0.914678x_1^2 - 3.68395x_2^2 + 1.85939 \times 10^{-27}x_3^2 + 2.16228x_1x_2 - 1.78126 \times 10^{-13}x_1x_3 + 9.21560 \times 10^{-14}x_2x_3 + 0.3z \geq 4000$$

$$5867973 - 451159x_1 + 936437x_2 + 7.54920 \times 10^{-8}x_3 - 14718.2x_1^2 - 56639.0x_2^2 - 6.02936 \times 10^{-24}x_3^2 + 52509.8x_1x_2 + 4.87881 \times 10^{-12}x_1x_3 + 1.99248 \times 10^{-9}x_2x_3 + 0.4z \geq 175500000;$$

$$x_1 \leq 13$$

$$x_2 \leq 13$$

$$x_3 \leq 48750000$$

$$x_1, x_2, x_3, z \geq 0$$

(۱۰)

جدول ۱۱ ورودی و خروجی‌های روش دستیابی به آرمان

متغیر	نام متغیر ورودی	X	نام متغیر خروجی	Y
۱	تعداد مولد	۰	راندمان گرمایی	۰,۳۳۳۲۵
۲	تعداد پرسنل	۸,۲۶۶۷۱۶	قدرت نامی	۱۸۸۵,۷۲
۳	مقادیر سوخت مصرفی سالانه	۴۸۷۵۰۰۰۰	مقادیر تولید برق خالص	۹۷۳۸۶۰۷

جدول ۱۲ مقادیر ورودی‌ها و خروجی‌های نرمال شده نیروگاه‌های فرضی

DMU	روش	X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂	Y ₃	مقدار کارایی
۱	برنامه‌ریزی آرمانی	۰	۰,۴۷۹۳۱۱	۰,۶۲۷۱۵۳	۰,۳۳۳۲	۰,۶۵۲۸۷۲	۰,۵۸۸۰۹۹	۱,۰۰۰۰۴۴
۲	دستیابی به آرمان	۰	۰,۴۷۹۳۶	۰,۶۲۷۱۵۳	۰,۳۳۳۲۵	۰,۶۵۲۸۴۳	۰,۵۸۸۰۹۹	۱,۰۰۰۰۲۵۷
۳	نرم افزار مینی تب	۰	۰,۵۶۷۸۹۲	۰,۴۷۸۹۳۲	۰,۴۳۶۷۸۳	۰,۶۵۷۸۲۱	۰,۴۳۵۶۷۹	۱,۵۶۷۲۳۱
۴	رویکا	۱	۰,۷۳۵۲۳۵	۰,۴۶۱۹۰۸	۰,۵۸۰۱۵	۰,۳۸۴۱۲۸	۰,۵۵۵۲۲۹	۲,۳۶۳۶۷۹

ها اجازه داده می‌شود تا مقدار کارایی بیشتری از یک دریافت کنند. مقادیر کارایی در ستون آخر جدول ۱۲ محاسبه شده است. محاسبات انجام شده نشان دهنده کارایی بیشتر نیروگاه جدید حاصل از روش رویکا نسبت به دو رویکرد دیگر می‌باشد و نتایج دو روش برنامه‌ریزی آرمانی و دستیابی به آرمان یکسان است. بنابراین، ساخت یک نیروگاه ایده‌آل و جدید با روش رویکا مطلوب‌تر از روش‌های مشابه است. به منظور ساخت این نیروگاه جدید و ایده‌آل، باید پارامترهای طراحی (متغیرهای ورودی و خروجی) مطابق با جدول ۵ و ۶ در نظر گرفت. همانطور که مشاهده می‌گردد، سه روش از نظر مصرف منابع (ورودی‌ها) تفاوت چندانی ندارد، در حالی که کارایی روش پیشنهادی بسیار بیشتر از دو روش دیگر است. بنابراین با استفاده از روش رویکا می‌توان با حداقل استفاده از منابع و ورودی‌ها حداکثر خروجی و بالاترین بازده را به دست آورد. با توجه به اهمیت مبحث کارایی، می‌توان از رویکرد پیشنهادی در مسائل مختلفی از جمله زمانبندی کارها و فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات [۵۴]، طراحی شبکه زنجیره تأمین [۵۵]، مسیریابی وسایل نقلیه [۵۶] و غیره استفاده کرد.

