

ISSN: 2538-3809

نشریه علمی-تخصصی

پژوهش‌های نوین علوم مهندسی

فصلنامه پژوهش‌های نوین علوم مهندسی
سال سوم، زمستان ۱۳۹۷، شماره ۲۲

مدیریت هاب صنعتی با استفاده از الگوریتم چند
هدفه گرگ خاکستری MOGWO
بابک صفری چابک، احمد عاشوری، نادر مرتضوی

بهبود فرآیند کار در بین کارکنان بانک صادرات با
سنجش رابطه آن و نیازهای شغلی کارکنان با توجه به
اهداف کلان بانک صادرات (سرپرستی شمال تهران)
سحر دلیری، مسعود پیردستان

بهینه سازی پارامترهای فرایند ماشینکاری تخلیه
الکتریکی (EDM) در ماشین کاری کاربید تنگستن -
کبالت (WC/6%Co) با الگوریتم MOPSO
محمد رضا مرکی

طراحی بهینه ریز شبکه تحت مد عملکرد جزیره ای با
هدف بهبود قابلیت اطمینان و کاهش هزینه در
شرایط مختلف جوی با استفاده از الگوریتم ژنتیک رتبه
بندی نامغلوب
نادر مرتضوی، بهنام علیزاده، علیرضا سبحان، مازیار
میرحسینی مقدم

مدل سازی ریاضی راکتور لوله ی با ترکیب پلاسما در
فرآیند تولید آمونیاک
فاطمه زارع، بیژن هنرور

پژوهش‌های نوین علوم مهندسی

فصلنامه پژوهش‌های نوین علوم مهندسی،
سال سوم، شماره ۸ (پیاپی: ۲۲)، زمستان ۱۳۹۷
ISSN: 2538-3809

صاحب امتیاز و مدیر مسئول:
امیرحسین یوسفی
سر دبیر: میلاد فتاحی
مدیر داخلی: منیژه ملائی

اعضای شورای علمی نشریه:

جناب آقای دکتر محمدعلی ارجمند، دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی
جناب آقای دکتر شهروز اسدی، دانشگاه شهید بهشتی
جناب آقای دکتر رضا افضل، دانشگاه خواجه نصرالدین طوسی
جناب آقای دکتر علی جباری، دانشگاه اراک
سرکارخانم دکتر ساغر جازچی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی
جناب آقای دکتر چنگیز دهقانیان، دانشگاه تهران
جناب آقای دکتر نعمت حسینی، دانشگاه شهید بهشتی
سرکارخانم دکتر راحله خادمیان، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی
جناب آقای دکتر علی رحمانی، دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی
سرکارخانم دکتر فائزه رحمانی، دانشگاه خواجه نصرالدین طوسی
جناب آقای دکتر قدرت الله رودینی، دانشگاه سیستان و بلوچستان
جناب آقای دکتر محیعی رهدار، دانشگاه سیستان و بلوچستان
جناب آقای دکتر مرتضی زیودار، دانشگاه سیستان و بلوچستان
جناب آقای دکتر محمدحسین کاظمی، دانشگاه شاهد
جناب آقای دکتر علی فروغی، دانشگاه تبریز
جناب آقای دکتر علی لکی روحانی، دانشگاه زنجان
جناب آقای دکتر سیدحمید هاشمی، دانشگاه اراک

دفتر نشریه:

۰۲۱ ۳۳ ۲۰ ۲۴۸۷
۰۲۶ ۳۲ ۷۲ ۴۷۸۷
تهران: افسریه ۱۵، متری چهارم، کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲

انتشارات هنر و علوم دانشگاهی

تهران، افسریه، ۱۵ متری اول، کوچه ۲۸، پلاک ۲۹۳
تلفن: ۰۲۱ ۳۳ ۸۴۰۷ ۹۲

۰۲۱

فراخوان پذیرش مقاله

توسعه پرشتاب و گسترده علوم به ویژه در حوزه فنی و مهندسی، انجام اقدامات علمی برای معرفی دستاوردهای علمی را بیش از پیش ضروری کرده است. توسعه پایدار ایران اسلامی، مستلزم ایجاد زیرساخت‌های علمی به ویژه در حوزه علوم مهندسی است. موسسه مدیریت دانش شباک با همکاری اساتید برجسته دانشگاهی با هدف معرفی پژوهش‌های علوم مهندسی و ایجاد فرصتی برای تبادل مطالعات و تجارب در این حوزه، نشریه پژوهش‌های نوین علوم مهندسی را منتشر می‌کند.

تحریریه به منظور انتشار گسترده پژوهش‌های روزآمد از اساتید، صاحب‌نظران، مهندسان، دانشجویان، کارشناسان، پژوهشگران و علاقه‌مندان علوم مهندسی، دعوت می‌کند تا با ارائه مقالات علمی ارزشمند خود، از طریق وبسایت نشریه به نشانی www.nres.ir ضمن مشارکت فعال به غنای این نشریه کمک نمایند. برای ارسال مقاله به نشریه کافی است تا در وبسایت نشریه ثبت‌نام نموده و با ورود به پنل کاربری، مقاله خود را ثبت کنید. پس از بررسی اولیه و داوری علمی از طرف تحریریه جهت انتشار مقاله با نویسنده مسئول تماس گرفته می‌شود.

موضوعات نشریه پژوهش نوین علوم مهندسی:

- مهندسی صنایع
- مهندسی عمران
- مهندسی مکانیک
- مهندسی معدن
- مهندسی هوا فضا
- مهندسی مواد و متالورژی
- مهندسی برق و الکترونیک
- مهندسی انرژی و فیزیک
- مهندسی شیمی، نفت و پلیمر
- مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات
- مبانی علوم مهندسی
- مدیریت دانش در علوم مهندسی

فهرست مقالات

صفحه	عنوان مقاله
۱	مدیریت هاب صنعتی با استفاده از الگوریتم چند هدفه گرگ خاکستری MOGWO بابک صفری چابک، احمد عاشوری، نادر مرتضوی
۱۷	بهبود فرآیندکار در بین کارکنان بانک صادرات با سنجش رابطه آن و نیازهای شغلی کارکنان با توجه به اهداف کلان بانک صادرات (سرپرستی شمال تهران) سحر دلیری، مسعود پیردستان
۳۳	بهینه سازی پارامترهای فرایند ماشینکاری تخلیه الکتریکی (EDM) در ماشینکاری کاربید تنگستن-کبالت (WC/6%Co) با الگوریتم MOPSO محمد رضا مرکی
۴۱	طراحی بهینه ریزشبکه تحت مد عملکرد جزیره ای با هدف بهبود قابلیت اطمینان و کاهش هزینه در شرایط مختلف جوی با استفاده از الگوریتم ژنتیک رتبه بندی نامغلوب نادر مرتضوی، بهنام علیزاده، علیرضا سحاب، مازیار میرحسینی مقدم
۵۷	مدل سازی ریاضی راکتور لوله ی با ترکیب پلازما در فرآیند تولید آمونیاک فاطمه زارع، بیژن هنرور

مدیریت هاب صنعتی با استفاده از الگوریتم چند هدفه گرگ خاکستری MOGWO

بابک صفری چابک^۱، احمد عاشوری^۲، نادر مرتضوی^۳

۱- شرکت کهکشان پژوهش گستر برق، لاهیجان، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خدابنده، گروه مهندسی برق، خدابنده، ایران

a_ashouri2007@yahoo.com

۳- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد لاهیجان، گروه مهندسی برق، لاهیجان، ایران

چکیده

بهره‌وری انرژی بخشی جدایی ناپذیر از عملیات یک کارخانه صنعتی است. اپراتور کارخانه تمایل به حداکثر رساندن سطح تولید (و در نتیجه درآمد حاصل از آن) در حالی که مصرف انرژی، وقفه در تولید، زباله‌های مواد و هزینه‌ها حداقل باشد را دارد. اینها بعنوان توابع هدف متضاد عمل می‌کنند بدین معنا که بهینه‌سازی یک هدف می‌تواند منجر به راه حل‌های غیربهینه برای یک یا چندین هدف دیگر شود. در این مقاله یک مدل‌سازی ریاضیاتی جدید برای مسئله مدیریت انرژی یک کارخانه صنعتی در حضور منابع تولیدی نظیر فتوولتائیک PV و منابع ذخیره‌ساز الکتروشیمیایی شامل الکترولیزر، تانک هیدروژن و پیل سوختی و مشارکت طرف تقاضا به صورت پاسخ بار DR انجام می‌شود. توابع هدف شامل درآمدها و هزینه‌های تولید کالا برای کارخانه صنعتی و قیود فنی شامل تعادل توان برای ایستگاه‌های کاری، تعادل توان برای قدرت دسترس‌پذیر از طریق PV، حد بالا برای قدرت دسترس‌پذیر از طریق شبکه، محدوده عملکرد ذخیره‌ساز الکتروشیمیایی پیل سوختی، وابستگی تولید در ایستگاه-های کاری و مرتبه ناکاملی محصول کارخانه و غیره در نظر گرفته شده است. کدسازی مسئله مذکور درون الگوریتم هوشمند چندین هدفه گرگ خاکستری MOGWO و حل آن تشریح می‌گردد. مطالعات شبیه‌سازی و آنالیز نتایج عددی بمنظور اعتبارسنجی مدل پیشنهادی بر روی یک کارخانه مونتاژ ماشین طی چندین سناریو انجام می‌شود و نتایج ارائه می‌گردد.

واژگان کلیدی: مدیریت هاب صنعتی، الگوریتم MOGWO، پاسخ بار.

۱- مقدمه

بهره‌وری انرژی بخشی جدایی ناپذیر از عملیات یک کارخانه صنعتی است. در حالت ایده آل، اپراتور کارخانه تمایل به حداکثر رساندن سطح تولید (و در نتیجه درآمد حاصل از آن) در حالی که مصرف انرژی، وقفه در تولید، زباله‌های مواد و ... حداقل باشد را دارد [۱-۴]. اینها ممکن است گاهی بعنوان توابع هدف متضاد عمل نمایند به این معنا که بهینه‌سازی یکی می‌تواند منجر به راه حل‌های غیربهینه برای یک یا چندین هدف دیگر را به همراه داشته باشد. به همین ترتیب، بهره‌برداری مطلوب از کارخانه نیاز به حل یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه جامع دارد که در آن عوامل مختلفی را در نظر گرفته باشد. در حالت کلی برای یک سیستم قدرت، منابع توزیع شده شامل واحد تولیدپراکنده قابل دیسپچ و غیرقابل دیسپچ یا سیستم ذخیره‌سازی انرژی می‌شوند که قدرت تولیدی از طریق این واحدها را می‌توان به عنوان مکمل انرژی خریداری شده از شبکه در طی ساعات‌های پیک استفاده نمود [۵-۷]. مدیریت مصرف سمت تقاضا با وجود نصب و بهره‌برداری از منابع تولید پراکنده و ذخیره‌سازها در واقع هزینه‌های کلی عرضه انرژی را کاهش می‌دهد و حاشیه رزرو را افزایش می‌دهد، نوسانات و بی‌ثباتی قیمت‌ها را کاهش می‌دهد و موجب به تعویق انداختن ساخت نیروگاه‌های برق می‌شود و امکان رسیدن به اهداف زیست محیطی را فراهم می‌کنند. بنابراین مدیریت سمت مصرف تحت چنین شرایطی منجر به افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. در مرجع [۸]، استفاده از برنامه پاسخگویی بار خانگی در کنترل و مدیریت بار خانگی از جمله خودروهای پریزی برقی در جهت به حداقل رساندن هزینه مشتری استفاده شده

است. در مرجع [۹]، یک طرح مدیریت انرژی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک با هدف حداقل رساندن هزینه‌های انرژی مصرفی برای مشترکین خانگی با برنامه‌ریزی توان با فرض اینکه مصرف کننده از قیمت انرژی و تقاضای ساعتی روز بعد با خبر است، ارائه شده است. در مرجع [۱۰]، روشی برای برنامه‌ریزی تجهیزات سرمایشی و گرمایشی با توجه به قیمت برق، پیشبینی دمای محیط و سطح رفاه افراد با هدف کیمینه‌سازی هزینه پرداختی ارائه شده است. در مرجع [۱۱]، به شبیه‌سازی الگوریتم‌هایی برای کاهش پیک بار خانگی به روش جابجایی بارهای قابل برنامه‌ریزی با در نظر گرفتن تعامل بین فناوری‌های اتوماسیون خانگی و نحوه رفتار انسانی پرداخته شده است. در مرجع [۱۲] از مدل برنامه‌ریزی خطی برای بهینه‌سازی مقدار کاهش پیک بار سیستم از طریق دوره‌های کنترلی در برنامه‌های کنترل بار خانگی و صنعتی استفاده شده است. در مرجع [۱۳]، اثر مدیریت سمت مصرف بر کاهش پیک بار یک فیدر، با تغییر زمان استفاده از لوازم توان بالای بارهای خانگی خازن‌های متصل به آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مرجع [۱۴] و [۱۵] بار مصرف کننده به دو نوع طبقه‌بندی می‌شود. نوع اول، تغییر بار که می‌توان برنامه‌ریزی آن را در زمان‌های مختلف از روز به عنوان مثال ماشین لباسشویی و ماشین ظرفشویی انجام داد. نوع دوم، بار غیرقابل تغییر که در طول زمان‌های خاص مانند روشنایی و اجاق پخت و پز اداره می‌شود. با توجه به نوع بار، برنامه‌ریزی فنی نیاز به تغییر بار به همان اندازه که می‌تواند مصرف کننده را قادر به مدیریت قبض برق کند نیز باعث می‌شود که شرکت‌هایی تولیدی به تعادل سطح مصرف برسانند. در مرجع [۱۶]، با استفاده از کنترل پاسخ تقاضای خودکار در برنامه‌ریزی لوازم خانگی طبقه‌بندی شده در نوع و زمان مصرف بر اساس قیمت گذاری پویا، کاهش هزینه مصرف کننده و افزایش سود بهره برداری شبکه برق مورد تحقیق واقع شده است. در مرجع [۱۷]، یک مسئله توزیع اقتصادی برای به حداقل رساندن هزینه کل عملیات در شبکه‌های میکروگريد DC با استفاده از روش اکتشافی فرموله شده و حل می‌شود. در مرجع [۱۸] یک سیستم مدیریت انرژی هوشمند با معماری که از ماژول‌های کاربردی مختلف استفاده می‌کند تعریف شده است که به طور متوالی متصل می‌شوند، اما این سیستم مدیریت انرژی قادر به حل مشکل تراکم را در جریان حل مسئله نیست. در مرجع [۱۹]، یک روش کنترل بهینه انرژی/ قدرت آنلاین برای بهره برداری از ذخیره انرژی در شبکه‌های میکروشبکه متصل شده به شبکه‌های سراسری با توجه به پیش بینی آینده مصرف برق و تولید انرژی تجدیدپذیر ارائه شده است، اما آنها محدوده ایمنی و مرحله شارژ مناسب را برای استفاده از ذخیره ساز باتری، که طول عمر طولانی تر آن را تضمین می‌کند در نظر نگرفته اند. در مرجع [۲۰]، سیستم مدیریت انرژی متمرکز برای میکروشبکه‌ها از شبکه سراسری از طریق برنامه در مدار قرار گرفتن واحدها و پخش بار بهینه به منظور جلوگیری از فرمول بندی غیر خطی صحیح مخلوط طراحی شده اند. با این حال، اکثر این پیشنهادها به صورت تجربی آزمایش نشده اند و همچنین مدل بهینه سازی برای استفاده در هر دو حالت شبکه و متصل شده ارائه نشده است. مابقی مقاله به صورت ذیل سازماندهی شده است: در بخش دوم فرمولاسیون ریاضیاتی مسئله مدیریت هاب صنعتی شامل توابع هدف و قیود فنی ارائه می‌شود، در بخش سوم نحوه استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری چندین هدفه MOGWO برای حل مسئله مدیریت هاب صنعتی تشریح می‌گردد و در قسمت چهارم اعتبارسنجی مدل پیشنهادی با بکارگیری مطالعات شبیه سازی بر روی یک کارخانه مونتاژ خودرو انجام می‌شود. نتایج حاصله در قسمت پنجم بیان می‌شود.

۲- مدل‌سازی مسئله مدیریت انرژی یک کارخانه در حضور منابع تولید پراکنده و بار پاسخگو DR

۲-۱- توابع هدف

هدف مدل‌سازی مسئله مدیریت انرژی در واقع تعیین برنامه‌ریزی بهره‌برداری یک کارخانه به صورت بهینه اقتصادی می‌باشد که می‌تواند توسط بهره‌بردار در سایت کارخانه بکار گرفته شود یا که خیر. در این مدل‌سازی ما فرض می‌کنیم که المانهای ذخیره‌ساز کارخانه سیستم الکترولایزر، تانک هیدروژن و پیل سوختی و همچنین منابع تولید پراکنده شامل پنل‌های فتوولتائیک می‌باشد. توابع هدف ما مطابق روابط (۱) و (۲) تعریف می‌گردد.

$$Max. p \sum_{t=1}^T u_{n,t} + \sum_{t=1}^T r_t^{FC} P_t^{FC,u} + \sum_{t=1}^T r_t^{\$} P_t^{s,u} + \sum_{t=1}^T r_t^{DR} \left[\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{4} (u_{i,t}^*) \right]_+ \quad (1)$$

$$Min. \pi. \beta + \sum_{t=1}^T C_t^u (P_t^{u,Electro} + P_t^{u,p}) + \sum_{t=1}^T C_t^{FC} (P_t^{FC,p} + P_t^{FC,u}) + \sum_{t=1}^T r_t^{DR} \left[\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{4} (u_{i,t}) \right]_+ \quad (2)$$

ترم اول تابع هدف رابطه (۱) سود به ازای تولید کارخانه می‌باشد. دو ترم بعدی درآمد حاصل از فروش انرژی توسط پیل سوختی و فتوولتائیک می‌باشد. ترم چهارم درآمد حاصل از مشارکت در برنامه پاسخ بار می‌باشد در صورتی که کارخانه مصرف خود را از حالت نرمال کاهش دهد. اما رابطه (۲) که شامل هزینه‌ها می‌شود ترم اول جریمه متناظر با خرابی یا تلفات تولید کارخانه از مقدار تولید هدف می‌باشد ترم دوم مجموع انرژی خریداری شده برای مصارف کارخانه و شارژ الکترولایزر و تانک هیدروژن می‌باشد و ترم بعدی هزینه سیستم پیل سوختی برای فروش انرژی به کارخانه یا شبکه سراسری است و ترم آخر هزینه مربوط به مشارکت در برنامه پاسخ بار می‌باشد.

۲-۲- قیود مسئله

این یک مسئله بهینه سازی مقید با توجه به قیود ذیل است: مطابق رابطه (۳) قید تعادل توان برای ایستگاه های کاری تضمین می‌کند که توان فراهم شده برای کارخانه از منابع مختلف برای فعال بودن ایستگاه های کاری در ظرفیت مطلوب کافی باشند. مطابق (۴) قید تعادل توان برای قدرت دسترس پذیر از طریق PV تضمین می‌کند که توان دسترس پذیر از طریق این منابع ممکنه برای تغذیه الکترولایزر، کارخانه و فروش به شبکه مورد استفاده قرار گیرد. مطابق رابطه (۵) قید حد بالا برای قدرت دسترس پذیر از طریق شبکه تضمین می‌کند قدرتی که قابل خرید از شبکه بالادست است ممکنه از طریق محدودیت های فیزیکی فیدر تغذیه کننده کارخانه محدود شود (ظرفیت نامی خطوط توزیع و یا ظرفیت نامی ترانسفورماتور) یا بواسطه قراردادهای بسته شده با شبکه. قیود بهره برداری از سیستم الکترولایزر، تانک هیدروژن و پیل سوختی کارخانه شامل ۴ قید است. قیود (۶) و (۷) دلالت دارند بر اینکه باتری قابلیت شارژ از طریق شبکه و منبع خورشیدی را دارد و دشارژ آن قابلیت فروش انرژی به شبکه سراسری و ایستگاه های کاری کارخانه را فراهم می‌کند. بعلاوه، قدرت دشارژ تانک هیدروژن (پیل سوختی) با ظرفیت آن مطابق رابطه (۸) محدود می‌شود. سیستم پیل سوختی برای عملکرد در یک دوره زمانی فقط قابلیت شارژ یا دشارژ تانک را مطابق رابطه (۹) دارا می‌باشد. قید (۱۰) یک قید تساوی برای حالت شارژ تانک هیدروژن از طریق الکترولایزر فراهم می‌کند و رابطه (۱۱) یک رنج مطلوب را برای SOC تانک فراهم می‌کند. می‌توان فرض کرد که کارخانه صنعتی مفروض قابلیت هم خرید و هم فروش انرژی را از یا به شبکه سراسری برق دارا می‌باشد ولی باید توجه کرد که هر دو مورد در یک بازه زمانی امکان وقوع نخواهند داشت. رابطه (۱۲) به عنوان یک قید اضافی در مدل سازی مسئله مدیریت انرژی این شرایط را لحاظ می‌کند. باید متذکر شد که همه ترم های توان مقادیر غیر منفی هستند.

$$\forall t: P_t^{u,p} + P_t^{fc,p} + P_t^{s,p} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{4} u_{i,t} \quad (3)$$

$$\forall t: P_t^{s,u} + P_t^{s,p} + P_t^{s,Electro} = P_t^s \quad (4)$$

$$\forall t: P_t^{u,p} + P_t^{u,Electro} \leq P_{u,max} \quad (5)$$

$$\forall t: P_t^{s,Electro} + P_t^{u,Electro} = u_t^{Electro,c} P_t^{Electro,c} \quad (6)$$

$$\forall t: P_t^{fc,p} + P_t^{fc,u} = u_t^{fc,d} P_t^{fc,d} \quad (7)$$

$$\forall t: P_t^{fc,p} + P_t^{fc,u} \leq P_{fc,max} \quad (8)$$

$$\forall t: u_t^{Electro,c} + u_t^{fc,d} \leq 1 \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \forall t: SOC^{fc(Hydro\ tank)} &= (1 - \delta) \cdot SOC_{t=1}^{Hydro\ tank} + u_t^{electro,c} (P_t^{electro,c} \eta^{electro,c} / P_{fc,max}) \\ &\quad - u_t^{fc,d} (P_t^{fc,d} / \eta^{fc,c} P_{fc,max}) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\forall t: SOC^{Hydro\ tank,min} \leq SOC^{Hydro\ tank} \leq SOC^{Hydro\ tank,max} \quad (11)$$

$$\forall t: (P_t^{fc,u} + P_t^{s,u}) \cdot (P_t^{u,electro} + P_t^{u,p}) = 0 \quad (12)$$

مطابق رابطه (۱۳) وابستگی ایستگاه های کاری تضمین می‌کند که در ساختار سری، اگر ایستگاه کاری نام به تولیدات ایستگاه کاری نام وابسته باشد (برای مثال $v_{ij} = 1$). آنگاه در هر دوره زمانی، سطح تولید آن بوسیله چگونگی مقدار تولید ایستگاه کاری نام تا آن دوره زمانی تولید انجام شده محدود خواهد شد و اینکه تا دوره قبل این دوره چه مقدار آن توسط ایستگاه کاری نام مصرف شده است. قیود پس-پردازش کالا مطابق رابطه (۱۴) و (۱۵) به تجمیع کالاهای پس-پردازش شده یا فاینال بر اساس رابطه بین ایستگاه های کاری دلالت دارد. بعلاوه، ایستگاه های ویژه کاری محدودیت حدود بالا و پایین برای مقدار قابل قبولی از کالاهای فاینال (پس-فرآیند) خواهد داشت. یک مقدار غیر صفر برای حداقلی کالا فرآیند را از طریق استراتژی کارخانه در یک زمان معین به پیش

حرکت می‌دهد. باید اشاره کرد که با توجه به واحدهای تعریف شده برای خروجی هر محصول، به کالای پس‌فرآیند به عنوان یک متغیر گسسته یا پیوسته می‌توان توجه نمود. مرتبه ناکاملی محصول مطابق رابطه (۱۶) تضمین می‌کند در حالت ایده‌آل مدیر کارخانه تمایل دارد که یک سطح مشخصی از تولید را فراهم نماید. به هر حال، کارخانه بایستی برای مجوز استفاده از مزایایی نظیر فروش قدرت به شبکه، پاسخ بار، شیفت تقاضا، این قیود را آزاد کند. البته کمبود تامین بار منجر به جریمه همان طوری که در تابع هدف آمده است، خواهد شد.

$$\forall(i, \tau): \frac{a_i P_i}{4} u_{i,\tau} \leq v_{ij} \left[\frac{a_j P_j}{4} u_{j,\tau} + \sum_{t=0}^{\tau-1} \left(\frac{a_j P_j}{4} u_{i,t} - \frac{a_i P_i}{4} u_{i,t} \right) \right] \quad (13)$$

$$\forall(i, t): I_{i,t} = I_{i,t-1} + \alpha_i u_{i,t} \frac{P_i}{4} - \sum_{j=1, \neq i}^n \alpha_j u_{i,t} \frac{P_j}{4} v_{ji} \quad (14)$$

$$\forall(i, t): I_i^{min} \leq I_{i,t} \leq I_i^{max} \quad (15)$$

$$\sum_{t=1}^T \alpha_n \frac{P_n}{4} u_{n,t} = I^{des} - \beta \quad (16)$$

بلوک قیود یکپارچگی نشان می‌دهد که همه متغیرهای توانی که تعریف شده اند مقادیری مثبت را به خود اختصاص می‌دهند ضمن اینکه متغیر باینری برای وضعیت شارژ و دشارژ سیستم الکترولایزر، تانک هیدروژن و پیل سوختی تعریف شده است برای پاسخگویی بار ۴ مرحله کاهش ۲۵ درصدی از کل مقدار مورد نظر فرض شده است. و تعداد تولیدات کارخانه در هر ایستگاه کاری می‌بایست از صفر بزرگتر باشد. برای اهداف پاسخ بار کارخانه درآمد حاصل از آن معادل ۱۲۵٪ درآمد خورشیدی و سیستم پیل سوختی در نظر گرفته شده است. به هر حال کارخانه صنعتی به دنبال این است که با کاهش مصرف برخی از ایستگاه‌های کاری تحت برنامه زمان بندی مشخص نسبت به حالت بهره‌برداری نرمال کسب درآمدی بواسطه مشارکت در برنامه پاسخ بار انجام دهد. برای مدلسازی ترم غیرخطی مشارکت بار پاسخگو در تابع هدف فرمولاسیون (۱۷) تا (۱۹) بایستی که بکار گرفته شوند. اندیس St یک متغیر کمکی است که باید در روند حل مسئله تعیین گردد.

$$\forall_t \left[\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{4} (u_{i,t}^* - u_{i,t}) \right] = \left[\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{4} (u_{i,t}^* - u_{i,t}) \right] \frac{s_t(s_t + 1)}{2} \quad (17)$$

$$\forall_t: \left[\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{4} (u_{i,t}^* - u_{i,t}) \right] \cdot s_t > 0 \quad (18)$$

$$\forall_t: s_t \in \{-1, 0 + 1\} \quad (19)$$

۳- حل مسئله مدیریت هاب صنعتی توسط الگوریتم چند هدفه گرگ خاکستری

۳-۱- الگوریتم چندین هدفه MOGWO

مسائل بهینه سازی چند هدفه بیش از یک تابع هدف دارند. همان طور که مشخص است، روش‌های حل چند هدفه مجموعه‌ای از جواب‌ها را تولید می‌کنند که نسبت به هم برتری ندارند و این مجموعه را بهینه پرتو می‌نامند. بدین ترتیب بردار تصمیم متعلق به مجموعه مجاز یک پاسخ پرتو است، اگر بردار تصمیم دیگری متعلق به مجموعه مجاز وجود نداشته باشد که بر آن غلبه کند. الگوریتم MOGWO یکی از الگوریتم‌های اکتشافی حل مسائل بهینه سازی چند هدفه است که از مدلسازی زیستی جمعیت جانداران به وجود آمده است.

به منظور مدلسازی ریاضی سلسله مراتب اجتماعی هنگام طراحی GWO، بهترین راه حل را بعنوان آلفا α در نظر می‌گیریم. در نتیجه، دومین و سومین بهترین راه حل‌ها به نام بتا β و دلتا δ خواهد بود. بقیه راه حل‌های مورد بررسی فرض می‌شوند که امگا ω هستند. در الگوریتم GWO، شکار (بهینه سازی) با آلفا، بتا و دلتا هدایت می‌شود. گرگ‌های امگا این سه گرگ را دنبال می‌کنند [۲۱].

محاصره طعمه: همانطور که در بالا ذکر شد، گرگ‌های خاکستری طعمه را در طول شکار محاصره می‌کنند. بهمنظور مدلسازی ریاضی رفتار محاصره طعمه، معادلات (۲۰) و (۲۱) ارائه شده است:

$$\vec{D} = \left| \vec{C} \cdot \vec{X}_p(t) - \vec{X}(t) \right| \quad (20)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (21)$$

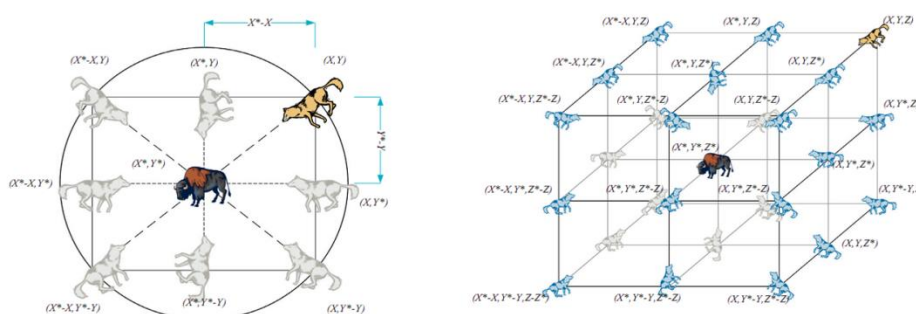
که t تکرار فعلی را نشان می دهد، و بردارهای ضرایب و بردار موقعیت شکار و بردار موقعیت یک گرگ

خاکستری را نشان می دهد. بردارهای و بصورت (۲۲) و (۲۳) محاسبه می شوند:

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r}_1 - \vec{a} \quad (22)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r}_2 \quad (23)$$

که در آن مؤلفه های $\vec{a}$ بصورت خطی از ۲ تا ۰ در طول تکرارها کاهش می یابند و r_1 و r_2 بردارهای تصادفی هستند در بازه [۰ و ۱]. برای دیدن اثرات معادلات فوق یک بردار موقعیت ۲ بعدی و برخی از همسایه های ممکن در شکل ۵ الف نشان داده شده اند. همانطور که در این شکل دیده می شود، یک گرگ خاکستری در موقعیت (X, Y) می تواند موقعیتش را با توجه به موقعیت شکار (X^*, Y^*) بروز کند. مکان های مختلف در اطراف بهترین عامل می تواند به موقعیت فعلی با تنظیم مقدار بردارهای A و C برسد. مثلاً $(X^* - X, Y^* - Y)$ می تواند بوسیله تنظیم $\vec{A} = (1, 0)$ برسد. موقعیتهای بروز شده ممکن یک گرگ خاکستری در فضای ۳ بعدی در شکل ۵ ب نشان داده شده است. نکته اینکه بردارهای r_1 و r_2 به گرگها اجازه رسیدن به هر موقعیتی بین نقاط نشان داده شده در شکل ۱ را می دهد.



شکل ۱- الگوریتم گرگ خاکستری GWO الف- موقعیت دو بعدی گرگ خاکستری ب- موقعیت بروز شده سه بعدی گرگ خاکستری

بنابراین یک گرگ خاکستری می تواند موقعیت خود را در داخل فضای اطراف طعمه در هر مکان تصادفی با استفاده از معادلات ۱۸ و ۱۹ بروز رسانی کند. همین مفهوم را می توان به یک فضای جستجو با n بعد بسط داد و گرگ خاکستری در فوق مکعب (یا بیش از حد کره) در اطراف بهترین راه حلی که تا کنون به دست آمده حرکت خواهد کرد. شکار: گرگ خاکستری توانایی تشخیص محل طعمه و محاصره آنها را دارد. شکار معمولاً توسط آلفا هدایت می شود. بتا و دلتا نیز ممکن است در شکار گاهی اوقات شرکت کنند. با این حال، در یک فضای انتزاعی هیچ ایده ای در مورد محل مناسب (طعمه) وجود ندارد. به منظور شبیه سازی ریاضی رفتار شکار گرگ های خاکستری، فرض می شود که آلفا (بهترین راه حل کاندیدا)، بتا و دلتا دانش بهتری درباره محل بالقوه طعمه دارند. بنابراین سه تا از بهترین راه حل هایی را که تا کنون برای اولین بار بدست آمده ذخیره می گردد و سایر عوامل جستجو (شامل امگاها) وادار به بروز رسانی مواضع خود با توجه به موقعیت بهترین عوامل جستجو می شوند. رابطه زیر در این زمینه ارائه شده است:

$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C}_1 \vec{X}_\alpha - \vec{X}|, \vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \vec{X}_\beta - \vec{X}|, \vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \vec{X}_\delta - \vec{X}| \quad (24)$$

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 \cdot (\vec{D}_\alpha), \vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \cdot (\vec{D}_\beta), \vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \cdot (\vec{D}_\delta) \quad (25)$$

$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3} \quad (26)$$

۳-۲- نحوه کدسازی مسئله مدیریت هاب توسط MOGWO

در این ابتدای این بخش الگوریتم گرگ خاکستری MOGWO به عنوان یک الگوریتم حل مسائل بهینه سازی چند هدفه معرفی شد و در اینجا قصد داریم نحوه کدسازی مسئله مدیریت انرژی یک کارخانه صنعتی با حضور منابع تولید پراکنده و ذخیره سازها را در سایت کارخانه توسط الگوریتم MOGWO تشریح کنیم. همان طور که اشاره شد الگوریتم MOGWO به لحاظ ذاتی یک الگوریتم غیر مقید می‌باشد، بنابراین، تابع هدف به همراه قیود این مسئله بایستی در تابع فیتنس به شکل مناسبی تلفیق شوند از آنجایی که متغیرها باید درون محدودیت‌هایشان حفظ شوند بنابراین تجاوز از قیود که به عنوان ترم جریمه در تابع فیتنس تعریف گردد باعث می‌شود تا دیگر تخطی در قیود فنی طراحی ظاهر نشود. با توجه به وجود تعداد ۱۰ ایستگاه کاری در سایت کارخانه با عملکرد سری و ۱۰ دوره زمانی برنامه‌ریزی بنابراین متغیرهای مسئله شامل توان مربوط به شارژ تانک هیدروژن از طریق الکترولایزر، دشارژ تانک از طریق پیل سوختی، توان انتقالی از پیل سوختی به شبکه سراسری، توان فتوولتائیک به تانک از طریق الکترولایزر، فتوولتائیک به کارخانه، وضعیت اولیه مصارف ایستگاه‌های کاری و وضعیت ثانویه مصرف واحدها با مشارکت در برنامه پاسخ بار باستی به فرم یک بعد در قالب ساختار موقعیت هر گرگ شکل دهی شوند تا توسط الگوریتم MOGWO با توجه به دو تابع هدف حداکثرسازی سود و کمینه‌سازی هزینه‌ها مطابق روابط (۱) و (۲) قادر به حل مسئله مدیریت انرژی شویم. یک نمونه جواب معادل یک موقعیت گرگ در الگوریتم گرگ خاکستری برای مدیریت هاب صنعتی مذکور شامل یک بردار سطی است که پنج متغیر توانی کارخانه نظیر P_{sp} ، $P_{s\ electro}$ ، P_{fcu} ، $P_{electro\ c}$ ، P_{fcd} که بعد هر یک از آنها در ساختار موقعیت هر گرگ ۱ در تعداد دوره‌های برنامه‌ریزی خواهد بود اما دو متغیر آخر یعنی u^*i و ui بترتیب وضعیت عملکرد در درصدی از ظرفیت نامی تحت شرایط مشارکت در پاسخ بار و عدم مشارکت می‌باشد که هر یک بردار ۱ در $n.T$ بعدی را تشکیل می‌دهند.

جدول ۱- یک بردار موقعیت در الگوریتم MOGWO

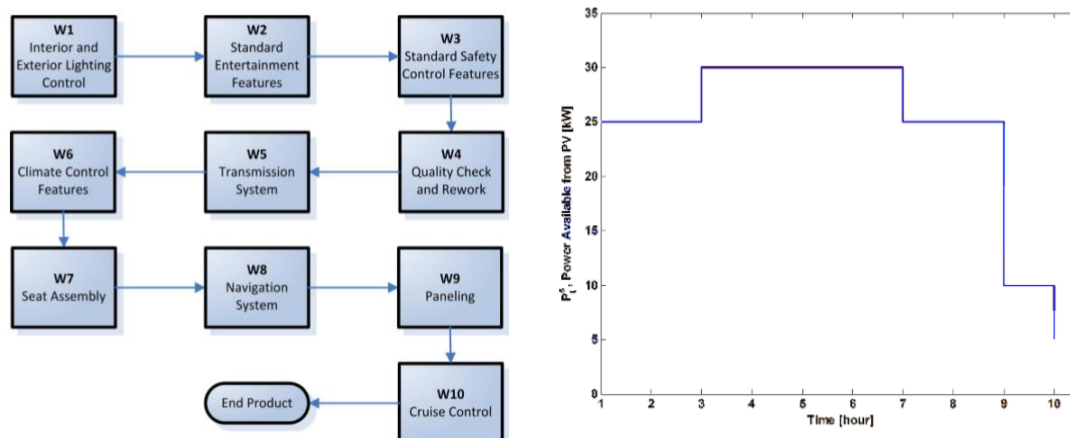
$P_{electro\ c}$	P_{fcd}	P_{fcu}	$P_{s\ electro}$	P_{sp}	ui	u^*i
------------------	-----------	-----------	------------------	----------	------	--------

در برنامه ریزی عملکرد بهینه کارخانه صنعتی از دو تابع هدف حداکثرسازی سود و کمینه‌سازی هزینه‌ها مطابق روابط (۱) و (۲) بمنظور حل چندین هدفه استفاده می‌شود. همان طور که اشاره شده است مسائل بهینه‌سازی چند هدفه بیش از یک تابع هدف دارند و روش‌های حل چند هدفه مجموعه‌ای از جواب‌ها را برای مدیریت بهینه عملکرد کارخانه صنعتی تولید می‌کنند که نسبت به هم برتری ندارند و این مجموعه را جواب بهینه پرتو می‌نامند. بدین ترتیب بردار تصمیم متعلق به مجموعه مجاز یک پاسخ پرتو است، اگر بردار تصمیم دیگری متعلق به مجموعه مجاز وجود نداشته باشد که بر آن غلبه کند. برای محاسبه توابع هدف $F1$ و $F2$ در مسئله مدیریت هاب توسط الگوریتم MOGWO بترتیب ذیل اقدام می‌شود. ابتدا یک مجموعه بردار موقعیت مثل ساختار جدول ۱ تولید نموده و کلیه قیود معادله و نامعادله مسئله از روابط (۳) و (۱۹) چک میشود تا جواب‌های اولیه تولید شده از محدوده مجاز قیود تخطی نداشته باشند در صورت اینکه شرایط قیود برقرار بود وارد مرحله بعد می‌شویم و اگر نه یک پناستی (ترم جریمه) برای این جواب‌ها در نظر می‌گیریم در ادامه الگوریتم چند هدفه گرگ خاکستری پس از محاسبه فیتنس $F1$ و $F2$ برای کلیه جمعیت‌های تولیدی اولیه روند زیر را در پیش می‌گیریم البته باید متذکر شد که برای جواب‌های اولیه نادرست مقدار فیتنس بسیار بزرگی ایجاد می‌شود که باعث می‌شود از نتایج خوب جدا شده و برای تشکیل جواب‌های بعدی در حل مسئله دور ریخته شوند. در مرحله بعد مرتب کردن جمعیت جدید بر اساس شرط‌های غلبه کردن و محاسبه فاصله ازدحامی انجام می‌شود. به محض این‌که جمعیت اولیه بر اساس شرط‌های غلبه کردن مرتب شد، مقدار فاصله ازدحامی در آن محاسبه خواهد شد و انتخاب بردار جواب از میان جمعیت اولیه آغاز می‌شود. این انتخاب بر اساس دو المان صورت می‌پذیرد. جمعیت‌ها از رتبه‌های بالا به پایین مرتب می‌شوند. با فرض این که q و p دو عضو از یک رتبه باشند، عضو انتخاب می‌شود که فاصله ازدحامی بیشتری دارد.

۴- مطالعات شبیه سازی و آنالیز نتایج عددی

به منظور اعتبارسنجی و تایید کارایی مدل چندین هدفه بهینه سازی مدیریت هاب صنعتی، مطالعات شبیه سازی بر روی یک کارخانه مونتاژ قطعات خودرو بکار گرفته شده است. شکل ۱ دیاگرام شماتیک ساختار کارخانه صنعتی و توان تابشی خورشید در

سایت کارخانه را تشریح می‌کند. ایستگاه‌های کاری به صورت سری ترتیب دهی شده است. مسئله مدیریت انرژی برای ۱۰ ساعت حل می‌شود و هر دوره برنامه ریزی معادل ۱ ساعت در نظر گرفته شده است. فرض شده است که روز کاری از ساعت ۸ صبح آغاز می‌شود تا ساعت ۶ عصر به پایان می‌رسد. اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های کاری در جدول ۲ به نمایش در آمده است.



شکل ۱- فلوچارت شماتیک کارخانه صنعتی و توان تابشی خورشید

سایت کارخانه دارای ذخیره ساز سیستم پیل سوختی برای انرژی الکتریکی است که اطلاعات فنی آن در جدول ۳ به نمایش در آمده است. ظرفیت تبادل با شبکه سراسری ۶۵۰ کیلووات در نظر گرفته شده است. اطلاعات توان تابشی در دسترس پیش‌بینی شده در سایت کارخانه شامل ۴ سطح متفاوت تابش در طی روز کاری می‌باشد. در جدول ذیل دیده می‌شود که ظرفیت سیستم ذخیره سازی پیل سوختی حداکثر ۲۰ کیلوواتی می‌باشد.

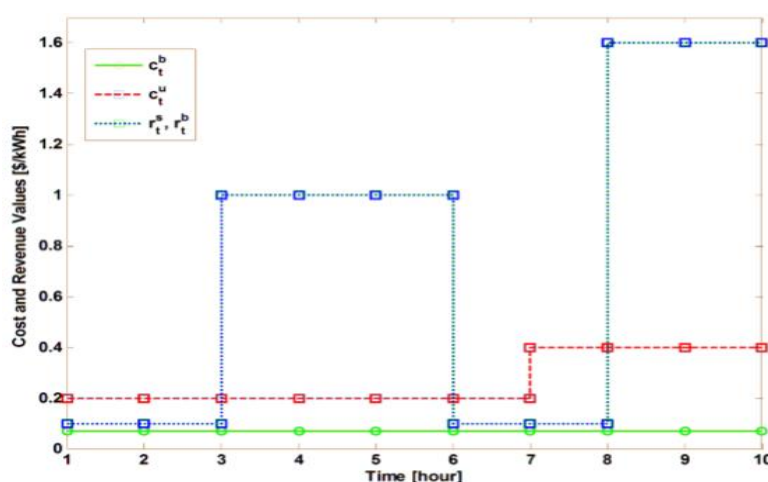
جدول ۲- اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های کاری کارخانه مونتاژ خودرو

Workstation	P_i (kW)	α_i	$I_i^{\min}$ (units)	$I_i^{\max}$ (units)
1	50	0.16	0	20
2	60	0.08	0	30
3	100	0.04	0	30
4	40	0.125	0	20
5	150	0.02	0	22
6	150	0.02	0	20
7	40	0.125	0	25
8	25	0.16	0	25
9	40	0.125	0	25
10	40	0.1	0	25

جدول ۳- اطلاعات فنی ذخیره‌ساز الکتریکی شیمیایی پیل سوختی

SOC^{FC_MIN}	SOC^{FC_MAX}	$SO^{FC_INITIAL}$	δ	$\eta^{ELECTRO_C}$	η^{FC_C}	P^{FC_MAX}
0.3	1	0.5	0.05	0.85	0.8	20

فرض شده است که تعداد قطعات مونتاژ شده خودرو در وضعیت مطلوب ۳۰ عدد است. هر واحد آن با قیمت ۳۰,۰۰۰ دلار فروخته می‌شود و هزینه هر مرتبه غیر ایدال بودن خروجی در کارخانه ۲۰۰۰ دلار است. بعلاوه، فرض شده است که در شروع روز همه ایستگاه‌های کاری به جز آخرین واحد حداقل دارای ۱۰ کالا برای شروع به کار هستند. شکل ۲ هزینه و درآمد ناشی از تبادلات توان را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که هزینه خرید انرژی الکتریکی از شبکه یک طرح قیمت گذاری در زمان پیک بحرانی دنبال می‌کند درحالی که درآمد حاصله از فروش انرژی به شبکه یک مدل شامل ۲ پیک را دنبال می‌کند. شبکه انرژی را با قیمت بالا در ساعات پیک بار خریداری می‌کند به هر حال تحت شرایط کم باری انرژی را باقیمت پایین خریداری می‌کند این نشان می‌دهد که چگونه مشتریان شارژ می‌شوند.



شکل ۲- هزینه و درآمد ناشی از تبادلات توان

هزینه انرژی فراهم شده توسط سیستم پیل سوختی ۰,۰۷ دلار به ازای هر کیلووات می‌باشد با توجه به اینکه با کاهش عمر سیستم پیل سوختی بواسطه سیکل‌های شارژ از طریق الکترولایزر و دشارژ از طریق پیل سوختی اضافی مرتبط است و هیچ هزینه‌ای برای سیستم فتوولتائیک در نظر گرفته نشده است. کدنویسی مدل پیشنهادی در نرم افزار متلب بر روی کامپوتر ۷ هسته‌ای با پردازشگر ۲,۴ گیگاهرتزی و حافظه جانبی ۸ گیگابایت انجام شده است. بنابراین، در ادامه کار سناریوهای مختلف ذیل مطالعه می‌شود و نتایج شبیه سازی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در پایان بخش به جمع بندی نتایج بدست آمده از مطالعات شبیه سازی مختلف می‌پردازیم.

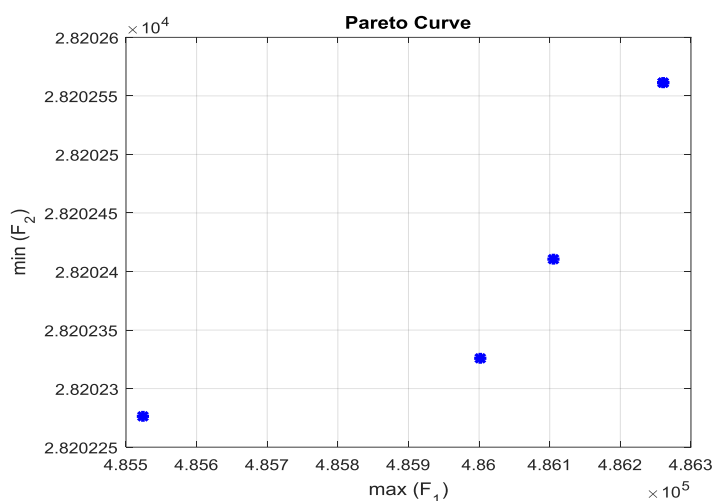
آزمایش ۱- مطالعه حالت پایه (CASE1)

آزمایش ۲- عدم مشارکت ذخیره ساز پیل سوختی در سایت کارخانه مونتاژ خودرو (CASE2)

آزمایش ۳- کاهش ارزش مشارکت در برنامه پاسخ بار برای کارخانه صنعتی مونتاژ خودرو (CASE3)

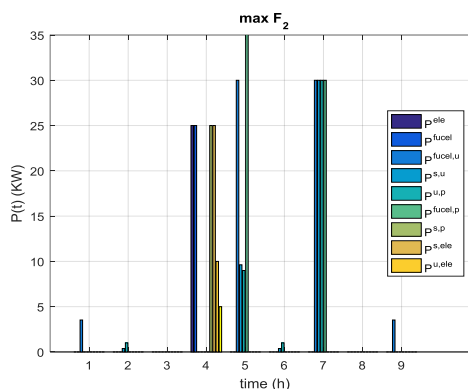
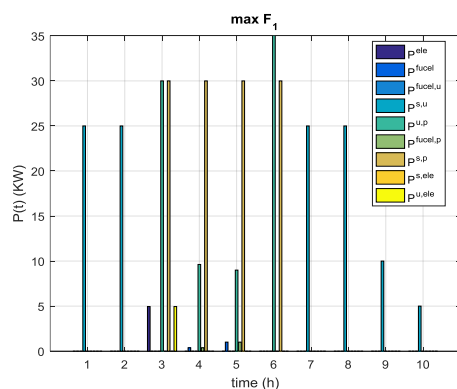
۴-۱- آزمایش ۱- مطالعه حالت پایه (case1)

برای مطالعه حالت پایه با استفاده از اطلاعات مفروض برنامه مدیریت هاب صنعتی در حضور منابع فتوولتائیکی و ذخیره ساز پیل سوختی با استفاده از الگوریتم چند هدفه گرگ خاکستری MOGWO انجام می‌شود. منحنی پارتو برای همگرایی به نتیجه نهایی با دو تابع هدف در شکل ۳ به نمایش در آمده است. نتایج برای هر یک از دو تابع هدف F1 و F2 بترتیب مجموع درآمدها و هزینه‌های کارخانه صنعتی را شامل می‌شود در جدول ۴ به نمایش در آمده است.