۴-۳- اعتبارسنجی با بهینه‌سازی همزمان رویه‌ها در

نرم افزار مینی تب

به منظور اعتبارسنجی بیشتر و دقیق‌تر روش پیشنهادی، هر سه رویه خروجی بصورت همزمان با کمک نرم افزار مینی تب بهینه‌سازی می‌گردند و نتایج در جدول ۱۲ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد کارایی نتایج بهینه‌سازی با نرم‌افزار مینی تب از کارایی روش پیشنهادی مقاله کمتر است و نشان دهنده برتری روش رویکا می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

بهینه‌سازی چندپاسخه یک حوزه مهم در تحلیل سیستم‌های تصادفی است که شامل روش‌های مختلفی می‌باشد. روش رویه پاسخ یکی از کاربردی‌ترین روش‌های موجود در این حوزه می‌باشد که در این پژوهش نیز از آن استفاده شده است. روش رویه پاسخ با استفاده از معادلات رگرسیون، رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌های یک سیستم را مشخص می‌کند. اگر سیستم دارای چند متغیر پاسخ باشد، تعداد معادلات رویه پاسخ برابر با پاسخ‌ها است که با استفاده از این معادلات مقدار بهینه ورودی‌ها تعیین می‌شود. در این مقاله با ترکیب روش‌های رویه پاسخ و

۴-۲-۱- رویکرد دوم، بهینه‌سازی روش برنامه‌ریزی

آرمانی

روش برنامه‌ریزی آرمانی یکی از کاربردی‌ترین و قدیمی‌ترین روش‌های برنامه‌ریزی چندهدفه می‌باشد. این روش در مسائل مختلفی پیاده‌سازی شده است و کارایی خود را نشان داده است. در پژوهش‌های انجام شده برتری این روش نسبت به سایر روش‌های مشابه مورد نقد و بررسی قرار گرفته است ([۱۲]، [۱۳] و [۱۴]). برای اطلاعات بیشتر در مورد مراحل این روش می‌توان به مرجع [۱۵] مراجعه کرد. پیاده‌سازی و مدلسازی روش برنامه‌ریزی آرمانی برای داده‌های نیروگاه‌ها به صورت رابطه ۹ می‌باشد که در نهایت با کمک نرم افزار لینگو مدل ایجاد شده حل می‌گردد. مقادیر ورودی‌ها و خروجی‌های به دست آمده از روش برنامه‌ریزی آرمانی به صورت جدول ۱۰ می‌باشد.

۴-۲-۲- رویکرد سوم، بهینه‌سازی با روش دستیابی به

آرمان

روش دستیابی به آرمان یکی از روش‌های اساسی تصمیم‌گیری چند معیاره است که در مسائل مختلف مورد استفاده قرار گرفته است ([۳۸]، [۳۹] و [۴۰]). جهت اطلاعات بیشتر در مورد مراحل این روش می‌توان به مرجع [۴۲] مراجعه کرد. پیاده‌سازی و مدلسازی روش دستیابی به آرمان برای داده‌های نیروگاه‌ها به صورت رابطه ۱۰ می‌باشد و در نهایت این مدل با کمک نرم‌افزار لینگو ۱۳ بهینه‌سازی می‌گردد. در این رابطه Z نشان‌دهنده متغیر انحرافی می‌باشد که باید کمینه گردد و میزان انحراف از مقادیر ایده‌آل برای توابع هدف را نشان می‌دهد. مقادیر متغیرهای ورودی و خروجی به دست آمده از طریق روش دستیابی به آرمان به صورت جدول ۱۱ می‌باشد.

۴-۲-۳- مقایسه نتایج روش رویکا با توجه به

رویکردهای دوم و سوم

نتایج حاصل از رویکرد دوم و سوم به منظور ایجاد نیروگاه جدید بصورت داده‌های نرمال شده در جدول ۱۲ ارائه شده است. داده‌های حاصل از هر روش به صورت یک واحد تصمیم‌گیرنده مجزا در نظر گرفته می‌شود. این واحدهای تصمیم‌گیرنده به عنوان نیروگاه‌های جدید می‌باشند. به منظور مقایسه روش‌ها، مقدار کارایی برای سه واحد تصمیم‌گیرنده جدید با روش تحلیل پوششی داده‌ها محاسبه می‌گردد و به هر واحد جهت رتبه‌بندی و تفکیک بهتر روش

مسأله نیروگاه‌ها پیاده‌سازی گردید و در نهایت از طریق هر روش یک نیروگاه جدید ایجاد گردید. در رویکرد اول هر رویه پاسخ به صورت مجزا بهینه‌سازی گردید. در رویکرد دوم و سوم از روش‌های دستیابی به آرمان و برنامه‌ریزی آرمانی استفاده شد. همچنین در رویکرد آخر از قابلیت‌های نرم افزار مینی تب جهت بهینه‌سازی چندین پاسخ استفاده شد. با توجه به نتایج حاصل از مقایسه کارایی چهار واحد تصمیم‌گیری به وجود آمده از هر رویکرد، کارایی واحد به بدست آمده از روش رویکا از سایر رویکردها بیشتر است و نشان‌دهنده برتری این روش نسبت به سایر رویکردها می‌باشد. به منظور تحقیقات آتی می‌توان از سایر مدل‌های DEA مانند FDH نیز استفاده کرد. همچنین می‌توان روش پیشنهادی رویکا را برای سایر مسائل کاربردی پیاده‌سازی نمود.

تحلیل پوششی داده‌ها روش ترکیبی جدیدی به نام رویکا ارائه شد که در آن یک رویه پاسخ برای کارایی جایگزین توابع رویه پاسخ‌های چندگانه می‌گردد. مهم‌ترین مزیت روش رویکا را می‌توان کاهش تعداد رویه‌های پاسخ معرفی کرد. در واقع به جای بهینه‌سازی چندین رویه پاسخ برای هر خروجی، تنها بهینه‌سازی رویه کارایی مورد بررسی قرار می‌گیرد. از دیگر مزایای این روش، بیشینه‌سازی کارایی علاوه بر بهینه‌سازی مساله چند پاسخ به صورت همزمان می‌باشد. به منظور اعتبارسنجی روش رویکا داده‌های مربوط به ۱۴ نیروگاه برق در سطح کشور جمع‌آوری و مورد بررسی قرار گرفت. از نتایج پیاده‌سازی روش رویکا می‌توان برای یافتن پارامترهای مورد نیاز به منظور تأسیس یک نیروگاه جدید با بالاترین مقدار کارایی استفاده کرد. به منظور اعتبارسنجی روش رویکا، سه رویکرد دیگر برای

مراجع:

- [۱] پرویز کحال، سید یوسف احمدی بروغنی و حامد دیلمی عضدی، "بهینه‌سازی چند هدفه قالب شکل دهی ورق با استفاده از آنالیز اجزا محدود همراه با مدل سطح پاسخ"، مجله علمی پژوهشی مهندسی مکانیک مدرس، دوره ۱۳، شماره ۹، آذر ۱۳۹۲، صفحه ۴۷-۵۷.
- [۲] مریم دررودی و حامد صادقیان، "یافتن راه‌حل‌های مؤثر در مسائل بهینه‌سازی ترکیبی چندهدفه به کمک روش قیود ارتجاعی"، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، دوره ۲۵، شماره ۱، سال ۱۳۹۳، صفحه ۳۱-۴۳.
- [۳] بهرام امین زاده گوهرریزی، بابک امین زاده گوهرریزی و سعید رستگار، "ارائه الگوریتم تلفیقی برای حل مسائل تحلیل تناسب کاربری اراضی با رویکرد تصمیم‌گیری چند هدفه"، نشریه برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳، صفحه ۲۳-۱.
- [4] M.H. Kutner., C.J. Nachtsheim, J. Neter, and W. Li, Applied Linear Statistical Models, McGraw-Hill, Irwin, 2005.
- [5] G.E.P. Box and K.B Wilson, "On the Experimental Attainment of Optimum Conditions" Journal of the Royal Statistical Society, Vol. 13, NO. 1, 1951, pp. 1-45.
- [6] D.C. Montgomery, Design and analysis of experiments, John Wiley & Sons, New York, NY, USA 2006.
- [7] R.H. Myers, D.C. Montgomery and G.G. Vining, Response Surface Methodology: A Retrospective and Literature Survey, Journal of quality technology, Vol. 36, NO. 1, 2004, pp. 53-77.
- [۸] محسن شفیعی نیک آبادی، کیخسرو یاکیده و اکرم اویسی عمران، "رویکردی ترکیبی از تحلیل پوششی داده‌ها با انواع خروجی‌ها و تحلیل پنجره در ارزیابی کارایی صنعت برق"، مجله چشم انداز مدیریت صنعتی، شماره ۲۴، زمستان ۱۳۹۵، صفحه ۱۸۰-۱۵۸.
- [9] T.T. Allen and L. Yu, "Low-Cost Response Surface Methods from Simulation Optimization", Qual. Reliab Eng. Int, Vol. 18, NO. 1, 2002, pp. 5-17.
- [10] C. Tsai, L. Tong, and C. Wang, "Optimization of Multiple Responses Using Data Envelopment Analysis and Response Surface Methodology", Tamkang Journal of Science and Engineering, Vol. 13, NO. 2, 2010, pp. 197-203.
- [۱۱] نسیم مجتوبی و مریم یعقوبی، "ارزیابی کارایی نیروگاه‌ها و یک روش رتبه‌بندی با استفاده از نرم افزار GAMS"، کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، دوره ۳، ۱۳۹۲.