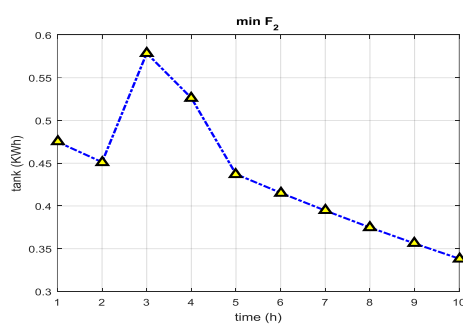
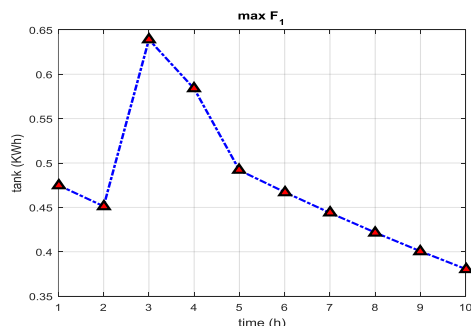


شکل ۳- برنامه ریزی بهینه مدیریت هاب صنعتی با استفاده از الگوریتم چند هدفه گرگ خاکستری MOGWO

متغیرهای مسئله بهینه سازی مدیریت هاب صنعتی مونتاژ خودرو شامل میزان شارژ و دشارژ ذخیره ساز پیل سوختی، تولید فتوولتاییکی برای تزریق به کارخانه، شبکه و ذخیره ساز و غیره با دو اولویت ماکزیمم درآمد و مینیمم سازی هزینه پس از حل توسط الگوریتم MOGWO در شکل ۴ به نمایش در آمده است. نتایج شبیه سازی انرژی ذخیره شده در بخش تانک هیدروژن ذخیره ساز الکتروشیمیایی سیستم پیل سوختی، برای دو اولویت هدف بر اساس بهینه یز تو در شکل ۵ به نمایش در آمده است.



شکل ۴- نتایج شبیه سازی بر اساس جبهه پرتو با توجه به اولویت هدف F1 و F2

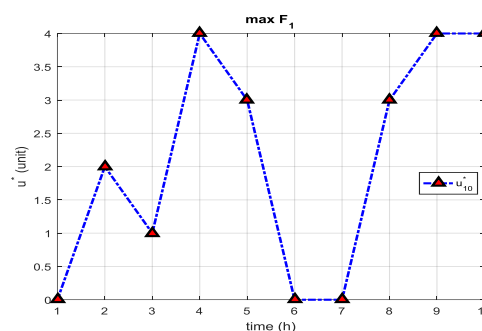
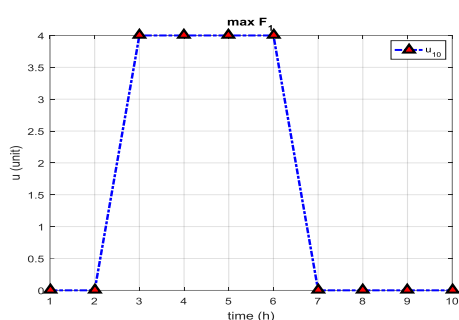


شکل ۵- سطح ذخیره سازی انرژی در تانک هیدروژن با توجه به اولویت هدف F1 و F2

جدول ۴- نتایج بهینه پارتو با توجه به اولویت هدف F1 و F2

اولویت هدف	مجموع هزینه	مجموع درآمد
F1	۲۸۲۰۲,۵۶۱	۴۸۶۲۶۰,۵۶۲۵
F2	۲۸۲۰۲,۲۷۶۶	۴۸۵۵۲۴,۱۵۶۳

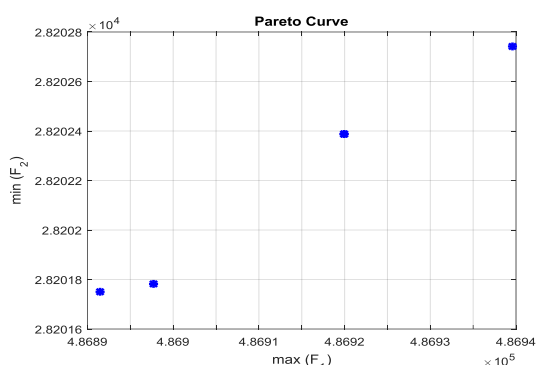
از مقایسه نتایج شبیه سازی با توجه به دو اولویت هدف در شکل فوق دیده می‌شود که ذخیره انرژی در تانک هیدروژن سیستم پیل سوختی در کلیه دوره به جز دوره اول برنامه ریزی تقریباً برای اولویت هدف سود F1 بیشتر از اولویت هدف F2 می‌باشد. نتایج برای دو متغیر مشارکت پاسخ بار و میزان کالا در ایستگاه آخر کاری با توجه به اولویت هدف برای دوره های اول و دوم به طور بهینه ۱ و برای سوم معادل ۴ و برای دوره های چهارم و پنجم معادل ۸ و ۱۲ و برای ششم تا دوره دهم معادل ۱۶ عدد شده است. برای میزان مشارکت کارخانه در برنامه پاسخ بار برای کلیه دوره ها با توجه به اولویت هدف کمینه سازی هزینه و ماکزیمم سازی نتایج برای مثال برای ایستگاه کاری ۱۰ مشابه بوده که در شکل ۶ به نمایش در آمده است.



شکل ۶- میزان مشارکت در پاسخ بار از طریق ایستگاه کاری ۱۰ کارخانه با توجه به اولویت‌های هدف F1 و F2

۴-۲- آزمایش ۲- عدم مشارکت ذخیره ساز پیل سوختی در سایت کارخانه مونتاژ خودرو (CASE2)

در این آزمایش عدم مشارکت ذخیره ساز الکتروشیمیایی پیل سوختی برای تبادلات توان در سایت با کارخانه مونتاژ خودرو و شبکه سراسری در نظر گرفته شده است. مدل پیشنهادی با استفاده از الگوریتم چندین هدفه MOGWO مورد حل قرار گرفته است. منحنی پارتو برای همگرایی به نتیجه نهایی عدم مشارکت ذخیره ساز پیل سوختی در تبادلات توان با کارخانه مونتاژ خودرو و شبکه سراسری با دو تابع هدف در شکل ۷ به نمایش در آمده است. معمولاً حضور ذخیره ساز بواسطه الزامات تامین تقاضا تحت شرایط عدم تولید از طریق منابع فتوولتائیک و اتصال شبکه سراسری است که پیامد حذف آن در برنامه ریزی مدیریت هاب صنعتی مونتاژ خودرو در واقع در صورت مناسب بودن قیمت تبادل انرژی با شبکه بالا دست افزایش درآمد و کاهش هزینه کل خواهد بود. بر اساس معیار پارتو نتایج برای هر یک از دو تابع هدف F1 و F2 بترتیب مجموع درآمدها و هزینه‌های کارخانه صنعتی را شامل می‌شود که با حذف مشارکت ذخیره ساز پیل سوختی در تبادلات توان در جدول ۵ به نمایش در آمده است.

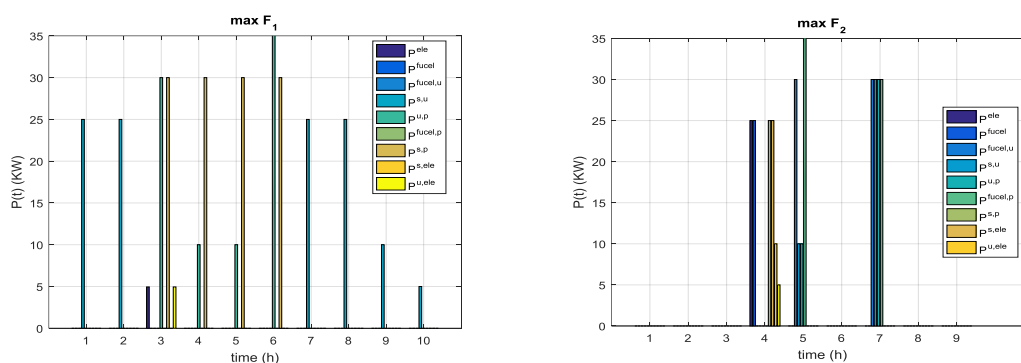


شکل ۷- برنامه ریزی بهینه مدیریت هاب صنعتی عدم مشارکت ذخیره ساز پیل سوختی در تبادلات توان با استفاده از الگوریتم MOGWO

جدول ۵- نتایج بهینه پارتو برای عدم مشارکت ذخیره ساز با توجه به اولویت هدف F1 و F2

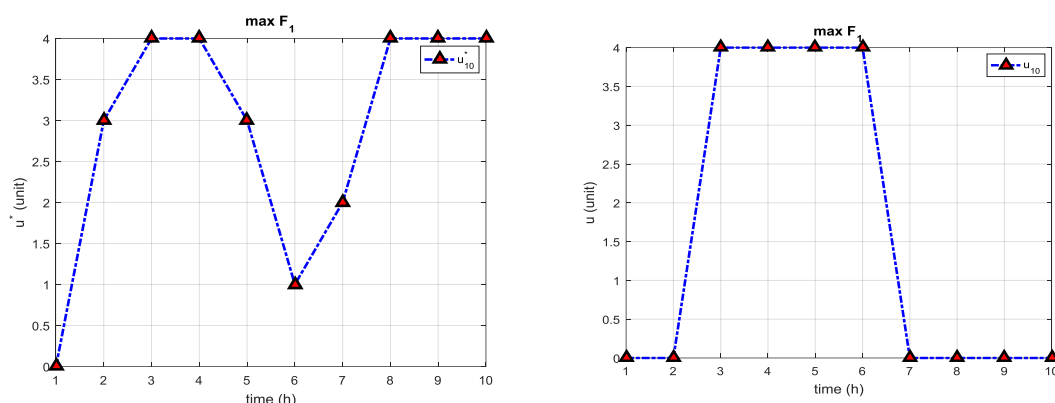
اولویت هدف	مجموع هزینه	مجموع درآمد
F1	۲۸۲۰۲,۷۴۰۰	۴۸۶۹۳۹,۶۲۵۰
F2	۲۸۲۰۱,۷۵	۴۸۶۸۹۱,۵۰

مطابق انتظار تغییر افزایشی در درآمد و تغییر کاهشی در هزینه برنامه ریزی مدیریت هاب قابل رویت است که البته میزان کم این تغییرات به دلیل ظرفیت پایین حداکثر ۲۰ کیلوواتی سیستم ذخیره ساز الکتروشیمیایی پیل سوختی می باشد. تحت شرایط جدید این بار متغیرهای مسئله بهینه سازی مدیریت هاب صنعتی مونتاژ خودرو شامل تولید فتوولتاییکی برای تزریق به کارخانه، شبکه و میزان توان خریداری شده کارخانه از شبکه سراسری بر اساس دو اولویت ماکزیمم درآمد و مینیمم سازی هزینه پس از حل توسط الگوریتم MOGWO در شکل ۸ به نمایش در آمده است.



شکل ۸- نتایج بهینه پارتو برای تولید و تبادلات سیستم فتوولتاییکی و میزان توان خریداری شده کارخانه از شبکه سراسری بر اساس دو اولویت ماکزیمم F1 و مینیمم سازی F2

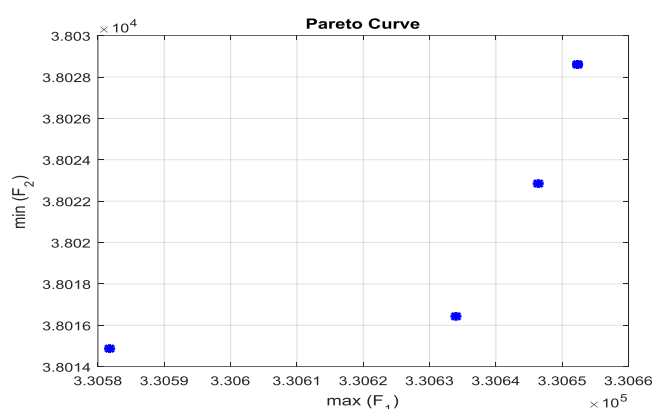
همان طور که از نتایج شبیه سازی دیده می شود مقادیر مشارکت سیستم ذخیره ساز در کلیه دوره های برنامه ریزی انرژی صفر شده است به میزان کمبود این ظرفیت فعالیت و مشارکت سیستم فتوولتاییک و شبکه سراسری در تامین و جذب انرژی از کارخانه مونتاژ خودرو افزایش داشته است از آنجایی که این روند با هزینه کمتری برای کارخانه دارد بنابراین سود حاصل شده از تبادلات توان را برای دو اولویت ماکزیمم F1 و مینیمم سازی F2 افزایش می دهد. اما در حالت کلی به طور بهینه نتایج تولید کالا برای ایستگاه کاری ۱۰ کارخانه در مقایسه با حالت پایه با توجه به معیار پارتو برای دو اولویت هدف هیچ تغییر نمی کند. اما، همان طور که انتظار می رود میزان مشارکت در پاسخ بار کارخانه در مقایسه با مطالعه حالت پایه دستخوش تغییر می گردد که برای ایستگاه کاری ۱۰ برای بهینه پارتو بر اساس دو اولویت هدف در شکل ۹ نمایش شده است.



شکل ۹- میزان مشارکت در پاسخ بار کارخانه بر اساس دو اولویت هدف تحت شرایط حذف مشارکت سیستم ذخیره‌ساز پیل سوختی در مدیریت هاب

۴-۴- آزمایش ۳: کاهش ارزش مشارکت در برنامه پاسخ بار برای کارخانه صنعتی مونتاژ خودرو (CASE3)

میزان در آمده کارخانه از مشارکت در برنامه پاسخ بار از ۱,۲۵ برابر قیمت تولید توان خورشید به ۰.۱۵ آن کاهش داده شده است. برنامه مدیریت هاب مونتاژ خودرو مجدداً از طریق الگوریتم چندین هدفه چند هدفه گرگ خاکستری MOGWO حل شده است و نتایج بهینه پارتو با توجه به اولویت هدف در شکل ۱۰ نمایش شده است. با کاهش ارزش مشارکت کارخانه در برنامه پاسخ بار نتایج بهینه پارتو برای هر یک از دو تابع هدف F_1 و F_2 بترتیب مجموع درآمدها و هزینه‌های کارخانه صنعتی در جدول ۶ به نمایش در آمده است.



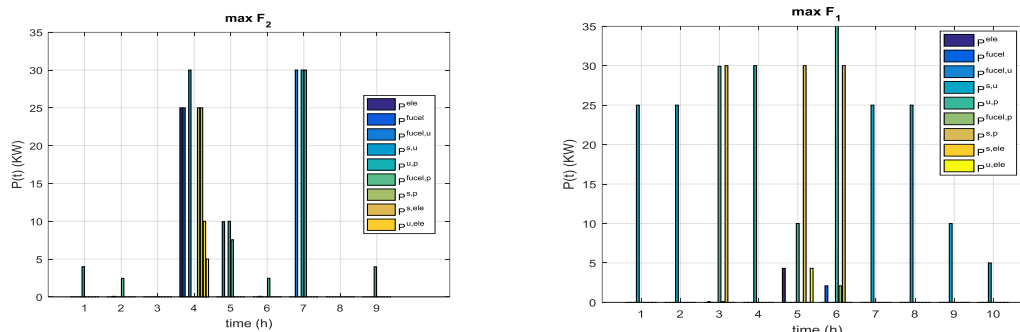
شکل ۱۰- نتایج بهینه پارتو با توجه به اولویت های هدف F_1 و F_2 با کاهش ارزش مشارکت کارخانه در برنامه پاسخ بار

جدول ۶- نتایج بهینه پارتو با توجه به اولویت هدف F_1 و F_2

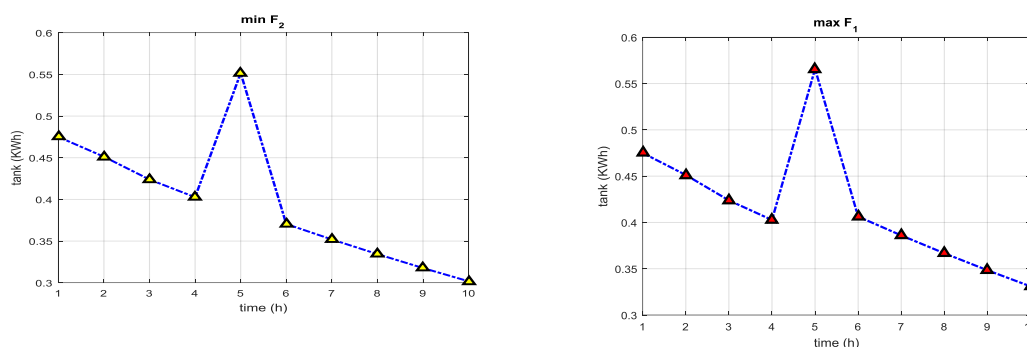
اولویت هدف	مجموع هزینه	مجموع درآمد
F_1	۳۸۰۲۸,۵۹۲۲	۳۳۰۶۵۲,۴۱۲
F_2	۳۸۰۱۴,۸۶۶	۳۳۰۵۸۱,۶۷۵

همان طور که از نتایج دیده می‌شود درآمد کارخانه مونتاژ خودرو بواسطه کاهش ارزش مشارکت در برنامه پاسخ بار در شبکه با کاهش درآمد چشمگیری مواجه شده است در حالی که متقابلاً افزایش هزینه های خود را تجربه می‌کند که البته مورد انتظار نیز می‌باشد زیرا با کاهش ارزش پاسخ بار برای کارخانه انعطاف در برنامه ریزی و مدیریت انرژی کاهش یافته در نتیجه هزینه ها افزایش می‌یابند. با کم‌رنگ شدن و کم اثر شدن فعالیت پاسخ بار کارخانه در درآمد و هزینه ها تحت شرایط جدید شکل ۱۱ متغیرهای

مسئله بهینه‌سازی مدیریت هاب صنعتی مونتاژ خودرو را بر اساس دو اولویت ماکزیمم سازی درآمد $F1$ و مینیمم‌سازی هزینه های تولید $F2$ پس از حل توسط الگوریتم MOGWO نشان می‌دهد.

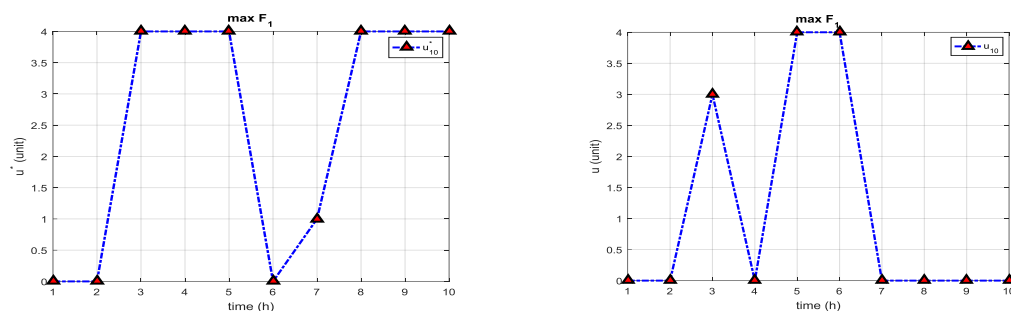


شکل ۱۱- نتایج بهینه برای مدیریت هاب صنعتی مونتاژ خودرو با کاهش ارزش مشارکت در فرآیند پاسخ بار کارخانه
 مطابق انتظار با توجه به کاهش ارزش مشارکت در پاسخ بار دیده می‌شود که ذخیره ساز پیل سوختی مشارکت بیشتری در تامین نیاز هاب داشته ضمن اینکه مصارف قادر به کاهش در دوره های پیک بار شبکه و شیفت آن به دوره‌های دیگر نیستند در نتیجه شرایط جدید بهره‌برداری منجر به افزایش هزینه‌ها و کاهش در آمد کارخانه مونتاژ خودرو خواهد شد. نتایج شبیه‌سازی بهینه پارتو برای سطح انرژی ذخیره شده در بخش تانک هیدروژن ذخیره ساز الکتروشیمیایی سیستم پیل سوختی در دوره های مختلف برنامه‌ریزی برای دو اولویت هدف بر اساس بهینه پرتو در شکل ۱۲ به نمایش در آمده است.



شکل ۱۲- نتایج بهینه پارتو برای سطح انرژی ذخیره شده در بخش تانک هیدروژن ذخیره ساز الکتروشیمیایی سیستم پیل سوختی در دوره های مختلف برنامه‌ریزی با توجه به اولویت های $F1$ و $F2$

همان طور که از نتایج دیده می‌شود چه با اولویت سود و چه با اولویت هزینه ذخیره ساز طی ۱۰ دوره به جز دوره ۵ برای مابقی دوره ها در وضعیت دشوار به طور مشابه با دو مطالعه پیشین برنامه‌ریزی می‌شود این در حالی است که کلا سطح انرژی ذخیره شده در تانک هیدروژن برای تمام دوره ها با اولویت هدف $F1$ اندکی بیشتر از اولویت هدف $F2$ می‌باشد و در مقایسه با مطالعه حالت پایه کاهش نشان می‌دهد. میزان خروجی کالای تولید شده برای ایستگاه کاری دهم مشابه برای دو اولویت هدف و به صورت ذیل می‌باشد در دوره های ۱ و ۲ معادل صفر و برای دوره های سوم و چهارم برابر ۳ و برای دوره پنجم معادل ۷ و برای دوره های ۶ تا ۱۰ معادل یازده عدد کالا می‌باشد. تحت شرایط کاهش از ارزش مشارکت در پاسخ بار برای کارخانه میزان آن در مقایسه با مطالعه حالت پایه دستخوش تغییر می‌گردد که برای ایستگاه کاری دهم برای بهینه پارتو بر اساس دو اولویت هدف به طور مشابه در شکل ۱۳ نمایش شده است.



شکل ۱۳- مشارکت در پاسخ بار برای کارخانه مونتاژ خودرو با توجه به کاهش ارزش آن توسط الگوریتم چند هدفه گرگ خاکستری MOGWO

نتیجه‌گیری

در این مقاله پروژه مدلسازی چندین هدفه مدیریت هاب صنعتی در حضور ذخیره ساز پیل سوختی و پاسخ بار با بکارگیری مطالعات شبیه‌سازی مورد اعتبارسنجی واقع شد و سه آزمایش ترتیب داده شده است که در آزمایش ۱ مطالعه حالت پایه، در آزمایش ۲ تاثیر عدم مشارکت ذخیره‌ساز پیل سوختی در سایت کارخانه مونتاژ خودرو و در آزمایش ۳ تاثیر کاهش ارزش مشارکت در برنامه پاسخ بار برای کارخانه صنعتی مونتاژ خودرو بر روی متغیرهای مسئله ما یعنی توان تبادلی ذخیره ساز با کارخانه و شبکه و پاسخ بار و توان خریداری شده از شبکه مورد بحث و بررسی قرار داده‌ایم. نتایج نشان داده که با کاهش مقادیر مشارکت سیستم ذخیره‌ساز در کلیه دوره‌های برنامه‌ریزی به میزان کمبود این ظرفیت فعالیت و مشارکت سیستم فتوولتائیک و شبکه سراسری در تامین و جذب انرژی از کارخانه مونتاژ خودرو افزایش می‌یابد و از آنجایی که این روند هزینه کمتری برای کارخانه دارد بنابراین سود حاصل شده از تبادلات توان را برای دو اولویت ماکزیمم سود و مینیمم‌سازی هزینه افزایش می‌دهد. بعلاوه باید متذکر شد که مطالعات موردی نشان داده که درآمد کارخانه مونتاژ خودرو بواسطه کاهش ارزش مشارکت در برنامه پاسخ بار در شبکه با کاهش درآمد چشمگیری مواجه شده است در حالی که متقابلاً افزایش هزینه‌های خود را تجربه می‌کند که البته مورد انتظار نیز می‌باشد زیرا با کاهش ارزش پاسخ بار برای کارخانه انعطاف در برنامه ریزی و مدیریت انرژی کاهش یافته در نتیجه هزینه‌ها افزایش می‌یابند.

مراجع

1. K.P. Papalexandri, E.N. Pistikopoulos, and B. Kalitventzeff, "Modelling and optimization aspects in energy management and plant operation with variable energy demands-application to industrial problems," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 22, no. 9, pp. 1319–1333, 1998.
2. L. Merkert, I. Harjunkoski, A. Isaksson, S. Synevirta, A. Saarela, and G. Sand, "Scheduling and energy industrial challenges and opportunities," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 72, pp. 183–198, 2015.
3. D.Q. Hung, N. Mithulananthan, and R. Bansal, "An optimal investment planning framework for multiple distributed generation units in industrial distribution systems," *Applied Energy*, vol. 124, no. 1, pp. 62–72, 2014.
4. R. M. Ciric and N. Rajakovic, "A new composite index of reliability of supply in the industrial systems with distributed generation," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 44, no. 1, pp. 824–831, 2013.
5. T. Ackermann, G. Andersson and L. Söder, "Distributed Generation: A Definition," *Electric Power Systems Research*, vol. 57, pp. 195–204, 2001.
6. F.A. Farret and M.G. Simões, *Integration of Alternative Sources of Energy*, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2006.
7. M.M. El-Metwally, M.S. El-Sobki, H.A. Attia and S.A. Wahdan, "Priority Ranking of Industrial Loads and Application of Demand Side Management Technique," in Proc. *International Middle East Power Systems Conference*, El-Minia, Egypt, Dec. 2006, pp. 341–346.
8. Subramanian, M. Garcia, A. Domínguez-García, D. Callaway, K. Poola and P. Varaiya, "Real-Time Scheduling of Deferrable Electric Loads," in Proc. *American Control Conference*, Montreal, Quebec, Canada, Jun. 2012, pp. 3643–3650.
9. M.L. Della Vedova and T. Facchinetti, "Real-Time Scheduling for Industrial Load Management," in Proc. *IEEE EnergyCon Conference and Exhibition*, Florence, Italy, Sept. 2012, pp. 707–713.
10. G. O'Brien and R. Rajagopal, "A Method for Automatically Scheduling Notified Deferrable Loads," in Proc. *American Control Conference*, Washington, DC, USA, Jun. 2013, pp. 5087–5092.
11. R. Dobrin, G. Fohler and P. Puschner, "Translating Off-line Schedules into Task Attributes for Fixed Priority Scheduling," in Proc. *IEEE Real-Time Systems Symposium*, London, UK, Dec. 2001, pp. 225–234.
12. K. Collins, M. Mallick, G. Volpe and W.G. Morsi, "Smart Energy Monitoring and Management System for Industrial Applications," in Proc. *IEEE Electrical Power and Energy Conference*, London, Canada, Oct. 2012, pp. 92–97.
13. S. Bahrami, F. Khazaeli and M. Parniani, "Industrial Load Scheduling in Smart Power Grids," in Proc. *International Conference on Electricity Distribution*, Stockholm, Sweden, Jun. 2013.
14. S. Mohagheghi, J. Stoupis, Z. Wang, Z. Li and H. Kazemzadeh, "Demand Response Architecture – Integration into the Distribution Management System," In Proc. *1st IEEE International Conference on Smart Grid Communications*, Gaithersburg, MD, USA, Oct. 2010, pp. 501–506.
15. J.G. Roos and I.E. Lane, "Industrial Power Demand Response Analysis for One-Part Real-Time Pricing," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 13, no. 1, pp. 159–164, Feb. 1998.
16. Y. Tang, F. Xu, and L. Chen, "Research into Possibility of Smart Industrial Load Participating into Demand Response to Supply the Power System," in Proc. *China International Conference on Electricity Distribution*, Nanjing, China, Sept. 2010.
17. Y. Chen, K.W. Li and S.F. Liu, "A Comparative Study on Multicriteria ABC Analysis in Inventory Management," in Proc. *IEEE Intl. Conf. on Man, Mach. and Cybernetics*, Singapore, Oct. 2008, pp. 3280–3285.
18. S. Mohagheghi and N. Raji, "Intelligent Demand Response Scheme for Energy Management of Industrial Plants," in Proc. *IEEE IAS*, Las Vegas, NV, USA, Oct. 2012.
19. S. Ghosh and R.J. Gagnon, "A Comprehensive Literature Review and Analysis of the Design, Balancing and Scheduling of Assembly Systems," *International Journal of Production Research*, vol. 27, no. 4, pp. 637–670, 1989.
20. Delfino, F. Croce, P.A. Fazzini, S. Massucco, A. Morini, F. Silvestro and M. Sivieri, "Operation and Management of the Electric System for Industrial Plants: An Expert System Prototype for Load-Shedding Operator Assistance," in Proc. *IEEE IAS*, Rome, Italy, Aug. 2000, pp. 3260–3268.
21. Seyealimirjalili, Seyed Mohamad Mirjalali and Andrew Lewis, "Grey Wolf Optimizer," *advances in engineering software*, vol. 69, pp. 46–61, 2014.

بهبود فرآیند کار در بین کارکنان بانک صادرات با سنجش رابطه آن و نیازهای شغلی کارکنان با توجه به اهداف کلان بانک صادرات (سرپرستی شمال تهران)

سحر دلیری^۱، مسعود پیردستان^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران

Sahar.daliri959@yahoo.com

۲- عضو باشگاه دانش پژوهان جوان و نخبگان، دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران

Ma.pirdastan@yahoo.com

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی رابطه بین نیازهای شغلی و بهبود فرایند کار در کارکنان بانک صادرات سرپرستی شمال تهران و ارائه چارچوب مفهومی مناسب انجام گرفت. برای پاسخ به پرسش اصلی پژوهش، با بررسی ادبیات موجود در حوزه نیازهای شغلی و بهبود فرایند کار پنج فرضیه با متغیر مستقل نیازهای شغلی که شامل مؤلفه‌های (نیازهای فیزیولوژیک، نیازهای ایمنی، نیازهای اجتماعی، نیازهای احترام و نیازهای خودشکوفایی) و وابسته بهبود فرایند کار تدوین شد. این تحقیق با روش توصیفی - همبستگی انجام شد. جامعه آماری این تحقیق تعداد ۱۶۰ نفر از کارکنان بانک صادرات استان تهران در سال ۱۳۹۷ می باشند. حجم نمونه با استفاده از جدول کرجی و مورگان ۱۱۳ نفر بود که این تعداد نمونه به روش نمونه‌گیری تصادفی - طبقه‌ای و خوشه‌ای تعیین شده‌اند. ابزار گردآوری اطلاعات شامل دو پرسشنامه، پرسشنامه نیازهای شغلی در قالب ۶۴ سؤال بسته پاسخ برای مؤلفه‌های نیازهای فیزیولوژیک، نیازهای ایمنی، نیازهای اجتماعی، نیازهای احترام و نیازهای خودشکوفایی و پرسشنامه بهبود فرایند کار که متشکل از ۲۴ سؤال بسته می‌باشد. نتایج حاصل از آزمون ضریب همبستگی پیرسون رابطه مثبت و معناداری را بین متغیرهای مستقل نیازهای شغلی و وابسته بهبود فرایند کار کارکنان نشان داد و از این ارتباط معنادار بودن پرسشنامه بهبود فرایند کار و با توجه به نظر کارشناسان و مدیران ارشد بانک صادرات، معیارهای این پرسشنامه هم‌راستای اهداف کلان بانک مرکزی صادرات می‌باشد. لذا با در نظر گرفتن این اهداف بعنوان گزینه‌های انتخاب ملاک‌های اصلی جهت بهبود فرایند کار، از روش FAZZY AHP اقدام به انتخاب شاخص‌های این پژوهش جهت سیاست‌های آتی بانک نموده‌ایم.

واژگان کلیدی: بهبود فرایند کار، نیازهای فیزیولوژیک، نیازهای ایمنی، نیازهای اجتماعی، نیازهای احترام و نیازهای خودشکوفایی.

۱-مقدمه

بانک ها و اغلب بنگاه های اقتصادی برای بقاء در عرصه رقابت ناچار از خلق روش ها و مزیت هایی هستند که توسط آن ها بتوانند کالا و خدمات خود را به اقشار بیشتری از جامعه ارائه و از این راه به سودآوری و تولید پول برای صاحبان سهام دست یابند و ثروت سهامداران را به حداکثر رسانند. در این بین ایجاد نگرشی جدید در بانکداری از اهمیت بالایی برخوردار می باشد (پیردستان، ۱۳۹۶). با توجه به پیشرفت‌های سریعی که انسان‌ها در زمینه‌های مختلف به دست آورده‌اند، هنوز مطالعات مربوط به انسان و یافته‌های آن نقاط مبهم فراوانی دارد شخصیت آدمی به کوه یخ شناوری تشبیه شده که قسمت عمده آن پنهان زیر آب است. به گفته گیدنز (۲۰۰۹) مطالعه خودمان پیچیده‌ترین و دشوارترین کاری است که می‌توانیم انجام دهیم. امروزه منابع انسانی

به عنوان منبعی استراتژیک در سازمان نقش مهمی در موفقیت‌ها و شکست‌های سازمانی دارند، پس بررسی رفتارهای فرد ضروری است زیرا رفتارهای فردی است که رسیدن به اهداف را میسر می‌سازد.

کشورها سخت در تلاش هستند تا با ایجاد نظام‌های آماده‌سازی افراد برای اشتغال، منابع خود را مورد استفاده بهینه قرار دهند. در حقیقت همه افراد حتی مردم کشورهای در حال توسعه به شرطی می‌توانند در بازار کار رقابت کنند که در کاربرد تکنولوژی‌های نوین مهارت داشته و از مهارت‌های تخصصی جهت نیازهای شغل برخوردار باشند. لذا براساس ماده ۲۱ قانون برنامه پنجم توسعه، سازمان آموزش فنی و حرفه‌ای به عنوان اصلی‌ترین دالان مهارت‌آموزی نیروی کار و ارائه دهنده آموزش‌های غیررسمی در زمینه افزایش مهارت، توانمندسازی و دانش مطابق با فناوری روز در کشور شناخته شده است.

مدیریت نیازها، مدیریت رفتارهای کارکنان است و می‌توان بر مبنای آن سیستم‌های پاداش و دستمزد، فرآیندهای انتخاب، برنامه‌ریزی‌های توسعه انسانی و نیازهای شغل و... را پایه‌گذاری کرد. فردی که نیازهایش با نیازهای سازمانی سازگاری بیشتری داشته باشد تعهد سازمانی و وابستگی شغلی سازمانی‌اش بیشتر خواهد بود در نتیجه مشارکت‌های وی در فعالیت‌های سازمانی جنبه فعالانه‌تر و اثربخش‌تر به خود می‌گیرد و این روند می‌تواند به توانمندسازی کارکنان و نهایتاً بهره‌وری سازمانی بیانجامد. (سعادت، ۱۳۸۸).

توانمندسازی کارکنان یکی از تکنیک‌های مؤثر برای نیازهای شغل کارکنان و استفاده بهینه از ظرفیت و توانایی‌های فردی و گروهی آنها در راستای اهداف سازمانی است. توانمندسازی فرآیندی است که در آن از طریق توسعه و گسترش نفوذ و قابلیت افراد و تیم‌ها به بهبود و بهسازی مستمر عملکرد کمک می‌شود. به عبارت دیگر توانمندسازی یک راهبرد توسعه و شکوفایی سازمانی است. در این پژوهش با یک رویکرد کاربردی به مفهوم نیازهای شغل و توانمندسازی کارکنان به توضیح و تبیین ابعاد این مفهوم پرداخته شده است. تعاریف، ویژگی‌های سازمانی کارکنان توانمند، عوامل مؤثر برای نیازهای شغل و توانمندسازی دستاوردها و موانع موجود در سازمان‌ها مقولاتی است که در این نوشتار به آن پرداخته شده است. در این پژوهش سعی بر این بوده است که با پرهیز از بحث‌های پراکنده و حاشیه‌ای برای سازمانی که مدیریت آن در صدد بهبود توانایی‌های کارکنان خویش است، چارچوب‌ها و روش‌های دستیابی به این هدف تبیین شود.

۲- مبانی نظری پژوهش

۲-۱- **نیازهای شغلی:** نیازهایی که در سازمان به صورت پرداخت حقوق و مزایا و امکانات رفاهی، ایجاد امنیت شغلی و مقررات حمایتی، تشکیل گروههای رسمی و غیررسمی در محیط کار، قائل شدن حرمت برای فرد و کار او در مراتب مختلف سازمان و ایجاد امکانات برای شکوفایی توانایی بالقوه افراد ارضا می‌شود (رضائیان، ۱۳۷۹).

۲-۲- **کارکنان:** کارکنان یا پرسنل یک مؤسسه یا شرکت به گروه و یا افرادی گویند که در استخدام آن مؤسسه بوده و می‌توانند به ازای کار خود دستمزد دریافت کرده یا نکنند. ارتباط کارکنان با محل کارشان انواع مختلفی دارد مانند استخدام رسمی، استخدام پیمانی، قرارداد ساعتی، قرارداد پیمانکاری، روزمزد، مشارکتی یا درصدی و... (سعادت، ۱۳۸۵).

۲-۳- **بهبود فرایند کار:** به معنی تصور ذهنی و درک و برداشت کارکنان یک سازمان از مطلوبیت فیزیکی و روانی محیط کار خود است (معدنی پور، ۱۳۸۱).

۲-۴- **نیازهای فیزیولوژیک:** نیاز به غذا، لباس، خواب و پناهگاه، یا نیازهای فیزیولوژیکی توسط مازلو به عنوان نیازهای بقاء یا نیازی های سطح پایین توصیف شده‌اند. هنگامی که اقتصاد قوی است و بیشتر افراد دارای شغل هستند، این نیازهای اساسی به ندرت بر فرد چیره می‌شوند زیرا به طور معقول ارضاء شده‌اند. اما نیازی به گفتن نیست؛ افرادی که نمی‌توانند بقاء خود و خانواده‌شان را تضمین کنند یا بی‌خانمان هستند، این نیاز اساسی را در رأس فهرست اولویت‌ها قرار می‌دهند (ساعتچی، ۱۳۸۰).

۲-۵- **نیازهای ایمنی:** میل افراد به نظم، پیش‌بینی‌پذیری و آزادی از تهدیدها در نیازهای ایمنی و امنیت منعکس شده است. نیازهای ایمنی اغلب بر حفاظت در مقابل صدمات فیزیکی متمرکز است. در شغل به معنی تضمین شرایط کاری ایمن است. اتحادیه‌ها یا گروه‌های کارکنان می‌توانند به کارفرمایان اطمینان دهند که استانداردهای ایمنی را برقرار داشته و خطر حوادث یا جراحات ناشی از مخاطرات کاری را کاهش می‌دهند (ساعتچی، ۱۳۸۰).

۶-۲- **نیازهای اجتماعی:** نیازهای اجتماعی و تعلق با سلامتی ذهنی و هیجانی دست و پنجه نرم می‌کنند. پژوهش نشان داده که نیاز به عاطفه، برای حس تعلق، و برای همانندسازی با گروه، نیازی قوی است. دو جنبه اصلی از نیاز به تعلق وجود دارد: تعاملات مثبت و مکرر با افراد مشابه و چارچوب با ثبات، ملاحظه و مواظبت دراز مدت (ساعتچی، ۱۳۸۰).

۷-۲- **نیازهای احترام:** عزت نفس، اصطلاحی است که چگونگی احساس شما درباره خودتان را توصیف می‌کند. نیازهای احترام به حرمت نفس فرد و قدردانی و احترامی که از جانب دیگران دریافت می‌کند، ارتباط دارد (ساعتچی، ۱۳۸۰).

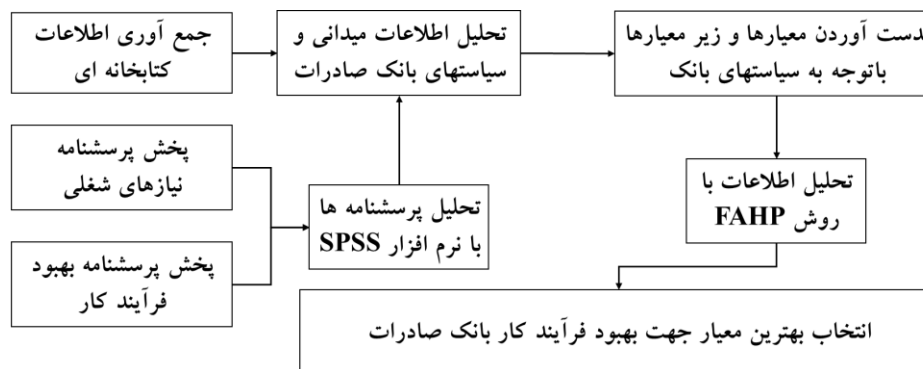
۸-۲- **نیازهای خود شکوفایی:** نیازهای خود شکوفایی، نیاز به رشد را بازنمایی می‌کنند و افراد را از طریق حضورشان بر می‌انگیزند. خود شکوفایی یعنی افراد به عنوان نوع بشر، پتانسیل‌شان را عملی می‌کنند یا کاملترین گنجایش خود را تحقق می‌بخشند (ساعتچی، ۱۳۸۰).

۹-۲- **فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی:** روش‌شناسی FAHP براساس مفهوم تئوری مجموعه فازی - که توسط پروفیسور لطفی‌زاده در ۱۹۶۵ ارائه کرد - بنا نهاده شده است. فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، AHP «ساعتی» را از رهگذر ترکیب آن با تئوری مجموعه فازی بسط می‌دهد. در AHP فازی، بعد از ایجاد ساختار سلسله مراتبی برای مسأله‌ای که باید حل شود، برای نشان دادن اهمیت نسبی عوامل متناظر با معیارها از مقیاس‌های نسبی فازی استفاده می‌شود. به این ترتیب، یک ماتریس قضاوت فازی ساخته می‌شود، امتیازات نهایی گزینه‌ها توسط اعداد فازی ارائه می‌گردند، و گزینه بهینه از رهگذر رتبه‌بندی اعداد فازی با استفاده از عملگرهای جبری خاص به دست می‌آید (دوران و آگویلو، ۲۰۰۸).

۳- مدل مفهومی تحقیق

پژوهش حاضر، برای استفاده از مدل پیشنهادی جهت انتخاب معیارهای بهبود فرآیند کارکنان در بانک صادرات با توجه به نیازهای شغلی کارکنان، انجام شده و محاسبات مربوطه با استفاده از مدل AHP فازی پیشنهادی صورت گرفته است. شاخص‌های اصلی و فرعی جهت استفاده در مدل تعیین گردیده، سپس پرسشنامه، برای بدست آوردن داده‌های تحقیق استفاده شده است. به همین منظور پرسشنامه در بین کارکنان شاغل در شعب مختلف منطقه شمال استان تهران پخش می‌شود.

نمودار ۱- مدل مفهومی تحقیق



۴- روش و نوع تحقیق

در پژوهش پیش‌رو در مرحله اول اطلاعات کافی راجع به موضوع مورد بررسی از طریق مطالعه (مطالعات کتابخانه‌ای) و ارائه روشی به جهت تعیین معیارهای انتخاب بهبود فرآیند کار در بانک صادرات جمع‌آوری می‌شود و در مرحله بعد با تدوین پرسشنامه از طریق اطلاعات حاصل شده از مطالعات، با توجه به شرایط جامعه آماری در نظر گرفته شده پرداخته و سپس در مرحله بعد با مصاحبه و در اختیار قرار دادن پرسشنامه برای تعداد نمونه انتخابی (تحقیقات میدانی) به تجزیه و تحلیل اطلاعات توسط ماتریس‌های مقایسات زوجی، اوزان الویت شاخص‌ها و سپس با استفاده از روش FAHP پرداخته می‌شود.

۵-جامعه و نمونه آماری

در این پژوهش جهت گردآوری اطلاعات از پرسشنامه مقیاسات زوجی استفاده خواهد شد به طوریکه برای تنظیم سؤالات پرسشنامه از پرسشنامه‌های استاندارد تأیید شده استفاده می‌شود و همچنین از مدیران ارشد شعب بانک‌های صادرات شمال تهران، جهت تدوین زیرشاخص‌های تصمیم‌گیری روند بهبود فرآیند کار بانک مصاحبه حضوری و نیز تلفنی صورت گرفته شده. پس از در نظر گرفتن مجموع نظرات آنها، پرسشنامه مابین کارکنان شعب بانک صادرات (بین افراد نمونه که بر اساس جدول مورگان تعداد ۱۶۰ نفر بود) توزیع گردید. شایان ذکر می‌باشد که حجم نمونه اولیه ۲۰۰ پرسشنامه بوده که از این رو براساس جدول برگرفته از کرجسی و مورگان تعداد نمونه کافی برای جامعه‌ی ۱۶۰ نفر با سطح اطمینان ۹۵٪ و خطای نمونه‌گیری ۵٪ برابر با ۱۱۳ تعیین شده است. شیوه نمونه‌گیری تصادفی، طبقه‌ای و خوشه‌ای می‌باشد. بدین صورت که ابتدا تمامی شعب شمال استان تهران برحسب موقعیت جغرافیایی به سه خوشه شمال غرب، شمال و شمال شرق تقسیم، در مرحله دوم از هر موقعیت دو منطقه به صورت تصادفی انتخاب و در مرحله سوم از هر منطقه چند شعبه انتخاب شدند ۱۶۰ پرسشنامه سالم و قابل بررسی بودند و به محقق برگشت شده است.

۶-روش گردآوری اطلاعات

برای اجرا هر نوع تحقیق، داده‌هایی جمع‌آوری می‌شود که با استفاده از آنها، فرضیه‌ها مورد آزمون قرار می‌گیرند. برای جمع‌آوری داده‌ها، ابزارها و شیوه‌های متعددی وجود دارد که هر کدام از آنها داده‌ها را با روش‌های مشخص از نظر کیفی و کمی توصیف کرده و برای نوع معینی از داده‌ها مناسب هستند. کار جمع‌آوری اطلاعات و آمار مورد نیاز تحقیق حاضر مشتمل بر دو بخش انجام یافت: بخش اول: بررسی نظری و تئوریک موضوع تحقیق و مطالعه نتایج تحقیقات مشابه انجام یافته می‌باشد. که در این بخش با استفاده از روش کتابخانه‌ای (کتاب‌ها، مجلات علمی، پایان نامه‌ها و شبکه اینترنت و ...) و بررسی اسناد و مدارک موجود صورت پذیرفت و اطلاعات جمع‌آوری شده است.

بخش دوم: گردآوری اطلاعات مورد نیاز با بکارگیری ابزار پژوهش از نوع پرسشنامه منظم، در قالب انجام عملیات میدانی و توزیع و تکمیل پرسشنامه‌ها میان افراد نمونه تحقیق، انجام گرفت.

هنگامی که پژوهشگر دقیقاً می‌داند در پی چیست و چگونه باید متغیرهای خود را اندازه‌گیری کند. پرسشنامه ابزاری کارآمد برای گردآوری اطلاعات به شمار می‌رود. در این پژوهش برای گردآوری اطلاعات و داده‌ها از دو پرسشنامه:

۱. پرسشنامه نیازهای شغلی: در قالب ۶۴ سؤال بسته و با استفاده از طیف لیکرت (خیلی زیاد، زیاد، تاحدودی، کم و

خیلی کم) استفاده شده است (منبع: اصغری پور، ۱۳۷۳).

جدول ۳-۳. ساختار پرسشنامه نیازهای شغلی

ردیف	متغیر مورد سؤال	تعداد گویه	گویه های پرسشنامه	نوع مقیاس
۱	نیاز های فیزیولوژیک	۱۰	۱-۱۰	ترتیبی (رتبه ای)
۲	نیاز های ایمنی	۱۶	۱۱-۲۶	ترتیبی (رتبه ای)
۳	نیاز های اجتماعی	۱۲	۲۷-۳۸	ترتیبی (رتبه ای)
۴	نیاز های احترام	۱۵	۳۹-۵۳	ترتیبی (رتبه ای)
۵	نیاز های خودشکوفایی	۱۱	۵۴-۶۴	ترتیبی (رتبه ای)

۲. پرسشنامه بهبود فرایند کار: در قالب ۲۴ سؤال بسته و با استفاده از طیف لیکرت (کاملاً مخالفم، مخالفم، نظری ندارم، موافقم و کاملاً موافقم) استفاده شده است. (منبع: اصغری پور، ۱۳۷۳).