- [۱۲] الیاس رئیس زاده و نسرین اوحدی و مصیب پهلوانی، "ارزیابی زیست کارایی انرژی نیروگاه های برق کشور"، کنفرانس بین المللی مهندسی محیط زیست و منابع طبیعی، تهران، مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار، موسسه آموزش عالی مهر اروند، دوره ۶، ۱۳۹۹.
- [۱۳] پریسا بهلولی و علی حسین استاذزاد، "برآورد کارایی نیروگاه های حرارتی: رویکرد دو مرحله ای تحلیل پوششی داده ها"، همایش ملی سوخت انرژی و محیط زیست، دوره ۳، صفحه ۲۱-۴۰.
- [۱۴] مجتبی قربانیان و نفیسه قربانیان، "اندازه گیری کارایی و بهره وری واحد های تولید برق خراسان"، کنفرانس ملی تحلیل پوششی داده ها، دانشگاه مازندران، خرداد، دوره ۴، ۱۳۹۱.
- [۱۵] ساویز نکوفر، "استاندارد سازی پروژه های نیروگاهی در سبد پروژه های مشابه و تکرار پذیر"، کنفرانس سالانه بین المللی انجمن مهندسان مکانیک ایران، تهران، انجمن مهندسان مکانیک ایران، دوره ۲۷، ۱۳۹۸.
- [16] E. Shadkam and M. Bijari, "The Optimization of Bank Branches Efficiency by Means of Response Surface Method and Data Envelopment Analysis: A Case of Iran", *Journal of Asian Finance, Economics and Business*, Vol. 2, NO. 1, 2015, pp. 13-18.
- [17] N.L.Chau, H.G. Le, T.P. Dao, M. P. Dang and V.A. Dang, "Efficient hybrid method of FEA-based RSM and PSO algorithm for multi-objective optimization design for a compliant rotary joint for upper limb assistive device", *Mathematical Problems in Engineering*, 2019, Vol. 12, NO. 1, pp. 1-14.
- [18] P.V. Reddy, B.V. Reddy and P.J. Ramulu, "Mathematical modelling for prediction of tube hydroforming process using RSM and ANN", *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, Vol. 35, NO. 1, 2020, pp. 13-27.
- [19] S. Yousefzadeh, K. Yaghmaeian, A.H. Mahvi, S. Nasserri, N. Alavi and R. Nabizadeh, "Comparative analysis of hydrometallurgical methods for the recovery of Cu from circuit boards: Optimization using response surface and selection of the best technique by two-step fuzzy AHP-TOPSIS method", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 249, NO. 1, pp.119401.
- [20] K. Li, S. Yan, Y. Zhong, W. Pan and G. Zhao, "Multi-objective optimization of the fiber-reinforced composite injection molding process using Taguchi method, RSM, and NSGA-II", *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 91, 2019, pp. 69-82.
- [21] J. Kakkottakath Valappil Thekkepurayil, D. P. Suseelan, and P. M. Keerikkattil. "Multi-objective Scheduling Policy for Workflow Applications in Cloud Using Hybrid Particle Search and Rescue Algorithm.", *Service Oriented Computing and Applications*, 2021, pp. 1-21.
- [22] X. Wang, "Improved multi-objective Hybrid Genetic Algorithm for Shape and Size Optimization of Free-form latticed structures.", *Journal of Building Engineering*, 2021, pp. 102902.
- [۲۳] سید محمد سید حسینی، روح اله حیدری و طاهره حیدری، "حل مساله مکان یابی پایانه های شبکه اتوبوس رانی درون شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک"، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، دوره ۲۰، شماره ۳، ۱۳۸۸، صفحه ۲۰-۳۰.
- [۲۴] مهدی بشیری و سید جواد حسینی نژاد، "بهینه سازی فرایند با چند سطح پاسخ به وسیله شبکه های عصبی بر مبنای مفهوم مطلوبیت"، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، دوره ۲۰، شماره ۴، ۱۳۸۸، صفحه ۲۰-۴۰.
- [۲۵] مقصود امیری، سید فلاح جمشیدی و جمشید صالحی صدقیانی، "ارائه روشی ابتکاری برای بهینه سازی مسائل چند پاسخی آماری با استفاده از الگوریتم ژنتیک (مطالعه ی موردی: تولید کارتن دایکاتی)"، مجله علمی پژوهشی شریف، شماره ۴۹، مرداد، ۱۳۸۸، صفحه ۱۳۱-۱۳۷.
- [۲۶] مسعود هاشمی شهرکی، امان محمد ضیایی فر، مهدی کاشانی نژاد و محمد قربانی، "بهینه سازی اعمال نیروی گریز از مرکز جهت کاهش جذب روغن با استفاده از روش سطح پاسخ و الگوریتم ژنتیک"، نشریه پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران، دوره ۱۰، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳، صفحه ۲۶-۱۵.
- [۲۷] احمدرضا قاسمی، محمد هادی حاج محمد، مجتبی امین الرعايا، ومهدی میرمقتدایی، "استفاده از روش سطح پاسخ و الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی چیدمان چند لایه های کامپوزیت فلز در برابر اثرات انفجار"، مجله علمی پژوهشی مواد پر انرژی، دوره نهم، شماره ۲، شماره ۲۳، پاییز ۱۳۹۳، صفحه ۴۵-۵۲.