جدول ۳-۴. ساختار پرسشنامه بهبود فرایند کار

ردیف	متغیر مورد سؤال	تعداد گویه	گویه های پرسشنامه	نوع مقیاس
۱	پرداخت منصفانه و کافی	۷	۱-۷	ترتیبی (رتبه ای)
۳	قانون گرایی در سازمان	۹	۸-۱۷	ترتیبی (رتبه ای)
۴	توسعه قابلیت های انسانی	۷	۱۷-۲۴	ترتیبی (رتبه ای)

۷- روایی و پایایی پرسشنامه

روایی ابزار توسط متخصصان و صاحب نظران در حوزه جامعه شناسی، روانشناسی و مدیریت رفتار سازمانی مورد تأیید قرار گرفته و پایایی ابزار به روش آلفای کرونباخ برای پرسشنامه نیازهای شغلی $\alpha = 0.87$ و آلفای کرونباخ برای پرسشنامه بهبود فرایند کار به میزان $\alpha = 0.83$ بدست آمده که هر دو پرسشنامه با توجه به آلفای بدست آمده از اعتبار قابل قبولی برخوردار می‌باشند. به منظور تجزیه و تحلیل آماری معیارهای چون فراوانی برحسب تعداد، درصد، نمودار و آزمون کولموگروف اسمیرنوف برای تعیین نرمال بودن متغیرها، آزمون ضریب همبستگی پیرسون جهت رد یا تأیید فرضیه‌ها استفاده گردید.

۸- روش تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات

در این پژوهش با توجه به اینکه شرایط آزمون پارامتری (توزیع نرمال بودن که از طریق نمونه‌گیری تصادفی و آزمون کولموگروف اسمیرنوف محقق گردید) و فرضیه‌های طراحی شده نیز از نوع فرضیه‌های رابطه‌ای بوده که از آزمون ضریب همبستگی پیرسون برای فرضیه‌های دو متغیر و رگرسیون خطی استفاده شده است. در پژوهش حاضر، با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی FAHP، پرسشنامه مقایسات زوجی طراحی خواهد شد. در نهایت پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها اقدام به تجزیه و تحلیل اطلاعات توسط ماتریس‌های مقایسات زوجی، اوزان اولویت شاخص‌ها پرداخته و سپس با روش FAHP و استفاده از نرم‌افزار متلب و spss تجزیه و تحلیل صورت گرفت. استفاده از روش AHP علاوه بر سهولت و انعطاف‌پذیری دارای مزایای دیگری همچون امکان استفاده از معیارهای کمی و کیفی بطور همزمان، قابلیت کنترل کردن سازگاری منطقی قضاوت‌های استفاده شده در تعیین اولویت‌ها و همچنین امکان رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها و در نهایت امکان به کار گیری نظرات گروهی (قضاوت گروهی) می‌باشد در این تحقیق جهت انتخاب بهترین عامل جهت بهبود فرایند کار برای بانک صادرات، رویکرد AHP فازی با استفاده از اعداد فازی مثلثی ارائه شده است تا مقایسات تصمیم‌گیران و روش تحلیل گسترده برای تصمیم‌گیری اولویت نهایی معیارهای تصمیم‌گیری متفاوت را پوشش دهد. اعداد فازی مثلثی در این مسئله، در مورد اولویت یک متغیر تصمیم نسبت به دیگری تصمیم گرفته شود. اعداد فازی مثلثی از مرور ادبیات تحقیق گرفته شده است. سپس از روش تحلیل گسترده ترکیبی استفاده شده است تا در مورد وزن‌های اولویت نهایی مبتنی بر اعداد فازی مثلثی تصمیم‌گیری شود که این روش اصطلاحاً AHP فازی بسط یافته خوانده می‌شود.

۹- یافته‌ها و نتایج

فرضیه اصلی: بین نیازهای شغلی و بهبود فرایند کار در کارکنان بانک صادرات ارتباط معناداری وجود دارد.
H0: بین نیازهای شغلی و بهبود فرایند کار در کارکنان بانک صادرات ارتباط معناداری وجود ندارد.
H1: بین نیازهای شغلی و بهبود فرایند کار در کارکنان بانک صادرات ارتباط معناداری وجود دارد.

جدول ۵-۴. ضریب همبستگی بین نیازهای شغلی و بهبود فرایند کار

بهبود فرایند کار		
۰.۸۵۷	ضریب همبستگی پیرسون	نیازهای شغلی
۰.۰۰۰	Sig	
۱۶۰	N	

با توجه به نتایج حاصل از جدول ۴-۷ از آنجا که سطح معناداری sig کمتر از سطح معناداری ۰/۰۵ می‌باشد، بنابراین، با سطح اطمینان ۹۵ درصد فرض H0 رد می‌شود و فرض H1 تأیید می‌شود و با توجه به ضریب همبستگی (۰.۸۵۷)، در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین نیازهای شغلی و بهبود فرایند کار در کارکنان بانک صادرات رابطه مثبت و معنادار وجود دارد.
فرضیه اول: بین نیاز فیزیولوژیک و بهبود فرایند کار در کارکنان بانک صادرات ارتباط معناداری وجود دارد.
H0: بین نیاز فیزیولوژیک و بهبود فرایند کار در کارکنان بانک صادرات ارتباط معناداری وجود ندارد.
H1: بین نیاز فیزیولوژیک و بهبود فرایند کار در کارکنان بانک صادرات ارتباط معناداری وجود دارد.

جدول ۴-۶. ضریب همبستگی بین نیاز فیزیولوژیک و بهبود فرآیند کار

بهبود فرآیند کار		
۰,۴۸۰	ضریب همبستگی پیرسون	نیاز فیزیولوژیک
۰,۰۰۰	sig	
۱۶۰	N	

با توجه به نتایج حاصل از جدول ۴-۸ از آنجا که سطح معناداری sig کمتر از سطح معناداری ۰/۰۵ می‌باشد، بنابراین، با سطح اطمینان ۹۵ درصد فرض H_0 رد می‌شود و فرض H_1 تأیید می‌شود و با توجه به ضریب همبستگی (۰,۴۸۰)، در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین نیاز فیزیولوژیک و بهبود فرآیند کار در کارکنان بانک صادرات رابطه مثبت و معنادار وجود دارد.

فرضیه دوم: بین نیاز ایمنی و بهبود فرآیند کار در کارکنان بانک صادرات ارتباط معناداری وجود دارد.

H_0 : بین نیاز ایمنی و بهبود فرآیند کار در بین کارکنان بانک صادرات ارتباط معناداری وجود ندارد.

H_1 : بین نیاز ایمنی و بهبود فرآیند کار در بین کارکنان بانک صادرات ارتباط معناداری وجود دارد.

جدول ۴-۷. ضریب همبستگی بین نیاز ایمنی و بهبود فرآیند کار

بهبود فرآیند کار		
۰,۵۶۹	ضریب همبستگی پیرسون	نیاز ایمنی
۰,۰۰۰	sig	
۱۶۰	N	

با توجه به نتایج حاصل از جدول ۴-۹ از آنجا که سطح معناداری sig کمتر از سطح معناداری ۰/۰۵ می‌باشد، بنابراین، با سطح اطمینان ۹۵ درصد فرض H_0 رد می‌شود و فرض H_1 تأیید می‌شود و با توجه به ضریب همبستگی (۰,۵۶۹)، در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین نیاز ایمنی و بهبود فرآیند کار در کارکنان بانک صادرات رابطه مثبت و معنادار وجود دارد.

فرضیه سوم: بین نیاز اجتماعی و بهبود فرآیند کار در کارکنان بانک صادرات ارتباط معناداری وجود دارد.

H_0 : بین نیاز اجتماعی و بهبود فرآیند کار در بین کارکنان بانک صادرات ارتباط معناداری وجود ندارد.

H_1 : بین نیاز اجتماعی و بهبود فرآیند کار در بین کارکنان بانک صادرات ارتباط معناداری وجود دارد.

جدول ۴-۸. ضریب همبستگی بین نیاز اجتماعی و بهبود فرآیند کار

بهبود فرآیند کار		
۰,۵۰۲	ضریب همبستگی پیرسون	نیاز اجتماعی
۰,۰۰۰	sig	
۱۶۰	N	

با توجه به نتایج حاصل از جدول ۴-۱۰ از آنجا که سطح معناداری sig کمتر از سطح معناداری ۰/۰۵ می‌باشد، بنابراین، با سطح اطمینان ۹۵ درصد فرض H_0 رد می‌شود و فرض H_1 تأیید می‌شود و با توجه به ضریب همبستگی (۰,۵۰۲)، در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین نیاز اجتماعی و بهبود فرآیند کار در کارکنان بانک صادرات رابطه مثبت و معنادار وجود دارد.

فرضیه چهارم: بین نیاز احترام و بهبود فرآیند کار در کارکنان صادرات ارتباط معناداری وجود دارد.

H_0 : بین نیاز احترام و بهبود فرآیند کار در کارکنان بانک صادرات ارتباط معناداری وجود ندارد.

H_1 : بین نیاز احترام و بهبود فرآیند کار در کارکنان بانک صادرات ارتباط معناداری وجود دارد.

جدول ۹-۴. ضریب همبستگی بین نیاز احترام و بهبود فرآیند کار

بهبود فرآیند کار	نیاز احترام	
۰,۵۴۱	ضریب همبستگی پیرسون	
۰,۰۰۰	sig	
۱۶۰	N	

با توجه به نتایج حاصل از جدول ۹-۱۱ از آنجا که سطح معناداری sig کمتر از سطح معناداری ۰/۰۵ می باشد. بنابراین، با سطح اطمینان ۹۵ در صد فرض H0 رد می شود و فرض H1 تأیید می شود و با توجه به ضریب همبستگی (۰,۵۴۱)، در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین نیاز احترام و بهبود فرآیند کار در کارکنان بانک صادرات رابطه مثبت و معنادار وجود دارد.

فرضیه پنجم: بین نیاز خودشکوفایی و بهبود فرآیند کار در کارکنان بانک صادرات ارتباط معناداری وجود دارد.

H0: بین نیاز خودشکوفایی و بهبود فرآیند کار در کارکنان بانک صادرات ارتباط معناداری وجود ندارد.

H1: بین نیاز خودشکوفایی و بهبود فرآیند کار در کارکنان بانک صادرات ارتباط معناداری وجود دارد.

جدول ۱۰-۴ ضریب همبستگی بین نیاز خودشکوفایی و بهبود فرآیند کار

بهبود فرآیند کار	نیاز خودشکوفایی	
۰,۶۸۳	ضریب همبستگی پیرسون	
۰,۰۰۰	sig	
۱۶۰	N	

با توجه به نتایج حاصل از جدول ۱۲-۴ از آنجا که سطح معناداری sig کمتر از سطح معناداری ۰/۰۵ می باشد. بنابراین، با سطح اطمینان ۹۵ در صد فرض H0 رد می شود و فرض H1 تأیید می شود و با توجه به ضریب همبستگی (۰,۶۸۳)، در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین نیاز خودشکوفایی و بهبود فرآیند کار در کارکنان بانک صادرات رابطه مثبت و معنادار وجود دارد.

۹-۱- بررسی میزان تأثیر مؤلفه های متغیر نیازهای شغلی بر بهبود فرآیند کار

به منظور دانستن این مطلب که آیا پاسخ و نظرات پاسخگویان به سؤالات یکسان بوده است یا خیر؟ و دیگر اینکه رتبه هر کدام از متغیرها چیست؟ از آزمون فریدمن استفاده کرده ایم. نتیجه های به دست آمده در این قسمت از چند بعد اهمیت دارند. یکی اینکه می توانیم مطمئن شویم که پاسخ دهندگان بدون غرض به سؤالات پاسخ گفته اند و دوم اینکه آیا اصولاً پاسخ دهندگان تفاوت بین سؤالات را درک کرده باشند، نتایج آن در بحث قابل اعتماد بودن پرسشنامه نیز کاربرد خواهد داشت. یعنی قابل اعتماد بودن از این موضوع سرچشمه می گیرد که آیا پاسخ دهندگان اصولاً سؤالات را درک کرده اند یا خیر؟ اگر از نظر آماری مشخص شود که آنها سؤالات را درک کرده اند پس به شکلی دیگر تأیید شده است که ابزار جمع آوری داده ها و اطلاعات یعنی پرسشنامه، قابل اعتماد است.

۹-۲- روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

روش شناسی FAHP براساس مفهوم تئوری مجموعه فازی - که توسط پروفیسور لطفی زاده در ۱۹۶۵ ارائه کرد - بنا نهاده شده است. فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، AHP «ساعتی» را از رهگذر ترکیب آن با تئوری مجموعه فازی بسط می دهد. در AHP فازی، بعد از ایجاد ساختار سلسله مراتبی برای مسأله ای که باید حل شود، برای نشان دادن اهمیت نسبی عوامل متناظر با معیارها از مقیاس های نسبی فازی استفاده می شود. به این ترتیب، یک ماتریس قضاوت فازی ساخته می شود، امتیازات نهایی گزینه ها توسط اعداد فازی ارائه می گردند و گزینه بهینه از رهگذر رتبه بندی اعداد فازی با استفاده از عملگرهای جبری خاص به دست می آید.

جدول ۱۱-۴. ساختار فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP

ردیف	لایه	مؤلفه‌ها
۱	هدف	شناسایی بهبود فرآیند کار
۲	معیارها	نیازهای شغلی
۳	گزینه‌ها	ملاکهای بهبود فرآیند

برای تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری با استفاده از روش (مثلی فازی) و بردار وزن فازی از جدول ۵-۳ استفاده شده است. براین اساس، ماتریس مقایسه زوجی بین معیارها با توجه به نظرات صاحب‌نظران و کارشناسان به صورت زیر تشکیل می‌شود:

جدول ۱۲-۴. ماتریس مقایسه زوجی بین معیارها

فیزیولوژیک	ایمنی	اجتماعی	احترام	خود شکوفایی
فیزیولوژیک	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(1/2,2/3,1)	(1/2,1,3/2)
ایمنی	(3/2,2,5/2)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(2,5/2,3)
اجتماعی	(1,3/2,2)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(1,3/2,2)
احترام	(2/3,1,2)	(1/3,2/5,1/2)	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)
خود شکوفایی	(1,3/2,2)	(2/5,1/2,2/3)	(1/2,2/3,1)	(1,3/2,2)

پس از شکل‌گیری ماتریس‌های مقایسه زوجی باید بردارهای وزن با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی تعیین شود که این محاسبات به شرح زیر است:

جدول ۱۳-۴. جدول تعاریف نمادها

نمادها	نیازها
C_1	نیازهای فیزیولوژیک
C_2	نیازهای ایمنی
C_3	نیازهای اجتماعی
C_4	نیازهای احترام
C_5	نیازهای خودشکوفایی

$$C_1 = (1 + \frac{2}{5} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}, 1 + \frac{1}{2} + \frac{2}{3} + 1 + \frac{2}{3}, 1 + \frac{2}{3} + 1 + \frac{3}{2} + 1) = (2.9, 3.833, 5.167)$$

$$C_2 = (\frac{3}{2} + 1 + \frac{3}{2} + 2 + \frac{3}{2}, 2 + 1 + 2 + \frac{5}{2} + 2, \frac{5}{2} + 1 + \frac{5}{2} + 3 + \frac{5}{2}) = (7.5, 9.5, 11.5)$$

$$C_3 = (1 + \frac{2}{5} + 1 + \frac{3}{2} + \frac{3}{2}, \frac{3}{2} + \frac{1}{2} + 1 + \frac{3}{2} + \frac{3}{2}, 2 + \frac{2}{3} + 1 + 2 + 2) = (4.4, 6, 7.667)$$

$$C_4 = (\frac{2}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{2} + 1 + \frac{1}{2}, 1 + \frac{2}{5} + \frac{2}{3} + 1 + \frac{2}{3}, 2 + \frac{1}{2} + 1 + 1 + 1) = (3.3, 3.733, 5.5)$$

$$C_5 = (1 + \frac{2}{5} + \frac{1}{2} + 1 + 1, \frac{3}{2} + \frac{1}{2} + \frac{2}{3} + \frac{3}{2} + 1, 2 + \frac{2}{3} + 1 + 2 + 1) = (3.9, 5.167, 6.667)$$

جدول ۱۴-۴. نتایج حاصل از ماتریس زوجی

وزن	خود شکوفایی	احترام	اجتماعی	ایمنی	فیزیولوژیک	
(2.9, 3.833, 5.167)	(1/2, 2/3, 1)	(1/2, 1, 3/2)	(1/2, 2/3, 1)	(2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1)	فیزیولوژیک
(7.5, 9.5, 11.5)	(3/2, 2, 5/2)	(2, 5/2, 3)	(3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1)	(3/2, 2, 5/2)	ایمنی

وزن	خود شکوفایی	احترام	اجتماعی	ایمنی	فیزیولوژیک	
(4.4,6,7.667)	(1,3/2,2)	(1,3/2,2)	(1,1,1)	(2/5,1/2,2/3)	(1,3/2,2)	اجتماعی
(3,3.733,5.5)	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)	(1/2,2/3,1)	(1/3,2/5,1/2)	(2/3,1,2)	احترام
(3.9,5.167,6.667)	(1,1,1)	(1,3/2,2)	(1/2,2/3,1)	(2/5,1/2,2/3)	(1,3/2,2)	خود شکوفایی

مقدار $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ نیز برابر است با:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j =$$

$$(1 + \frac{2}{5} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{3}{2} + 1 + \frac{3}{2} + 2 + \frac{3}{2} + 1 + \frac{2}{5} + 1 + \frac{3}{2} + \frac{3}{2}$$

$$+ \frac{2}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{2} + 1 + \frac{1}{2} + 1 + \frac{2}{5} + \frac{1}{2} + 1 + 1,$$

$$1 + \frac{1}{2} + \frac{2}{3} + 1 + \frac{2}{3} + 2 + 1 + 2$$

$$+ \frac{5}{2} + 2 + \frac{3}{2} + \frac{1}{2} + 1 + \frac{3}{2} + \frac{3}{2} + 1 + \frac{2}{5} + \frac{2}{3} + 1 + \frac{2}{3} + \frac{3}{2} + \frac{1}{2} + \frac{2}{3} + \frac{3}{2} + 1,$$

$$1 + \frac{2}{3} + 1 + \frac{3}{2} + 1 + \frac{5}{2} + 1 + \frac{5}{2} + 3 +$$

$$\frac{5}{2} + 2 + \frac{2}{3} + 1 + 2 + 2 + 2 + \frac{1}{2} + 1$$

$$+ 1 + 1 + 2 + \frac{2}{3} + 1 + 2 + 1) = (21.7, 28.233, 36.5)$$

و لذا مقدار $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$ برابر است با:

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{36.5}, \frac{1}{28.233}, \frac{1}{21.7} \right) = (0.0274, 0.0354, 0.04608)$$

S_i برای هر یک از سطرهاى ماتریس مقایسه زوجی برابر است با:

$$S_1 = (2.9, 3.833, 5.167) * (0.0274, 0.0354, 0.04608) = (0.079, 0.136, 0.238)$$

$$S_2 = (7.5, 9.5, 11.5) * (0.0274, 0.0354, 0.04608) = (0.205, 0.336, 0.530)$$

$$S_3 = (4.4, 6.7, 7.667) * (0.0274, 0.0354, 0.04608) = (0.121, 0.213, 0.353)$$

$$S_4 = (3, 3.733, 5.5) * (0.0274, 0.0354, 0.04608) = (0.082, 0.132, 0.253)$$

$$S_5 = (3.9, 5.167, 6.667) * (0.0274, 0.0354, 0.04608) = (0.107, 0.183, 0.307)$$

درجه بزرگی هر یک از مقادیر S_i نسبت به همدیگر به شرح زیر خواهد بود:

$$V(S_1 \geq S_2) = 0.14 \quad V(S_1 \geq S_3) = 0.61 \quad V(S_1 \geq S_4) = 1 \quad V(S_1 \geq S_5) = 0.74$$

$$V(S_2 \geq S_1) = 1 \quad V(S_2 \geq S_3) = 1 \quad V(S_2 \geq S_4) = 1 \quad V(S_2 \geq S_5) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_1) = 1 \quad V(S_3 \geq S_2) = 0.54 \quad V(S_3 \geq S_4) = 1 \quad V(S_3 \geq S_5) = 1$$

$$V(S_4 \geq S_1) = 0.98 \quad V(S_4 \geq S_2) = 0.19 \quad V(S_4 \geq S_3) = 0.62 \quad V(S_4 \geq S_5) = 0.74$$

$$V(S_5 \geq S_1) = 1 \quad V(S_5 \geq S_2) = 0.4 \quad V(S_5 \geq S_3) = 0.86 \quad V(S_5 \geq S_4) = 1$$

با توجه به مقادیر S_i نسبت به همدیگر، وزن نرمال نشده معیارها در ماتریس‌های مقایسه زوجی برابر است با:

جدول ۱۵-۴. جدول اوزان معیارها

وزن نرمال شده	وزن نرمال نشده	معیار	
۰/۰۶۲	۰/۱۴	فیزیولوژیک	C_1
۰/۴۴	۱	ایمنی	C_2
۰/۲۳۹	۰/۵۴	اجتماعی	C_3
۰/۰۸۴	۰/۱۹	احترام	C_4
۰/۱۷۵	۰/۴۰	خود شکوفایی	C_5

جدول ۱۶-۴. ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار فیزیولوژیک

توسعه قابلیت‌های انسانی	قانون‌گرایی در سازمان	پرداخت منصفانه و کافی	فیزیولوژیک
(3/2,2,5/2)	(1,3/2,2)	(1,1,1)	پرداخت منصفانه و کافی
(1,3/2,2)	(1,1,1)	(1/2,2/3,1)	قانون‌گرایی در سازمان
(1,1,1)	(1/2,2/3,1)	(2/5,1/2,2/3)	توسعه قابلیت‌های انسانی

جدول ۱۷-۴. ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به معیار فیزیولوژیک

وزن	توسعه قابلیت‌های انسانی	قانون‌گرایی در سازمان	پرداخت منصفانه و کافی	فیزیولوژیک
(3.5,4.5,5.5)	(3/2,2,5/2)	(1,3/2,2)	(1,1,1)	پرداخت منصفانه و کافی
(2.5,3.1,4)	(1,3/2,2)	(1,1,1)	(1/2,2/3,1)	قانون‌گرایی در سازمان
(1.9,2.1,2.6)	(1,1,1)	(1/2,2/3,1)	(2/5,1/2,2/3)	توسعه قابلیت‌های انسانی

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (3.5 + 2.5 + 1.9, 4.5 + 3.1 + 2.1, 5.5 + 4 + 2.6) = (7.9, 9.7, 12.1)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{7.9}, \frac{1}{9.7}, \frac{1}{12.1} \right) = (0.126, 0.103, 0.083)$$

S_i برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی برابر است با:

$$S_1 = (3.5, 4.5, 5.5) * (0.126, 0.103, 0.083) = (3.941, 0.463, 0.456)$$

$$S_2 = (2.5, 3.1, 4) * (0.126, 0.103, 0.083) = (2.815, 0.319, 0.332)$$

$$S_3 = (1.9, 2.1, 2.6) * (0.126, 0.103, 0.083) = (2.139, 0.216, 0.216)$$

درجه بزرگی هر یک از مقادیر S_i نسبت به همدیگر به شرح زیر خواهد بود:

$$V(S_1 \geq S_2) = 1$$

$$V(S_1 \geq S_3) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_1) = 0.05$$

$$V(S_2 \geq S_3) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_1) = 0.6$$

$$V(S_3 \geq S_2) = 0.09$$

جدول ۱۸-۴. جدول اوزان گزینه ها

گزینه	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
پرداخت منصفانه و کافی	۱	۰/۸۷۷
قانون‌گرایی در سازمان	۰/۰۵	۰/۰۴۴
توسعه قابلیت‌های انسانی	۰/۰۹	۰/۰۷۹

جدول ۱۹-۴. ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار ایمنی

ایمنی	پرداخت منصفانه و کافی	قانون‌گرایی در سازمان	توسعه قابلیت‌های انسانی
پرداخت منصفانه و کافی	(1,1,1)	(1,3/2,2)	(3/2,2,5/2)
قانون‌گرایی در سازمان	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)	(1,3/2,2)
توسعه قابلیت‌های انسانی	(2/5,1/2,2/3)	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)

جدول ۲۰-۴. ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار ایمنی

ایمنی	پرداخت منصفانه و کافی	قانون‌گرایی در سازمان	توسعه قابلیت‌های انسانی	وزن
پرداخت منصفانه و کافی	(1,1,1)	(1,3/2,2)	(3/2,2,5/2)	(3.5,4.5,5.5)
قانون‌گرایی در سازمان	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)	(1,3/2,2)	(2.5,3.1,4)
توسعه قابلیت‌های انسانی	(2/5,1/2,2/3)	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)	(1.9,2.1,2.6)

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (3.5 + 2.5 + 1.9, 4.5 + 3.1 + 2.1, 5.5 + 4 + 2.6) = (7.9, 9.7, 12.1)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{7.9}, \frac{1}{9.7}, \frac{1}{12.1} \right) = (0.126, 0.103, 0.083)$$