[۲۸] محمد علی بهشتی نیا و آتنا اعرابی، "ارائه یک الگوریتم ژنتیک برای مساله یکپارچگی مسیریابی وسایل نقلیه و زمانبندی تولید در زنجیره تامین (مطالعه موردی: زنجیره تامین تجهیزات پزشکی)"، نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره ۵۱، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶، صفحه ۱۶۰-۱۴۷.

[29] A.T Miza, Z. Shayfull, S.M. Nasir, M. Fathullah, and M. H. M. Hazwan, "Optimisation of warpage on plastic injection moulding part using response surface methodology (RSM) and genetic algorithm method (GA)", In AIP Conference Proceedings, Vol. 1885, No. 1, 2017, pp. 020007.

[30] Y. Wang, "Study on Influence Factors of zinc layer thickness via Response Surface Method, Taguchi Method and Genetic Algorithm", Ind Eng Manage, Vol. 7, NO. 245, 2018, pp. 2169-0316.

[31] X.S. Yang and S. Deb, "Cuckoo search via Lévy flights. In Nature & Biologically Inspired Computing", World congress on nature & biologically inspired computing (NaBIC), 2009 December, pp. 210-214.

[32] M. Gorjestani, E. Shadkam, M. Parvizi, S. Aminzadegan, "A hybrid COA-DEA method for solving multi-objective problem", International Journal on Computational Sciences & Applications, Vol. 5, NO. 1, 2015, pp. 1-14.

[33] A. Akbarzadeh, E. Shadkam, "The study of Cuckoo optimization algorithm for production planning problem", International Journal of Computer-Aided technologies, Vol. 2, 2015, pp. 1-15.

[34] M. parvizi, E. Shadkam, N. jahani, "A hybrid COA/ ϵ -constraint method for solving multi-objective problems", International Journal in Foundations of Computer Science & Technology, Vol. 5, 2015, pp. 27-40

[35] E. Shadkam, M. Bijari, "The Optimization of Bank Branches Efficiency by Means of Response Surface Method and Data Envelopment Analysis: A Case of Iran, Journal of Asian Finance", Economics and Business, Vol. 2, NO. 1, 2015, pp. 13-18.

[36] Z. Borhanifar, E. Shadkam, "The new hybrid COAW method for solving multi-objective problems", International Journal in Foundations of Computer Science & Technology, Vol. 5, NO.1, 2015, pp. 15-22.

[37] G. Dai, B. Xu, J. Peng, L. Zhang, "Cloud workflow scheduling algorithm based on multi-objective hybrid particle swarm optimization", International Journal of Grid and Utility Computing, Vol. 12, NO. 3, pp. 287-301.

[۳۸] غلامحسین عسکری و محمدرضا حبیبی محلی، "ارزیابی عملکرد و مقایسه کارایی نیروگاه های برق با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها"، کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت، تهران، ایران، ۷ خرداد، دوره ۲، ۱۳۹۵.

[۳۹] علی غفاری، مجید بازارگان، نوشین عبدی و امیر سلیمی، "بهینه‌سازی عملکرد نیروگاه‌های برق آبی با استفاده از الگوریتم ژنتیک GA"، دومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برقی، دوره ۲، ۱۳۸۷.

[۴۰] زهرا جواهری و امیرحسین خامنه، "ارزیابی عملکرد نیروگاه‌های حرارتی ایران با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها"، کنفرانس صنعت نیروگاه‌های حرارتی، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، دوره اول، اردیبهشت ۱۳۸۸.

[۴۱] اسمعیل ابونوری و حسن لاجوردی، "تاثیر تشکیل بازار برق ایران بر کارایی نیروگاه‌های برق"، مجله علمی پژوهشی کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران، سال ۲، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۲، صفحه ۵۷-۵۰.

[۴۲] سمیرا متقی، سمیه ناصرزاده و شیما جهانگیری، "بررسی زیست کارایی نیروگاه‌های حرارتی کشور با کاربرد روش تحلیل پوششی داده‌ها DEA" همایش ملی پژوهش‌های کاربردی در حسابداری، مدیریت و اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان، دوره اول، آذر ۱۳۹۴.