S_i برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی برابر است با:

$$S_1 = (3.5, 4.5, 5.5) * (0.126, 0.103, 0.083) = (3.941, 0.463, 0.456)$$

$$S_2 = (2.5, 3.1, 4) * (0.126, 0.103, 0.083) = (2.815, 0.319, 0.332)$$

$$S_3 = (1.9, 2.1, 2.6) * (0.126, 0.103, 0.083) = (2.139, 0.216, 0.216)$$

درجه بزرگی هر یک از مقادیر S_i نسبت به همدیگر به شرح زیر خواهد بود:

$$V(S_1 \geq S_2) = 1$$

$$V(S_1 \geq S_3) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_1) = 0.263$$

$$V(S_2 \geq S_3) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_1) = 0.6$$

$$V(S_3 \geq S_2) = 0.053$$

جدول ۴-۲۱. جدول اوزان گزینه‌ها

گزینه	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
پرداخت منصفانه و کافی	۱	۰/۷۶۰
قانون‌گرایی در سازمان	۰/۲۶۳	۰/۱۲۰
توسعه قابلیت‌های انسانی	۰/۰۵۳	۰/۰۴۰

جدول ۴-۲۲. ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار اجتماعی

اجتماعی	پرداخت منصفانه و کافی	قانون‌گرایی در سازمان	توسعه قابلیت‌های انسانی
پرداخت منصفانه و کافی	(1,1,1)	(1,3/2,2)	(1/2,1,3/2)
قانون‌گرایی در سازمان	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)
توسعه قابلیت‌های انسانی	(2/3,1,2)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)

جدول ۴-۲۳. ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار اجتماعی

اجتماعی	پرداخت منصفانه و کافی	قانون‌گرایی در سازمان	توسعه قابلیت‌های انسانی	وزن
پرداخت منصفانه و کافی	(1,1,1)	(1,3/2,2)	(1/2,1,3/2)	(2.5,3.5,4.5)
قانون‌گرایی در سازمان	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(3,3.6,4.5)
توسعه قابلیت‌های انسانی	(2/3,1,2)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(2,2.5,3.6)

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (2.5 + 3 + 2,3.5 + 3.6 + 2.5,4.5 + 4.5 + 3.6) = (7.5, 9.6, 12.6)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{7.5}, \frac{1}{9.6}, \frac{1}{12.6} \right) = (0.133, 0.104, 0.079)$$

S_i برای هر یک از سطرهاى ماتریس مقایسه زوجی برابر است با:

$$S_1 = (2.5, 3.5, 4.5) * (0.133, 0.104, 0.079) = (0.332, 0.364, 0.355)$$

$$S_2 = (3, 3.6, 4.5) * (0.133, 0.104, 0.079) = (0.399, 0.374, 0.355)$$

$$S_3 = (2, 2.5, 3.6) * (0.133, 0.104, 0.079) = (0.266, 0.26, 0.284)$$

درجه بزرگی هر یک از مقادیر S_i نسبت به همدیگر به شرح زیر خواهد بود:

$$V(S_1 \geq S_2) = 0.937$$

$$V(S_1 \geq S_3) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_1) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_3) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_1) = 0.524$$

$$V(S_3 \geq S_2) = 0.353$$

جدول ۴-۲۴. جدول اوزان گزینه‌ها

گزینه	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
پرداخت منصفانه و کافی	۰/۹۳۷	۰/۴۰۹
قانون‌گرایی در سازمان	۱	۰/۴۳۷
توسعه قابلیت‌های انسانی	۰/۳۵۳	۰/۱۵۴

جدول ۲۵-۴. ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار احترام

احترام	پرداخت منصفانه و کافی	قانون‌گرایی در سازمان	توسعه قابلیت‌های انسانی
پرداخت منصفانه و کافی	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(2,5/2,3)
قانون‌گرایی در سازمان	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)
توسعه قابلیت‌های انسانی	(1/3,2/5,1/2)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)

جدول ۲۶-۴. ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار احترام

احترام	پرداخت منصفانه و کافی	قانون‌گرایی در سازمان	توسعه قابلیت‌های انسانی	وزن
پرداخت منصفانه و کافی	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(2,5/2,3)	(4.5,5.5,6.5)
قانون‌گرایی در سازمان	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(2.9,3.5,3.9)
توسعه قابلیت‌های انسانی	(1/3,2/5,1/2)	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(1.7,1.9,2.1)

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (4.5 + 2.9 + 1.7, 5.5 + 3.5 + 1.9, 6.5 + 3.9 + 2.1) = (9.1, 10.9, 12.5)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{9.1}, \frac{1}{10.9}, \frac{1}{12.5} \right) = (0.110, 0.092, 0.08)$$

S_i برای هر یک از سطرهاى ماتریس مقایسه زوجی برابر است با:

$$S_1 = (4.5, 5.5, 6.5) * (0.110, 0.092, 0.08) = (0.495, 0.506, 0.52)$$

$$S_2 = (2.9, 3.5, 3.9) * (0.110, 0.092, 0.08) = (0.319, 0.322, 0.312)$$

$$S_3 = (1.7, 1.9, 2.1) * (0.110, 0.092, 0.08) = (0.187, 0.175, 0.168)$$

درجه بزرگی هر یک از مقادیر S_i نسبت به همدیگر به شرح زیر خواهد بود:

$$V(S_1 \geq S_2) = 1 \quad V(S_1 \geq S_3) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_1) = 0.428 \quad V(S_2 \geq S_3) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_1) = 2 \quad V(S_3 \geq S_2) = 1$$

جدول ۲۷-۴. جدول اوزان گزینه‌ها

گزینه	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
پرداخت منصفانه و کافی	۱	۰/۴۱۲
قانون‌گرایی در سازمان	۰/۴۲۸	۰/۱۷۶
توسعه قابلیت‌های انسانی	۱	۰/۴۱۲

جدول ۲۸-۴. ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار خود شکوفایی

خود شکوفایی	پرداخت منصفانه و کافی	قانون‌گرایی در سازمان	توسعه قابلیت‌های انسانی
پرداخت منصفانه و کافی	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(2,5/2,3)
قانون‌گرایی در سازمان	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(1,3/2,2)
توسعه قابلیت‌های انسانی	(1/3,2/5,1/2)	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)

جدول ۲۹-۴. ماتریس مقایسه زوجی بین گزینه‌ها و معیار خود شکوفایی

خود شکوفایی	پرداخت منصفانه و کافی	قانون‌گرایی در سازمان	توسعه قابلیت‌های انسانی	وزن
پرداخت منصفانه و کافی	(1,1,1)	(3/2,2,5/2)	(2,5/2,3)	(4.5,5.5,6.5)
قانون‌گرایی در سازمان	(2/5,1/2,2/3)	(1,1,1)	(1,3/2,2)	(2.4,3,3.6)
توسعه قابلیت‌های انسانی	(1/3,2/5,1/2)	(1/2,2/3,1)	(1,1,1)	(1.8,3.1,2.5)

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (4.5 + 2.4 + 1.8, 5.5 + 3 + 3.1, 6.5 + 3.6 + 2.5) = (8.7, 11.6, 12.6)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{8.7}, \frac{1}{11.6}, \frac{1}{12.6} \right) = (0.115, 0.086, 0.079)$$

S_i برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی برابر است با:

$$S_1 = (4.5, 5.5, 6.5) * (0.115, 0.086, 0.079) = (0.517, 0.473, 0.513)$$

$$S_2 = (2.4, 3, 3.6) * (0.115, 0.086, 0.079) = (0.276, 0.258, 0.284)$$

$$S_3 = (1.8, 3.1, 2.5) * (0.115, 0.086, 0.079) = (0.207, 0.267, 0.197)$$

درجه بزرگی هر یک از مقادیر S_i نسبت به همدیگر به شرح زیر خواهد بود:

$$V(S_1 \geq S_2) = 1$$

$$V(S_1 \geq S_3) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_1) = 0.562$$

$$V(S_2 \geq S_3) = 0.947$$

$$V(S_3 \geq S_1) = 0.5$$

$$V(S_3 \geq S_2) = 0.54$$

جدول ۳۰-۴. اوزان گزینه‌ها

گزینه	وزن نرمال نشده	وزن نرمال شده
پرداخت منصفانه و کافی	۱	۰/۴۷۶
قانون‌گرایی در سازمان	۰/۵۶۲	۰/۲۶۷
توسعه قابلیت‌های انسانی	۰/۵۴	۰/۲۵۷

نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده در خصوص اهمیت نیازهای شغلی کارکنان در راستای بهبود فرآیند کار آنان در بانک، پیشنهاد می‌گردد که مدیران ارشد و تصمیم گیرندگان تصمیمات کلان بانک صادرات شرایطی را محیا نمایند تا در آن کارکنان دغدغه مالی نداشته باشند همچنین با بهبود این نیاز کارکنان با اشتیاق و احساس آرامش بیشتر هم‌راستا با سیاست‌های بانک می‌گردند. در گام دوم مدیران می‌بایست اقدامات لازم را جهت فراهم نمودن شرایطی ایجاد نمایند تا کارکنان نسبت به قوانین و قانون‌های سازمان دارای تعهد کاری و سازمانی باشند و به عنوان یک سیستم یکپارچه بایکدیگر عمل نمایند.

در گام سوم مدیران می‌بایست ترتیبی اتخاذ کنند تا منجر به شوکوفایی استعداد کارکنان خود جهت بهبود روند کاری خود و در نهایت بانک گردد. همچنین مدیران در خصوص نیازهای شغلی کارکنان با توجه به پارامترهای بهبود فرآیند کار و فرضیات مطرح شده در این پژوهش می‌توانند اقدامات زیر را سر لوحه اقدامات خود قرار دهند:

با توجه به فرضیه شماره یک مبنی بر رابطه بین نیازهای فیزیولوژیک و بهبود فرایند کار در کارکنان پیشنهاد می‌گردد که محیط کاری کارکنان طوری باشد که آنها احساس گرسنگی نکرده، استراحت و آرامش داشته باشند، احساس خستگی و کسالت نکنند، شرایطی فراهم شود تا کارکنان جوان زودتر ازدواج کنند، بتوانند مایحتاج زندگی روزمره را بخرند و مواد غذایی پروتئین و ویتامین دار را تهیه کنند.

گروه‌ها عضو شوند با توجه به فرضیه شماره دو مبنی بر رابطه بین نیازهای ایمنی و بهبود فرایند کار در کارکنان پیشنهاد می‌گردد در محیط کار همکاران اختلاف نظر را کنار گذاشته و مشاجره نکنند، به راحتی عقاید خود را بیان کنند، احساس امنیت و راحتی داشته باشند، افراد مسئول بین همکاران تبعیض قایل نشوند و آنها را ناسزا نگویند، به همکاران بقبولانند که از سخن گفتن و پاسخ شفاهی به مافوق ترسی نداشته باشند. باتوجه به فرضیه شماره سه مبنی بر رابطه بین نیازهای اجتماعی و بهبود فرایند کار در کارکنان پیشنهاد می‌گردد در محیط کارشان با از معاشرت با دوستان لذت ببرند، در تحمل انتقاد اطرافیان از رفتار خود را دشته باشند، زمان گرفتاری همکاران به آنها کمک کنند و احساس کنند که می‌توانند مسائل و دردل‌های خود را با همکاران و افراد مافوق در میان بگذارند.

با توجه به فرضیه شماره چهار مبنی بر رابطه بین نیازهای احترام و بهبود فرایند کار در کارکنان پیشنهاد می‌گردد در محیط کار زمینه‌ای فراهم شود تا کارکنان زمان بیماری مورد توجه همکاران قرار گیرند، احساس کنند محبوب دیگران و آدم لایقی هستند، همکاران برای وی احترام قائل شوند، مسئولین آنها را در امور مربوط به خود آزاد بگذارند، احساس کنند در کارهای مربوط به خود کفایت و لیاقت دارند، در همایش‌ها و جلسات کاری شرکت کنند.

بنابر فرضیه شماره پنج مبنی بر رابطه بین نیازهای خودشکوفایی و بهبود فرایند کار در کارکنان پیشنهاد می‌گردد کارکنان سعی کنند خود را همرنگ جماعت نمایند، از توانایی، خلاقیت و نوآوری برخوردار باشند، در انتخاب اهداف آینده خود تردید نداشته باشند، در مهارت‌های شغلی ابتکار عمل داشته باشند، در موقعیت‌های سخت دچار اضطراب نگردند و به مطالعه‌ی کتاب‌ها و مجلات علاقه‌مند باشند.

مراجع

- انصاری، محمد اسماعیل، سید محمد رضا میراحمدی و کاظم ذبیحزاده (۱۳۸۹)، بررسی روابط بین استرس شغلی، رضایت شغلی، تعهد سازمانی و رفتار شهروندی، فصلنامه علمی - پژوهشی مدیریت و منابع انسانی در صنعت نفت ۱۳.
- پیردستان، مسعود (۱۳۹۶)؛ "اجرای زنجیره تامین سبز و تاکتیکهای اجرای موفق استراتژی توسط بانکهای سبز"؛ ماهنامه علمی تخصصی پژوهشهای نوین علوم مهندسی شماره ۱۰ صص ۸-۱.
- آذر، عادل و علی رجب زاده (۱۳۸۱)؛ تصمیم‌گیری کاربردی؛ تهران: انتشارات نگاه دانش.
- آقایی فیشانی، تیمور (۱۳۷۷)، خلاقیت و نوآوری در انسان ها و سازمان ها، انتشارات ترمه، چاپ اول، صص ۲۸۰ - ۲۸۱.
- پرداختچی، محمد حسن. دکتر قهرمانی، محمد. و مهندس گلدوست، یاسر (۱۳۷۳). ضرورت بالندگی کارکنان در سازمان ها- مرکز نشر و بخش کتاب دشتی.
- تقی زاده، جواد، (۱۳۷۵)، توسعه سازمانی، تهران، انتشارات روایت، چاپ اول.

۹. رابینز، استیفن (۱۳۷۸)؛ رفتار سازمانی (مفاهیم نظریه‌ها و کاربرد ها)، مترجمان: علی پارسائیان و سید محمد اعرابی، جلد دوم و سوم، چاپ دوم، دفتر پژوهش‌های فرهنگی.
۱۰. رابینز، استیفن (۱۳۷۶)؛ تئوری سازمان (ساختار، طراحی و کاربردها)، ترجمه: سید مهدی الوانی و حسن دانائی‌فر، چاپ اول، نشر موج - صفار.
۱۱. رابینز، استیفن (۱۳۷۴)؛ مدیریت رفتار سازمانی، ترجمه: علی پارسائیان و سید محمد اعرابی، چاپ اول تهران، مؤسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی.
۱۲. رابینز، استیفن (۱۳۷۷)؛ مبانی رفتار سازمانی، ترجمه: قاسم کبیریف چاپ چهارم، انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی.
۱۳. رستگاری، حسین. (۱۳۸۷)، بررسی تاثیر کیفیت زندگی کاری بر عملکرد کارکنان - پایان نامه کارشناسی ارشد، مرکز آموزش مدیریت دولتی.
۱۴. رضائیان، علی (۱۳۸۴)، انتظار عدالت و عدالت در سازمان؛ تهران: انتشارات سمت.
۱۵. رضائیان، علی (۱۳۷۱)، اصول مدیریت، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی (سمت).
۱۶. رضائیان، علی، عبدالعلی کشته‌گر (۱۳۸۷). بررسی رابطه بین هوش هیجانی و تعهد سازمانی، پیام مدیریت ۲۷.
۱۷. ساعتچی، محمود (۱۳۷۷)، مشاوره و روان درمانی (نظریه‌ها و راهبردها)، چاپ دوم، نشر ویرایش.
۱۸. ساعتچی، محمود (۱۳۷۷)، نظریه پردازان و نظریه‌ها در روانشناسی، انتشارات سخن، چاپ اول.
۱۹. ساعتچی، محمود (۱۳۷۹)، روانشناسی کار، مؤسسه نشر ویرایش، چاپ اول.
۲۰. ساعتچی، محمود (۱۳۷۹)، روانشناسی کاربردی برای مدیران در خانه، مدرسه و سازمان، نشر ویرایش، چاپ پنجم.
21. Adams V.H., Snyder C.R.; Pulvers K.M; "Hope and academic success in college"; *Journal of Educational Psychology*, 94 (4), 2002.
22. Allen N. J., Meyer J. P.; "The measurement and antecedents of effective continuance and normative commitment to the organization"; *Journal of Occupational Psychology*, (63), 1990.
23. Bandura A.; "Self-efficacy: The exercise of control"; New York: Freeman, 2006.
24. Bateman T., Strasser S.; "A longitudinal analysis of the antecedents of organizational commitment"; *Academy of Management Journal*, Vol. 27, 1984.
25. Bourdieu P.; "The forms of capital"; in Richardson, John G., ed., *Handbook of Theory and Research for the Sociology of Education*, New York: Greenwood, 1986.
26. chaipol, H (1989) com A partite, Study of that middle managers perception, of there Quality of work life in American- owned" Japanese owned and that owned companies operating in thai land. D.B.A dissertation. United state international university.
27. Docket. A, (2003) "The Effects of Retention Factor son organizational commitment: an investigation of high technology employees, university of preteria.
28. Edmonton J., Western J.; "Leadership development in health care: What do we know?"; *Journal of Management in Medicine*, (16), 2002.
29. Gordon Judith, R, (1993) A Diagnostic Approach to organizational behavior" 4Ed. Boston: All yn and bacon Ine.
30. griffin, R,W, (1988) consequence. Of Quality circle ina industrial setting: along teasing). Ass menaced my of management Journal.
31. Hertzberg. F.B Mausner, B. Snyder man. B.b.(1959) The motivation to work. New yourk, John Wiley and sons.
32. kayem k" Quality of work life professional staffs of selected public school (Job satisfaction)." Educated D. Dissertation, Brigham young university.
33. Luthans F., Avolio B.J., Avey; "Positive psychological capital: Measurement and relationship with performance and satisfaction", *Personnel Psychology*, Vol. 60, 2007.
34. Luthans F., Vogelgesang G. R., Lester P. B.; "Developing the psychological capital of resiliency"; *Human Resource Development Review*, 5, (1), 2006.
35. Luthans F., Youssef C. M.; "Human, social and now positive psychological capital management: Investing in people for competitive advantage"; *Organizational Dynamics*, 33(2), 2004.
36. Nelson D., C.L. Cooper; "Positive organizational behavior: Accentuating the positive at work"; *Thousand Oaks, CA: Sage*, 2007.
37. Peterson S. J., Luthans F.; "The positive impact and development of hopeful leaders"; *Leadership and Organization Development Journal*, (24), 2003

بهینه سازی پارامترهای فرایند ماشینکاری تخلیه الکتریکی در ماشینکاری کاربید تنگستن- کبالت (WC/6%Co) با الگوریتم MOPSO

محمدرضا مرکی

مریی، مکانیک و مواد، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند (maraki@birjandut.ac.ir)

چکیده

کاربید تنگستن-کبالت با توجه به دارا بودن خواصی مانند مقاومت در برابر ساییدگی و حفظ استحکام در دماهای بالا یکی از موادی است که برای ساخت ابزارهای ماشینکاری در صنعت به طور معمول استفاده می شود. بدین منظور ماشینکاری این مواد توسط فرایندهای ماشینکاری سنتی مشکل، پرهزینه و یا غیر ممکن می باشد. فرایند تخلیه الکتریکی یکی از فرایندهای غیر سنتی است که توسط آن می توان فلزاتی با سختی بالا و حتی بعد از عملیات سختکاری را نیز ماشینکاری کرد. بدین منظور در این مطالعه فرایند تخلیه الکتریکی کاربید تنگستن-کبالت (WC/6%Co) مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش مدل فازی برای مدلسازی پارامترهای نرخ براده برداری، نرخ فرسایش ابزار و زبری سطح پیاده سازی گردید و با استفاده از نتایج تجربی، مدل مورد صحت سنجی قرار گرفته و خطای آن در پیش بینی پارامترها بدست آمد. مقدار خطای مدل فازی در پیش بینی نرخ براده برداری ۱/۵۸ درصد، در پیش بینی نرخ فرسایش ابزار ۰/۴۹ درصد و در پیش بینی زبری سطح ۷/۷۴ درصد به دست آمد که در مقایسه با روش پاسخ سطح درصد خطای کمتری دارد. سپس با استفاده از الگوریتم MOPSO پارامترهای مورد نظر بهینه سازی گردید که نشان داد با انتخاب پارامترهای صحیح فرایند، امکان بهبود پارامترها وجود دارد. مقدار بهینه به دست آمده برای زبری سطح برابر با $2/854 \text{ } (\mu\text{m})$ و برای نرخ براده برداری برابر با $0/378 \text{ } (\text{mm}^3/\text{min})$ و نرخ سایش ابزار $0/049 \text{ } (\text{mm}^3/\text{min})$ می باشد که از بهترین مقدار به دست آمده توسط آزمایش های تجربی بهتر می باشند.

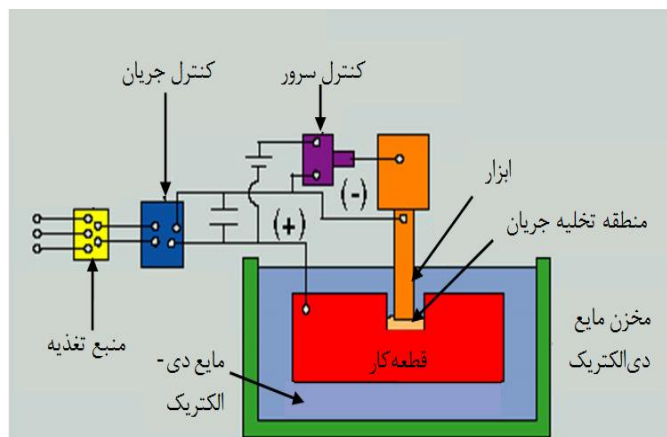
واژگان کلیدی: ماشینکاری تخلیه الکتریکی، مدلسازی فازی، کاربید تنگستن، کبالت (WC/6%Co)، نرخ براده برداری (MRR)، نرخ فرسایش ابزار (TWR)، زبری سطح (Ra)، MOPSO

۱- مقدمه

ماشینکاری تخلیه الکتریکی^۱ که به فرسایش جرقه ای نیز مرسوم است یکی از فرایندهای براده برداری غیر سنتی و ترموالکتریکی است. در این فرایند بین ابزار (الکتروُد) و قطعه کار که در فاصله معین و کنترل شده ای از یکدیگر قرار دارند و فضای بین آنها با سیالی به نام دی الکتریک پر شده است، جرقه الکتریکی تولید می شود و براده برداری صورت می گیرد. توسط این فرایند می توان مواد مقاوم در برابر ماشینکاری نظیر فولادهای سخت شده، کاربیدهای تنگستن و آلیاژهایی با استحکام بالا را به راحتی و با هزینه کم ماشینکاری کرد. به دلیل اینکه این فرایند توسط تخلیه الکتریکی انجام می شود اساس این فرایند هادی و یا نیمه هادی بودن قطعه کار است [۲۰]. ابزار مورد استفاده در این فرایند باید ضریب هدایت الکتریکی و حرارتی و نقطه ذوب بالایی داشته باشد. بدین منظور از الکترودهای هادی از قبیل مس، نقره، گرافیت و تنگستن استفاده می شود. از مزیت های این روش می توان به عدم وابستگی به سختی قطعه کار، پلیسه دار نبودن قطعه کار بعد از ماشینکاری، عدم نیاز به نیروی مکانیکی، امکان ماشینکاری در زوایا و جهات مختلف و نیز در مواردی عدم نیاز به گیره و تثبیت قطعه کار را می توان نام برد. از این رو می توان به ترازهای خوبی دست یافت. البته برای رسیدن به دقت زیاد علاوه بر مرحله خشن کاری مرحله پرداخت نیز لازم است. ایجاد تنش های حرارتی پسماند کششی

^۱ EDM

در سطح ماشینکاری از خصوصیات این روش است که برای قطعات زیر فشار مزیت بارز به حساب می‌رود. از این فرایند برای ماشینکاری مواد سخت برش مخصوصا در ابزارسازی و قالب‌سازی استفاده فراوانی می‌شود [۱-۳]. در شکل ۱ شماتیک فرایند ماشینکاری تخلیه الکتریکی ارائه شده است.