[43] E. Şeyma, A.Tuba, G. Akkaya and E. K. DELİCE, "Efficiency Assessment of Hydroelectric Power Plant in Turkey by Data Envelopment Analysis (DEA)", Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Vol. 6, NO. 1, 2019, pp.34-45.

[44] I.E. Tsolas, "Benchmarking Engineering, Procurement and Construction (EPC) Power Plant Projects by Means of Series Two-Stage DEA", Electricity, Vol. 1, NO. 1, 2020, pp. 1-11.

[45] Y. Zhang, Y. Chen, "Application of hybrid model based on CEEMDAN, SVD, PSO to wind energy prediction", Environ Sci Pollut Res, 2021, <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16997-3>

[46] Srivastava, Ashtabhuj Kumar, et al. "Analysis of GOA optimized two-stage controller for frequency regulation of grid integrated virtual power plant." Energy Reports (2021).

[47] Chen, Xi, Tian Zhao, and Qun Chen. "An online parameter identification and real-time optimization platform for thermal systems and its application." *Applied Energy* (2021): 118199.

[48] J. Wang, Y. Ma, L. Ouyang and Y. Tu, "Bayesian modeling and optimization for multi-response surfaces", *Computers & industrial engineering*, Vol. 142, NO. 1, 2020, pp.106357.

[49] R. Mahmoudi, A. Emrouznejad, H. Khosroshahi, M. Khasheian and P. Rajabi, "Performance evaluation of thermal power plants considering CO2 emission: a multistage PCA, clustering, game theory and data envelopment analysis", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 223, NO. 1, 2020, pp. 641-650.

[50] M. Pouralizadeh, "A DEA model for performance evaluation of supply chain sustainability in the presence of undesirable outputs and dual-role factors: The case: The power Industry." *Journal of Industrial Management Studies*, Vol. 19, NO. 62, 2021, pp. 139-192.

[51] Ballus, C. A., Meinhart, A. D., Bruns, R. E., & Godoy, H. T. (2011). Use of multivariate statistical techniques to optimize the simultaneous separation of 13 phenolic compounds from extra-virgin olive oil by capillary electrophoresis. *Talanta*, 83(4), 1181-1187.

[52] Jones, Dylan, and Mehrdad Tamiz. *Practical goal programming*. Vol. 141. New York: Springer, 2010.

[53] Kiresuk, Thomas J., Aaron Smith, and Joseph E. Cardillo. *Goal attainment scaling: Applications, theory, and measurement*. Psychology Press, 2014.

[۵۴] عابد حسام، سعید امامی و رمضان نعمتی کشتلی، "زمانبندی کارها و فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات در محیط ماشین‌های موازی نامرتب." *نشریه مدل‌سازی در مهندسی*، دوره ۱۷، شماره ۵۸، پاییز ۱۳۹۸، صفحه ۲۴۷-۲۳۳.

[۵۵] جلال رضایی نور، فهیمه یزدیان، محسن عاقلان، "طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چهار سطحی با رویکرد یکپارچه سازی تصمیمات اقتصادی، زیست محیطی و مسئولیت اجتماعی در قبال کارمندان"، *نشریه مدل‌سازی در مهندسی*، دوره ۱۷، شماره ۵۷، تابستان ۱۳۹۸، صفحه ۹۲-۶۹.

[۵۶] عرفان بابایی تیرکلایی، ایرج مهدوی، میر مهدی سید اصفهانی، "حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با در نظر گرفتن سفرهای چندگانه و پنجره‌های زمانی در مدیریت پسماند شهری با استفاده از الگوریتم بهینه سازی گرگ خاکستری"، *نشریه مدل‌سازی در مهندسی*، دوره ۱۷، شماره ۵۷، تابستان ۱۳۹۸، صفحه ۱۱۰-۹۳.