شکل ۱- شماتیک فرایند تخلیه الکتریکی

این فرایند به علت داشتن چندین پارامتر موثر در ماشینکاری از جمله فرایندهای چند متغیره محسوب می‌شود. در این فرایند بیش از بیست پارامتر به صورت مستقیم و غیر مستقیم دخیل‌اند. به طور کلی این پارامترها به دو دسته ورودی و خروجی تقسیم می‌شوند که تعدادی از این پارامترها را در حین ماشینکاری می‌توان تغییر داد و تعدادی را قبل از شروع ماشینکاری باید تنظیم کرد [۱ و ۴]. سونگ و همکاران [۵] در تحقیقی برای بهینه‌سازی فرایند تخلیه الکتریکی از دو مدل شبکه عصبی پس انتشار و شبکه عصبی انتشار متقابل و همچنین برای بهینه‌سازی از الگوریتم تبرید تدریجی استفاده کردند در این تحقیق مشخص شد که شبکه عصبی انتشار متقابل عملکرد بهتری نسبت به شبکه عصبی پس انتشار دارد. همچنین نتایج نشان داد که روش بهینه‌سازی الگوریتم تبرید تدریجی در مدلسازی و بهینه‌سازی پارامترهای ماشینکاری تخلیه الکتریکی کارایی موثری دارند. حبیب [۶] در مطالعه‌ای پارامترهای فرایند تخلیه الکتریکی را با روش پاسخ سطح مورد مطالعه قرار داد در این پژوهش مواد کاربرد سیلیسیم را با الکتروود مسی مورد ماشینکاری قرار دادند و پارامترهای زبری سطح، نرخ فرسایش ابزار و نرخ براده برداری را مدلسازی و بهینه‌سازی کردند. مطالعات انجام شده در این فرایند عمدتاً بر روی تغییر و کنترل و تنظیمات پارامترهای ماشینکاری با توجه به جنس قطعه کار متمرکز بوده است. عمده تمرکز محققان نیز بر روی استفاده از روش‌های آماری، مدلسازی و بهینه‌سازی پارامترهای این فرایند بوده است. پارامترهای فرایند تخلیه الکتریکی به دو صورت پارامترهای ورودی و خروجی تقسیم‌بندی می‌شوند. پارامترهای مهم ورودی حین ماشینکاری زمان خاموشی پالس، زمان روشنی پالس، فاصله دو الکتروود، مقدار تخلیه جریان، ولتاژ و مقدار شست و شو است و پارامترهای مهم خروجی عبارت‌اند از سرعت براده برداری، نرخ فرسایش ابزار، زبری سطح و نرخ براده برداری می‌باشند [۷ و ۸]. در این مطالعه ماشینکاری کاربرد تنگستن- کبالت که یکی از مواد سخت برش می‌باشد مورد مطالعه قرار می‌گیرد. به منظور مدلسازی پارامترها، تعدادی از پارامترهای موثر در نتایج مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای تخلیه جریان، زمان روشنی پالس، چرخه جریان و ولتاژ گپ به عنوان پارامترهای ورودی و پارامترهای نرخ براده برداری، نرخ فرسایش ابزار و زبری سطح به عنوان پارامترهای خروجی در نظر گرفته شد.

۲- مدلسازی فازی

منطق فازی بیان می‌کند که تئوری کلاسیک بیش از حد بر روی دقت تاکید داشته و از این جهت با سامانه‌های پیچیده و دنیای واقعی چندان سازگاری ندارد منطق کلاسیک، هر چیزی را بر اساس یک سامانه‌ای دوتایی نشان می‌دهد، اما در منطق فازی، درستی یا نادرستی هر چیزی با درجه‌ای عضویت نشان داده می‌شود که مقدار آن بین صفر و یک است. منطق فازی برای طراحی و مدلسازی سیستم‌های پیچیده به کار می‌رود [۷ و ۸]. در این پژوهش در سیستم فازی طراحی شده، مقادیر ورودی جریان، زمان روشنی پالس، چرخه جریان و ولتاژ گپ به مقادیر فازی تبدیل می‌شوند و با استفاده از توابع فازی، یک درجه‌ای عضویت را به خود اختصاص

می‌دهند. به منظور دسته‌بندی مقادیر مختلف تخلیه جریان، زمان روشنی پالس، چرخه جریان و ولتاژ گپ از تابع گوسی، استفاده شده است. هم‌چنین تابع مورد استفاده در دسته‌بندی مقادیر نرخ براده برداری، نرخ فرسایش ابزار و زبری سطح تابع گوسی می‌باشد. توابع به کار رفته در دسته‌بندی پارامترهای ورودی و خروجی، بهترین عملکرد را در بین توابع موجود در جعبه ابزار منطق فازی نرم‌افزار متلب داشته‌اند. تعداد دسته‌های فازی به کار گرفته شده جهت دسته‌بندی تخلیه جریان، زمان روشنی پالس، چرخه جریان و ولتاژ گپ با توجه به داده‌های آزمایشات تجربی جدول ۱ به سه دسته و تعداد دسته‌های در نظر گرفته شده جهت دسته‌بندی نرخ براده برداری، نرخ فرسایش ابزار و زبری سطح ۹ دسته می‌باشند.

جدول ۱- آزمایشات تجربی فرایند تخلیه الکتریکی کاربرد تنگستن- کبالت [۹]

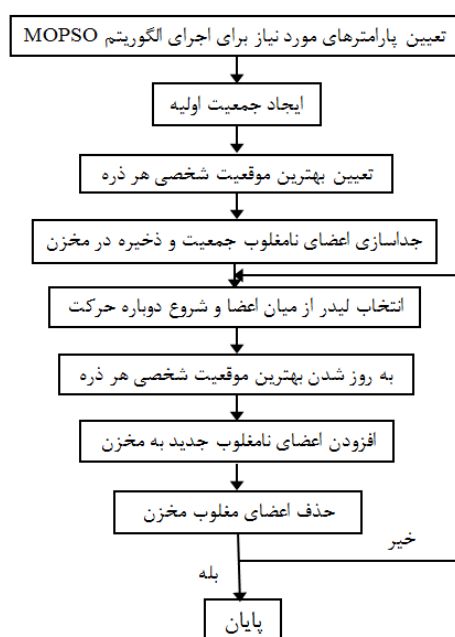
شماره آزمایش	تخلیه جریان (Amp)	زمان روشنی پالس (μs)	ولتاژ گپ (V)	نرخ براده برداری (mm ³ /min)	نرخ فرسایش ابزار (mm ³ /min)	زبری سطح (μm)
۱	۲	۵۰	۵۰	۰/۰۹۰۱	۰/۰۲۶۲	۳/۳۶۹
۲	۴	۵۰	۵۰	۰/۱۴	۰/۰۴۸۵	۳/۸۸۹
۳	۲	۱۰۰	۵۰	۰/۰۶۳	۰/۰۶۹۴	۴/۷۳
۴	۴	۱۰۰	۵۰	۷/۰۷	۰/۰۱۳۶	۶/۱۱۳
۵	۲	۵۰	۵۰	۰/۱۱۲	۰/۰۳۳۳	۳/۱۴۹
۶	۴	۵۰	۵۰	۰/۱۸۲	۰/۰۸۵۳	۳/۲۹۶
۷	۲	۱۰۰	۵۰	۰/۱۰۵	۰/۰۲۹۸	۴/۹۱۸
۸	۴	۱۰۰	۵۰	۰/۲۶۶	۰/۰۸۰۵	۵/۷۸۶
۹	۲	۵۰	۷۰	۰/۰۷۷	۰/۰۳۱۷	۵/۸۸۸
۱۰	۴	۵۰	۷۰	۰/۱۲۶	۰/۰۴۰۹	۳/۶۹۱
۱۱	۲	۱۰۰	۷۰	۰/۰۹۱	۰/۰۳۸۵	۴/۴۹۴
۱۲	۴	۱۰۰	۷۰	۰/۲۳۱	۰/۰۵۳۱	۵/۶۴۳
۱۳	۲	۵۰	۷۰	۰/۰۸۴	۰/۰۵۶۵	۳/۳۷۱
۱۴	۴	۵۰	۷۰	۰/۳۱۵	۰/۱۰۵۳	۳/۵۶۷
۱۵	۲	۱۰۰	۷۰	۰/۱۰۵	۰/۰۱۰۸	۴/۹۰۱
۱۶	۴	۱۰۰	۷۰	۰/۲۱۷	۰/۰۶۳۸	۵/۷۶۱
۱۷	۲	۷۵	۶۰	۰/۰۲۸	۰/۰۰۵۱	۲/۸۶۳
۱۸	۴	۷۵	۶۰	۰/۲۸۷	۰/۰۸۳۲	۴/۴۲۱
۱۹	۳	۵۰	۶۰	۰/۱۶۱	۰/۰۹۰۴	۲/۷۱
۲۰	۳	۱۰۰	۶۰	۰/۱۲۶	۰/۰۵۱۵	۵/۶۴۳
۲۱	۳	۷۵	۶۰	۰/۰۵۶	۰/۰۲۷۷	۴/۷۲۳
۲۲	۳	۷۵	۶۰	۰/۱۱۲	۰/۰۳۱۴	۳/۲
۲۳	۳	۷۵	۵۰	۰/۱۶۸	۰/۰۳۷۹	۴/۴۸۹
۲۴	۳	۷۵	۷۰	۰/۰۷۷	۰/۰۴۵۴	۴/۲۰۷
۲۵	۳	۷۵	۶۰	۰/۱۲۶	۰/۰۴۸۷	۴/۴۴۶
۲۶	۳	۷۵	۶۰	۰/۰۹۱	۰/۰۲۶۲	۳/۳۶۹
۲۷	۳	۷۵	۶۰	۰/۱۴	۰/۰۴۸۵	۳/۸۸۹
۲۸	۳	۷۵	۶۰	۰/۰۶۳	۰/۰۶۹۴	۴/۷۳
۲۹	۳	۷۵	۶۰	۰/۰۷	۰/۰۱۳۶	۶/۱۱۳
۳۰	۳	۷۵	۶۰	۰/۱۱۲	۰/۰۳۳۳	۳/۱۴۹
۳۱	۳	۷۵	۶۰	۰/۱۸۲	۰/۰۸۵۵	۳/۲۹۶

۳- الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات

الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات جزء الگوریتم‌های بهینه‌سازی فرا ابتکاری می‌باشد. برای اولین بار توسط ابرهات و کندی الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات به عنوان یک روش جستجوی غیر قطعی برای بهینه‌سازی تابعی مطرح گشت این الگوریتم از حرکت دسته جمعی پرندگانی که به دنبال غذا می‌باشند الهام گرفته شده است. گروهی از پرندگان در فضایی به صورت تصادفی دنبال غذا می‌گردند. تنها یک تکه غذا در فضای مورد بحث وجود دارد و هیچ یک از پرندگان محل غذا را نمی‌دانند در این صورت یکی از بهترین‌ها می‌تواند دنبال کردن پرنده‌ای باشد که کمترین فاصله را تا غذا داشته باشد با استفاده از این روش می‌توان مسایلی که جواب آنها یک نقطه یا یک سطح در فضای n بعدی می‌باشد برخورد نمود در چنین فضایی فرضیاتی مطرح می‌شود و یک سرعت ابتدایی به ذرات اختصاص داده می‌شود همچنین کانال‌های ارتباطی بین ذرات در نظر گرفته می‌شود سپس این ذرات در فضای پاسخ حرکت می‌کنند و نتایج حاصله بر مبنای یک ملاک شایستگی پس از هر بازه‌ی زمانی محاسبه می‌شود. با گذشت زمان ذرات به سمت ذراتی که دارای ملاک شایستگی بالاتری هستند و در گروه ارتباط یکسانی قرار دارند شتاب می‌گیرند مزیت اصلی این روش بر استراتژی‌های بهینه‌سازی دیگر این است که تعداد فراوان ذرات ازدحام کننده باعث انعطاف پذیری روش در برابر مشکل پاسخ بهینه محلی می‌شود [۱۱و۱۰].

۳-۱- الگوریتم MOPSO

در سال ۲۰۰۴ الگوریتم PSO توسط کوئلو (Coello) به MOPSO (الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه) تعمیم یافت که برای حل مسائل چند هدفه بکار می‌رود در الگوریتم PSO ابتدا یک سرعت اولیه به ذره داده می‌شود و در فضای پاسخ ذرات شروع به حرکت می‌کنند که به بهترین موقعیت شخصی هر ذره $pbest$ و به بهترین موقعیت ذره موجود در بین جمعیت را $gbest$ می‌گویند که بهترین مقدار بهینه می‌باشد. در الگوریتم MOPSO یک مفهومی به نام مخزن به PSO اضافه شده است و یک عضو از مخزن به عنوان لیدر انتخاب می‌شود این لیدر حتما باید عضو مخزن و نامغلوب باشد در الگوریتم MOPSO به جای $gbest$ یکی از اعضای مخزن انتخاب می‌شود در این الگوریتم چند ذره به عنوان هدف می‌باشند و در مجموعه جواب قرار دارند. ترتیب اجرای الگوریتم به شرح زیر می‌باشد: [12,11]



شکل ۲- چرخه الگوریتم MOPSO

۴- نتایج و بحث

با توجه به اهمیت پارامترهای نرخ براده برداری، نرخ فرسایش ابزار و زبری سطح فرآیند برشکاری تخلیه الکتریکی در این پژوهش نسبت به مدل سازی فرایند توسط منطق فازی اقدام گردید. در مدل ارائه شده پارامترهای تخلیه جریان، زمان روشنی پالس، چرخه جریان و ولتاژ گپ به عنوان پارامترهای تاثیرگذار بر نرخ براده برداری، نرخ فرسایش ابزار و زبری سطح در نظر گرفته شده و با پیاده سازی مدل منطق فازی نسبت به مدل کردن فازی اقدام گردید که نتایج حاصل از پیش بینی مدل فازی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- نتایج فرایند تخلیه الکتریکی کاربرد تنگستن- کبالت توسط مدل سازی فازی

شماره آزمایش	تخلیه جریان (Amp)	زمان روشنی پالس (μs)	ولتاژ گپ (V)	نرخ براده برداری (mm ³ /min)	نرخ فرسایش ابزار (mm ³ /min)	زبری سطح (μm)
۱	۲	۵۰	۵۰	۳/۵۳	۰/۰۱۸۲	۰/۱۰۷
۲	۴	۵۰	۵۰	۳/۹۹	۰/۰۴۴۴	۰/۱۴
۳	۲	۱۰۰	۵۰	۴/۹۱	۰/۰۷۰۶	۰/۰۶۱۹
۴	۴	۱۰۰	۵۰	۶/۱۸	۰/۰۱۸۱	۰/۰۶۲
۵	۲	۵۰	۵۰	۳/۱۷	۰/۰۳۱۳	۰/۱۰۷
۶	۴	۵۰	۵۰	۳/۲۷	۰/۰۹۶	۰/۱۷۷
۷	۲	۱۰۰	۵۰	۴/۹۱	۰/۰۳۱	۰/۱۰۷
۸	۴	۱۰۰	۵۰	۵/۸۳	۰/۰۸۳	۰/۲۹۵
۹	۲	۵۰	۷۰	۵/۸۸	۰/۰۳۱	۰/۰۶۱
۱۰	۴	۵۰	۷۰	۳/۶۳	۰/۰۴۴	۰/۱۴
۱۱	۲	۱۰۰	۷۰	۴/۹۱	۰/۰۳۱	۰/۱۰۷
۱۲	۴	۱۰۰	۷۰	۵/۶۳	۰/۰۵۷	۰/۲۵۴
۱۳	۲	۵۰	۷۰	۳/۳۷	۰/۰۵۷	۰/۰۶۲
۱۴	۴	۵۰	۷۰	۳/۵۳	۰/۱۰۷	۰/۳۰۹
۱۵	۲	۱۰۰	۷۰	۴/۹۱	۰/۰۰۸	۰/۱۰۷
۱۶	۴	۱۰۰	۷۰	۵/۸۳	۰/۰۵۷	۰/۲۱۷
۱۷	۲	۷۵	۶۰	۲/۷۶	۰/۰۱۱	۰/۰۳۸
۱۸	۴	۷۵	۶۰	۴/۴۵	۰/۰۸۳	۰/۲۹
۱۹	۳	۵۰	۶۰	۲/۷۱	۰/۰۹۶	۰/۱۷۷
۲۰	۳	۱۰۰	۶۰	۵/۸۳	۰/۰۵۷	۰/۱۴
۲۱	۳	۷۵	۶۰	۴/۹۱	۰/۰۳۱	۰/۱۷۷
۲۲	۳	۷۵	۶۰	۳/۱۷	۰/۰۳۱	۰/۱۰۷
۲۳	۳	۷۵	۵۰	۴/۴۱	۰/۰۶۲	۰/۱۲۲
۲۴	۳	۷۵	۷۰	۳/۹۹	۰/۰۴۴	۰/۰۶۲
۲۵	۳	۷۵	۶۰	۴/۲۱	۰/۰۶۲	۰/۱۲۲
۲۶	۳	۷۵	۶۰	۰/۰۹۱	۰/۰۲۶۲	۳/۳۶۹
۲۷	۳	۷۵	۶۰	۰/۱۴	۰/۰۴۸۵	۳/۸۸۹
۲۸	۳	۷۵	۶۰	۰/۰۶۳	۰/۰۶۹۴	۴/۷۳
۲۹	۳	۷۵	۶۰	۰/۰۷	۰/۰۱۳۶	۶/۱۱۳
۳۰	۳	۷۵	۶۰	۰/۱۱۲	۰/۰۳۳۳	۳/۱۴۹
۳۱	۳	۷۵	۶۰	۰/۱۸۲	۰/۰۸۵۵	۳/۲۹۶

با مقایسه نتایج آزمایشات تجربی و نتایج مدل‌سازی فازی مقدار درصد خطای مدل‌سازی انجام شده در پیش‌بینی پارامترهای نرخ براده برداری، نرخ فرسایش ابزار و زبری سطح به دست آمد که برای پارامتر نرخ براده برداری ۱/۵۸ درصد، در پیش‌بینی نرخ فرسایش ابزار ۰/۴۹ درصد و در پیش‌بینی زبری سطح ۷/۴۷ درصد می‌باشند.

در این پژوهش از داده‌های آزمایشات تجربی اثرزاده و قریشی [۹] برای مدل‌سازی فازی استفاده گردید ایشان از روش پاسخ سطح به منظور مدل‌سازی پارامترهای فرایند تخلیه الکتریکی استفاده کردند که درصد خطاهای ناشی از مدل‌سازی به روش پاسخ سطح و مدل‌سازی فازی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- مقایسه مدل‌سازی فازی با روش پاسخ سطح در فرایند تخلیه الکتریکی کاربرد تنگستن- کبالت

مدلسازی انجام شده برای پیش‌بینی پارامترها	درصد خطا در پیش‌بینی نرخ براده برداری	درصد خطا در پیش‌بینی نرخ فرسایش ابزار	درصد خطا در پیش‌بینی زبری سطح
پاسخ سطح	۸/۵۶ %	۹/۴۵ %	۶/۴۵ %
منطق فازی	۱/۵۸ %	۰/۴۹ %	۷/۷۴ %

سپس با استفاده از الگوریتم MOPSO پارامترهای مورد نظر بهینه سازی گردید که نشان داد با انتخاب پارامترهای صحیح فرآیند، امکان بهبود پارامترها وجود دارد. مقدار بهینه به دست آمده برای زبری سطح برابر با $2/854 \text{ (}\mu\text{m)}$ و برای نرخ براده برداری برابر با $0/378 \text{ (mm}^3/\text{min)}$ و نرخ سایش ابزار $0/049 \text{ (mm}^3/\text{min)}$ می‌باشد که از بهترین مقدار به دست آمده توسط آزمایش‌های تجربی بهتر می‌باشند.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر برای مدل‌سازی فازی از نتایج تجربی بدست آمده از آزمایشات اثرزاده و قریشی استفاده گردید. با مقایسه نتایج آزمایشات تجربی و نتایج مدل‌سازی فازی مقدار درصد خطای مدل‌سازی انجام شده در پیش‌بینی پارامترهای نرخ براده برداری، نرخ فرسایش ابزار و زبری سطح به دست آمد که درصد خطا در پیش‌بینی پارامتر نرخ براده برداری ۱/۵۸ درصد، در پیش‌بینی نرخ فرسایش ابزار ۰/۴۹ درصد و در پیش‌بینی زبری سطح ۷/۷۴ درصد به دست آمدند و با روش پاسخ سطح انجام شده توسط اثرزاده و قریشی مقایسه گردید که نشان داد درصد خطا در مدل فازی نسبت به روش پاسخ سطح به طور قابل توجهی کاهش یافته است. مقدار کم خطای مدل پیشنهادی نشان از کاربردی بودن روش ارائه شده برای پیش‌بینی پارامترهای فرایند تخلیه الکتریکی است. سپس با استفاده از الگوریتم MOPSO پارامترهای مورد نظر بهینه سازی گردید که نشان داد با انتخاب پارامترهای صحیح فرآیند، امکان بهبود پارامترها وجود دارد. مقدار بهینه به دست آمده برای زبری سطح برابر با $2/854 \text{ (}\mu\text{m)}$ و برای نرخ براده برداری برابر با $0/378 \text{ (mm}^3/\text{min)}$ و نرخ سایش ابزار $0/049 \text{ (mm}^3/\text{min)}$ می‌باشد که از بهترین مقدار به دست آمده توسط آزمایش‌های تجربی بهتر می‌باشند.

مراجع

۱. مهدوی نژاد، رمضانعلی . (۱۳۹۳)، "روش‌های نوین تولید"، دانشگاه تهران، موسسه انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
2. David, L. G., (1990). "Advance Manufacturing Technology. Delmar Publishers.
3. Kalpakjian, S., (1995). "Manufacturing engineering and technology". Addison-Wesley.
4. Abbas, N.M., Solomon, D.G and Bahari, M.F., (2007). "A review on current research trends in electrical discharge machining (EDM)," International Journal of Machine Tools and Manufacture, 47, pp. 1214–28.
5. Yang, S.H. Srinivas, J. Mohan, S. Lee, D.M. Balaji, S. (2009), "Optimization of electric discharge machining using simulated annealing," Journal of Materials Processing Technology, 209, pp 4471-4475.
6. Habib, S. S. (2009). "Study of the parameters in electrical discharge machining through response surface methodology approach," Applied Mathematical Modeling, 33, pp 4397–4407.

7. Zadeh, A. (1965). "Fuzzy sets," Information and control, pp 338-353.
8. Zadeh, A. (1975). "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning," Information sciences, pp 199-249.
9. Assarzadeh, S and Ghoreishi, M. (2013). "Statistical modeling and optimization of process parameters in electro-discharge machining of cobalt-bonded tungsten carbide composite (WC/6%Co), Procedia CIRP 6 , pp 463-468.
10. Kennedy J., and Eberhart R., (1995). Particle swarm optimization, In :Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks. pp. 1942-1948.
11. Shi, Y., and Eberhart, R., (1998). A modified particle swarm optimizer ,In :Proceedings of IEEE International Conference on Evolutionary Computation Proceedings, 1998. IEEE World Congress on Computational Intelligence. pp. 69-73,

طراحی بهینه ریز شبکه تحت مد عملکرد جزیره‌ای با هدف بهبود قابلیت اطمینان و کاهش هزینه در شرایط مختلف جوی با استفاده از الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب

نادر مرتضوی^{۱*}، بهنام علیزاده^۱، علیرضا سبحان^۱، مازیار میرحسینی مقدم^۱

۱- گروه الکترونیک، دانشکده فنی و حرفه ای شهید رجایی لاهیجان، دانشگاه فنی و حرفه ای گیلان، ایران
n.motazavi95@stumail.ac.ir

چکیده

هدف اصلی برای طراحی سیستمهای تولید میکرو شبکه هایبرید ایجاد یک منبع تغذیه مطمئن برای بار تحت تغییرات شرایط آب و هوایی با حداقل هزینه و بیشترین قابلیت اطمینان می‌باشد. در این مقاله، طراحی یک سیستم میکروگرید هایبرید توربین بادی-فتوولتائیک با حضور منابع ذخیره ساز الکتریکی باتری و الکتروشیمیایی الکترو لایزر، تانک هیدروژن و پیل سوختی برای بهره‌برداری طی ۲۰ سال آینده با رشد بار ۱۰٪ به طور سالیانه پیشنهاد می‌شود. در نظر گرفتن عدم قطعیت مربوط به انرژی های تجدیدپذیر شامل خرابی های توربین های بادی و منابع خورشیدی تا پنج خروج به طور همزمان علاوه بر خروجی متغیر توربین بادی وابسته به شرایط آب و هوایی و همچنین خرابی اینورتر برای ارزیابی قابلیت اطمینان میکرو شبکه با بکارگیری مدل درخت احتمال مورد بررسی قرار گرفته است. از الگوریتم چندین هدفه ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب NSGA-II برای کمینه سازی سه هدف هزینه سالیانه سیستم، بار از دست رفته و انرژی تامین نشده انتظاری استفاده می‌شود. هزینه‌های سیستم شامل سرمایه‌گذاری، جایگزینی و هزینه تعمیرات-نگهداری تجهیزات می‌شود. بمنظور اعتبارسنجی و تایید کارایی مدل پیشنهادی، مطالعات شبیه‌سازی برای حل بهینه مسئله سایزینگ تجهیزات به کار گرفته می‌شود. **واژگان کلیدی:** شرایط جوی، ذخیره سازهای الکتریکی و الکتروشیمیایی، عدم قطعیت و ارزیابی قابلیت اطمینان، سایزینگ منابع میکرو شبکه، الگوریتم چندین هدفه ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب NSGA-II.

۱- مقدمه

منابع انرژی تجدیدپذیر پتانسیل بالایی برای بهبود تنوع منبع تغذیه بازار برق، منبع انرژی تجدیدپذیر بلند مدت ایمن و کاهش آلودگی محلی و کلی اتمسفر در بهره‌برداری از میکرو شبکه‌های امروزی دارند [1-2]. بواسطه ظرفیت کم منابع انرژی تجدیدپذیر، کاربرد منابع انرژی تولید پراکنده بسیار مورد توجه قرار گرفته است که می‌تواند قدرت را در سمت تقاضا یا در یک شبکه کوچک الکتریکی فراهم کند. واحدهای توربین بادی و فتوولتائیک به طور گسترده برای تامین بار در نواحی دور افتاده استفاده می‌شوند. تولید منابع انرژی توربین بادی و خورشیدی ماهیت غیر قابل پیش بینی دارند. یکی از راهکار غلبه بر مشکلات طراحی و سایزینگ ظرفیت بیش از نیاز است که به هر حال این ممکن است که هزینه بر شود. راهکار دیگر استفاده از ذخیره سازهای انرژی برای سیستم هایبرید میکرو شبکه شامل منابع توربین بادی و فتوولتائیک است تا مشخصات مکمل منابع بادی و خورشیدی را باهم ترکیب نماید [3-4]. معمولا در ساختار میکرو شبکه واحدهای تولیدی به یک باس DC مشترک متصل شده‌اند و یک ترکیبی از تانک هیدروژن، الکترو لایزر و پیل سوختی در کنار باتری خانه به عنوان سیستم ذخیره ساز انرژی در نظر گرفته می‌شود. با مطالعاتی که انجام شده است این سیستم هم برای ذخیره سازی انرژی در بازه های زمانی کوتاه مدت و هم بلند مدت کاربرد دارد [5]. در یک میکرو شبکه قدرت از طریق یک اینورتر به صورت AC تبدیل شده و بارها را تغذیه می‌کند. به هر حال، یک دیزل ژنراتور هم می‌تواند وظیفه تولید را با هزینه کمتر ایفا نماید که البته با مصرف سوخت منجر به آلودگی محیط می‌شود. با توجه به منابع دسترس میکروگرید بزرگترین چالش در طراحی چنین سیستمهایی تامین منبع تولید قابل اطمینان برای بار تحت شرایط آب و هوایی

مختلف است البته با توجه به شرایط بهره برداری و هزینه سرمایه گذاری تجهیزات. بنابراین، هدف طراحی بهینه یک سیستم هایبرید برای منبع اقتصادی و قابل اطمینان برای بار است. مطالعات زیادی تاکنون در ارتباط با موضوع مذکور انجام شده است که در ذیل به برخی از آنها خواهیم پرداخت. در مرجع [6]، برنامه ریزی غیر خطی برای یافتن سائز بهینه و مکان توربین های بادی متصل به شبکه بر اساس شبیه سازی سناریوهای متنوع محتمل استفاده شده است. الگوریتمهای جستجوی مبتنی بر تکرار برای سائزینگ سیستم هایبرید PV/WG با ذخیره ساز باتری استفاده شده است. انحراف احتمالی منبع تغذیه و احتمال از دست رفتن منبع تغذیه به عنوان یک معیار تکنیکی برای حل تکراری تعیین سائز بهینه سیستم توربین بادی و خورشیدی بوسیله باتری مورد استفاده قرار گرفته است. در مرجع [7] تاثیر عدم قطعیت بار بر بهینه سازی اندازه یک سیستم فتوولتایک جدا از شبکه برای مصارف خانگی را بررسی کردند. در این سیستم منابع غیر قابل پیش بینی و مصارف نامعلوم را در نظر گرفتند تا بیشترین قابلیت اطمینان و بهترین قیمت را داشته باشند. آنها با توجه به عدم قطعیت پروفایل بار مدل بهینه ای برای سیستمهای فتوولتایک، براساس روش موثر مدلسازی انرژی مورد نیاز مصارف خانگی، روش تصادفی جدید پروفایل بار روزانه، آنالیز اقتصادی-فنی شبیه سازی حالت مانا باتری و سیستمهای فتوولتایک و تخمین اندازه بهینه سیستم به کمک روش عددی بر اساس قیمت روز برق و احتمال تلفات بار ارائه کردند. نتایج حاصله نشان داد که آرایش بهینه سیستم متأثر از پروفایل بار است. نتیجتاً یک روش برای تعیین کردن راه حل مقاوم با در نظر گرفتن عدم قطعیت ارائه کردند. در مرجع [8]، تاثیرات عدم قطعیت در پارامترهای بهره برداری و قابلیت اطمینان پیل سوختی مورد مطالعه قرار گرفت بدین ترتیب که عدم قطعیت و قابلیت اطمینان در فاز طراحی هر سیستم مقاوم و کاربردی بایستی مورد توجه قرار گرفته است. این پیشنهاد یک نیرو محرکه مناسب برای توجه به تاثیر قابلیت اطمینان تجهیزات بر روی طراحی اقتصادی سیستمهای تجدیدپذیر در میکروشبکه های منفصل بوده است. در مرجع [9]، یک سیستم ترکیبی از تکنولوژی های مختلف برای حل مشکل قابلیت اطمینان و کاهش هزینه ها میکروشبکه ارائه کردند. بعلاوه، این سیستم تک شینه و جدا از شبکه برق بوده است در این حالت می توان بر کمبودهای سیستم غلبه کرد. آنها به بررسی چهار نقطه از ایران پرداختند و براساس نقشه تابش خورشید و سرعت متوسط وزش باد، بهینه سازی فنی-اقتصادی سیستم را با استفاده از شبیه سازی رفتار ترکیب های متفاوت انرژی های تجدیدپذیر با اندازه های متفاوت شامل توربین باد، فتوولتایک، پیل سوختی و باتری انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که سیستم شامل توربین باد و سیستمهای فتوولتایک و باتری (جهت پشتیبانی سیستم) کم هزینه تر از سایر سیستمها است. در مرجع [10]، یک روش برای بهینه سازی تعیین سطح و اندازه یک DG با توجه به ماکزیمم کردن ظرفیت بار سیستم بدون آسیب به قیود ارائه کردند. این قیود شامل سطح نفوذ DG، محدودیت خط و دامنه ولتاژ است. آنها با استفاده از الگوریتم HPSO موقعیت و اندازه DG را بهینه کردند به طوری که ظرفیت بار سیستم ماکزیمم و تلفات توان کمینه شود. آنها این روش را برای یک شبکه شعاعی شامل یک سیستم ۳۳ شینه و یک سیستم ۱۶ شینه و یک سیستم ۶۹-شینه تست و نتایج را با روش سنتی مقایسه کردند. در نهایت مشاهده نمودند که HPSO نتایج را نسبت به روش قبل بهبود می بخشد. مرجع [11] برای یافتن اندازه بهینه سیستم قدرت هایبرید باتری/فتوولتایک/توربین بادی با توجه به شاخص قابلیت اطمینان از دست رفتن احتمالی منبع تغذیه از ترکیب الگوریتم ژنتیک و باکتری استفاده کرده است. به هر حال، به احتمال خرابی اجزای سیستم ریزشبکه نظیر توربین بادی و منابع فتوولتایک توجه نکرده است. در مرجع [12] با در نظر گرفتن یک سیستم تک شینه شامل توربین-ژنراتور باد ۲۵ کیلووات، سیستم های فتوولتایک ۵ کیلووات و یک دیزل ژنراتور ۳۰ کیلووات با استفاده از مدل مارکوف در الگوریتم ژنتیک برنامه ریزی کردند به طوری که هزینه سوخت و انتشار کربن دی اکسید به کمینه شود. از مقایسه روش پیشنهادی با روشهای کلاسیک به این نتیجه رسیدند که روش جدید قادر به پاسخگویی سریعتر است. در این مقاله، الگوریتم چندین هدفه ژنتیک رتبه بندی نامغلوب برای کمینه سازی هزینه ها سیستم ریزشبکه هایبرید، شاخص های قابلیت اطمینان بار از دست رفته و انرژی از دست رفته با توجه به محدودیت های بهره برداری و فنی طی ۲۰ سال آینده با در نظر گرفتن رشد بار ۱۰٪ انجام می شود. بخش های بعدی این مقاله بترتیب ذیل سازماندهی شده است: در بخش دوم، یک سیستم هایبرید میکروشبکه شامل منابع تولید توربین بادی و ماژول فتوولتایک با حضور ذخیره سازهای الکتریکی و الکتروشیمیایی توصیف می گردد سپس استراتژی بهره برداری از میکروشبکه تشریح می شود. در بخش سوم، مدلسازی مسئله طراحی ریزشبکه به همراه ارزیابی قابلیت اطمینان/هزینه با توجه به عدم قطعیت های موجود در زمان بهره برداری توسعه می یابد. نحوه کدسازی مسئله درون الگوریتم بهینه سازی چند هدفه در بخش چهارم آورده شده است و در بخش پنجم مطالعات عددی با هدف اعتبارسنجی مدل پیشنهادی ارائه می گردد و در بخش ششم، به بیان نتایج حاصل از شبیه سازی خواهیم پرداخت.

۲- مدل سازی سیستم ریز شبکه هایبرید

۲-۱- سیستم تولید ریز شبکه شامل توربین بادی و فتوولتاییک PV/WG

اطلاعات مربوط به سرعت باد و تابش برای یک سیستم تحت مطالعه طی زمان یک سال بهره برداری مفروض است و میزان تولید فتوولتاییکی PV و توربین بادی WG قابل محاسبه می باشد.

۲-۱-۱- منبع فتوولتاییک PV

آرایه های pv معمولاً به سیستم ردیاب ماکزیمم مجهز هستند و آن مسئول باقیماندن نقطه کار سیستم برای خروجی نزدیک به مقدار ماکزیمم می باشد. معمولاً، این سیستمها منجر به افزایش ۳۰٪ در مقدار میانگین انرژی استخراج شده از آرایه pv و به عنوان یک نتیجه، آن به لحاظ اقتصادی مسئول قرار گرفتن آنها درون یک سیستم هایبرید است. اگر اندیس G تابش عمود به سطح پنل بر حسب وات بر مترمربع است. Ppv توان نامی برای هر آرایه در تابش ۱۰۰۰ وات بر متر مربع و اندیس η_{mppt} راندمان کانورتر dc-dc آرایه pv و سیستم ردیاب توان ماکزیمم می باشد. بر اساس اطلاعات آماری توان خروجی پنل فتوولتاییک مطابق رابطه (۱) قابل محاسبه می باشد.

$$P_{PV} = \frac{G}{1000} \times P_{PV, rated} \times \eta_{pv, conv} \quad (1)$$

۲-۱-۲- مدل سازی توربین بادی WG

منحنی عملکرد WG که در واقع توان خروجی بر حسب سرعت باد می باشد معمولاً توسط کارخانه سازنده در دسترس است و توان اکتیو انتقال داده شده به باس DC را نشان می دهد. اینجا، منحنی توان در مقابل سرعت باد با معادلات (۲) تعریف می گردد.

$$P_{WT} = \begin{cases} 0 & ; v_w \leq v_{cutin}, v_w \geq v_{cutout} \\ P_{WTmax} \times \left(\frac{v_w - v_{cutin}}{v_{rated} - v_{cutin}} \right)^m & ; v_{cutin} \leq v_w \leq v_{rated} \\ P_{WTmax} + \frac{P_{furl} - P_{WTmax}}{v_{cutout} - v_{rated}} \times (v_w - v_{rated}) & ; v_{rated} \leq v_w \leq v_{cutout} \end{cases} \quad (2)$$

که $P_{wg, max}$ و $P_{wg, furl}$ توان خروجی WGs بترتیب در سرعت نامی و قطع هستند. بنابراین، در معادله ۲، v_w به سرعت باد در بلندی برج WG ارجاع داده می شود. مقادیر اندازه گیری در هر ارتفاعی را می توان به سرعت در ارتفاع نصب از طریق قائده توان مطابق رابطه (۳) تبدیل نمود که اندیس α ثابت قائده توانی است این مقادیر برای مکانهای صاف کمتر از ۰٫۱ متغیر است، برای نواحی جنگلی پر تراکم با برف و باران بیشتر از ۰٫۲۵ است. معمولاً ضریب ۰٫۱۴ یک مرجع خوب برای نواحی تقریباً صاف نظیر علفزارها با درخت ها و ساختمان های بلند می باشد.

$$V_w = V_w^{measure} \times \left(\frac{h_{hub}}{h_{measure}} \right)^\alpha \quad (3)$$

۲-۲- سیستم ذخیره ساز میکرو شبکه

۲-۲-۱- مدل سازی عملکرد الکترو لایزر، تانک هیدروژن و پیل سوختی

همان طور که اشاره شد وظیفه الکترو لایزر تجزیه آب به هیدروژن و اکسیژن توسط فرایند ساده الکترو لیز می باشد. بدین ترتیب که جریان مستقیم الکتریسیته از مسیر بین دو الکترود که در آب غوطه ورنده عبور کرده و باعث تجزیه آب به اکسیژن و هیدروژن می گردد. اکسیژن در سمت کاتد و هیدروژن در سمت آنود تولید می شود. هیدروژن معمولاً در فشاری حدود ۳۰ بار تولید می گردد، این در حالی است که برای تولید الکتریسیته در یک پیل سوختی PEMFC کافی است که فشار مواد واکنش دهنده ۱٫۲ بار (حدوداً کمی بیشتر از فشار هوا) باشد به عنوان یک نتیجه در بسیاری از مطالعات خروجی الکترو لایزر مستقیماً به تانک هیدروژن تزریق

می‌شود برای مدل‌سازی عملکرد الکترولایزر بمنظور تغذیه تانک هیدروژن از رابطه (۴) استفاده می‌شود. اندیس η_{el} راندمان الکترولایزر است که برای کلیه زمانهای بهره‌برداری ثابت فرض شده است.

$$P_{El-tank} = P_{Ren-ele} \times \eta_{el} \quad (4)$$

در برخی موارد، به منظور افزایش چگالی هیدروژن ذخیره شده بعضاً فشار آن را تا ۲۰۰ بار نیز افزایش می‌دهند. همچنین به منظور کاهش مصرف انرژی لازم برای متراکم کردن هیدروژن، از دو تانک ذخیره‌ساز استفاده می‌شود. خروجی الکترولایزر مستقیماً به تانک اول متصل می‌شود، پس از پر شدن تانک اول، کمپرسور روشن شده و هیدروژن درون این تانک را پس از متراکم کردن وارد تانک دوم که، تانک پرفشار نامیده می‌شود، می‌کند. بدین ترتیب از کار کردن متوالی کمپرسور پرهیز شده و در مجموع انرژی کمتری مصرف می‌شود. در مدل پیشنهادی الکترولایزر مستقیماً به تانک هیدروژن متصل شده است انرژی ذخیره شده در تانک به صورت هیدروژن برای هر گام زمانی از رابطه (۵) قابل محاسبه می‌باشد.

$$E_{tank}(t) = E_{tank}(t-1) + \left(P_{Elec-tank}(t) - \frac{P_{tank-FC}(t)}{\eta_{storage}} \right) \times \Delta t \quad (5)$$

در رابطه فوق، اندیس P_{tank_FC} توان انتقالی از تانک هیدروژن به پیل سوختی و اندیس P_{elec_tank} توان انتقالی از الکترولایزر به تانک هیدروژن می‌باشند. اندیس $\eta_{storage}$ نیز معرف بازدهی سیستم ذخیره‌ساز است که می‌تواند نشان‌دهنده تلفات ناشی از نشتی و یا پمپاژ باشد معمولاً برای اکثر حالات کاری معادل ۹۵٪ است. جرم هیدروژن ذخیره شده در هر گام زمانی مطابق رابطه (۶) قابل محاسبه می‌باشد:

$$m_{tank} = \frac{E_{tank}(t)}{HHV_{H_2}} \quad (6)$$

که، مقدار گرمای بالای هیدروژن تعادل ۳۹،۷ کیلووات ساعت بر کیلوگرم است. این ارزشمند است که یادآوری کنیم مقدار هیدروژن ذخیره شده دارای یک حد بالا و پایین است. این غیر ممکن است که جرم ذخیره شده هیدروژن از مقدار ظرفیت نامی تانک تجاوز ننماید. به عبارت دیگر، به دلیل برخی مشکلات مثلاً افت فشار هیدروژن ممکن است کسری از آن قابل استخراج نباشد. این کسر مقدار حد پایین ذخیره انرژی می‌باشد. پیل‌های سوختی تجهیزاتی الکتروشیمیایی می‌باشند که انرژی شیمیایی را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌نمایند. پیل‌های سوختی غشاء پروتونی دارای کارکرد قابل اطمینانی تحت شرایط کار ناپیوسته می‌باشند و انواع صنعتی آن در مقیاس زیاد تولید شده‌اند و به صورت تجاری در دسترس هستند. این نوع پیل سوختی برای کاربردهای درجا و بزرگ مناسب است و دارای پاسخ دینامیکی نسبتاً سریعی، در حدود ۱ تا ۳ ثانیه می‌باشد. توان خروجی این پیل سوختی به صورت تابعی از توان هیدروژن ورودی به آن و همچنین بازدهی آن (η_{FC})، که می‌توان آن را ثابت فرض نمود، از رابطه (۷) قابل محاسبه است.

$$P_{FC-inv} = P_{tank-FC} \times \eta_{FC} \quad (7)$$

۲-۲-۲- مدل‌سازی عملکرد باتری

در اینجا فرض شده است که باتری علاوه بر تانک هیدروژن برای تامین بار تحت شرایط عدم کفایت منبع انرژی تجدیدپذیر مورد استفاده قرار می‌گیرد و در ساعت بیشبود انرژی شارژ می‌شود. اختلاف بین توان تولید شده و توان مورد نیاز بار نشان می‌دهد که آیا باتری باید شارژ و یا دشارژ گردد. مقدار شارژ بانک باتری در دوره ی زمانی t با استفاده از رابطه (۸) بدست می‌آید.

$$E_{bat}(t) = E_{bat}(t-1) + (P_{Gen-bat}(t) \times \eta_{bat-charge}) - (P_{bat-inv}(t) / \eta_{dis-bat}) \quad (8)$$

که در رابطه فوق $E_{bat}(t)$ و $E_{bat}(t-1)$ معرف مقدار شارژ بانک باتری در دوره های زمانی $t, t-1$ می‌باشند، اندیسهای $\eta_{bat-charge}$ و $\eta_{dis-bat}$ به ترتیب بازدهی شارژ و دشارژ بانک باتری می‌باشند. اندیس‌های $P_{Gen-bat}$ و $P_{bat-inv}$ به ترتیب توان انتقالی از منابع تجدیدپذیر به باتری و توان انتقالی از باتری به مبدل DC/AC بر حسب کیلووات را نشان می‌دهد. انرژی ذخیره شده در باتری نیز باید طبق رابطه (۹) در محدوده مجاز بهره‌برداری باشد. دو وضعیت شارژ و دشارژ باتری به طور همزمان در یک زمان اتفاق نمی‌افتد. فرض بر این است که شرایطی مشابه با عملکرد سیستم الکترولایزر و پیل سوختی برای باتری نیز وجود خواهد داشت.

$$E_{bat,min}(t) \leq E_{bat}(t) \leq E_{bat,max}(t) \quad (9)$$

۳-۲- اینورتر یا مبدل DC/AC

اینورترها یا مبدل DC/AC توان الکتریکی DC را جهت مصرف بار به توان AC با فرکانس مطلوب بار تبدیل می‌کند. اثر تلفات مبدل را می‌توان با بازدهی آن η_{inv} مدلسازی نمود که معمولاً تقریباً نزدیک به ۹۰٪ برای همه کاربردها مقدار ثابتی است. بنابراین طبق رابطه (۸) خواهیم داشت.

$$P_{inv-load} = (P_{FC-inv} + P_{Gen-inv})\eta_{inv} \quad (10)$$

تحت همه شرایط بالا، محدودیت‌های تجهیزات مورد توجه است و معادلات ارائه شده برای ریزشکبه برقرار است. قوانین و استراتژی پیشنهادی ما برای بهره‌برداری از میکروشکبه‌هایبرید مطابق ذیل می‌باشد:

اگر $Pren(t) = Pload/\eta_{inv}$ ، پس تمام توان تولیدی توسط منابع تجدیدپذیر از طریق اینورتر به بار تغذیه می‌شود و هیچ عملیات شارژ و دشارژ در میکروشکبه اتفاق نخواهد افتاد.

اگر $Pren(t) > Pload/\eta_{inv}$ ، پس توان مازاد به باتری الکتریکی انتقال می‌یابد. اگر توان تزریقی ظرفیت نامی باتری بیشتر شود از طریق الکترولایزر در ذخیره‌تنگ هیدروژن ذخیره می‌گردد.

اگر $Pren(t) < Pload/\eta_{inv}$ ، توان ذخیره شده توسط باتری تامین خواهد شد. اگر توان ذخیره شده در باتری کمتر از بار شبکه شد آنگاه می‌بایست از طریق پیل سوختی برای تامین بار استفاده نمود و اگر مجموع این دو منبع ذخیره‌ساز قادر به تامین بار نباشد بایستی بخشی از بار میکروشکبه قطع شود.

۳- ارزیابی هزینه/قابلیت اطمینان میکروشکبه‌هایبرید

۳-۱- ارزیابی هزینه بهره‌برداری سالیانه از تجهیزات

هدف این مقاله در واقع طراحی بهینه میکروشکبه در مد عملکرد جزیره‌ای مبتنی بر انالیز هزینه/قابلیت اطمینان سیستم‌هایبرید WG/PV است. متغیرهای بهینه‌سازی مسئله شامل تعداد توربین‌های بادی، تعداد آرایه‌های فتوولتاییک و تعداد الکترولایزر، تنگ هیدروژن و پیل سوختی است. هزینه سیستم شامل هزینه سرمایه‌گذاری سالیانه هر تجهیز CCi ، جایگزینی هر تجهیز RCi ، تعمیرات و نگهداری هر تجهیز $O \& M Ci$ طی ۲۰ سال مطابق رابطه (۱۱) می‌شود.

$$ACi = Ni \times \{ [CCi + RCi \times (Ki(ir, Li, yi)) + O \& M Ci] \} \quad (11)$$

اندیس ir نرخ مورد علاقه بازگشت سرمایه واقعی که تابعی از نرخ مورد علاقه نامی و نرخ تورم سالیانه به صورت رابطه (۱۲) تعریف می‌شود:

$$ir = \frac{ir_n - fr}{1 + fr} \quad (12)$$

مقادیر CRF و K فاکتور بازیابی سرمایه و ارزش پرداختی واحد هستند. اندیسهای L و Y بترتیب طول عمر مفید و تعداد جایگزینی تجهیزات حین عمر مفید پروژه می‌باشد. تعداد جایگزینی تجهیز fri تابعی ساده از عمر مفید پروژه می‌باشد [13]. سیستم برای یک سال معادل یک ساعت گام زمانی شبیه‌سازی می‌شود و مطالعه ارزیابی هزینه/قابلیت اطمینان طی سه سطح بار طی گام‌های زمانی متناظر انجام می‌شود.

۳-۲- ارزیابی هزینه/قابلیت اطمینان میکروشکبه‌هایبرید

در اینجا از عدم قطعیت بار و پیش‌بینی تابش خورشید چشم‌پوشی شده است. عدم قطعیت مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر شامل خرابی‌های توربین‌های بادی و منابع خورشیدی تا پنج خروج به طور همزمان علاوه بر خروجی متغیر توربین بادی وابسته به شرایط آب و هوایی و همچنین خرابی اینورتر برای ارزیابی قابلیت اطمینان میکروشکبه از مدل سناریوپردازی درخت احتمال استفاده شده است. اندیسهای ارزیابی قابلیت در اینجا شامل LOLE و LOEE بترتیب مطابق روابط (۱۳) و (۱۴) می‌باشد.

$$LOLE = \sum_{t=1}^N E [LOL(t)] \quad (13)$$

$$\begin{aligned}
 E[LOL] &= \sum_{s \in S} T_s \times P_s \\
 E[LOE] &= \sum_{s \in S} Q_s \times P_s \\
 LOEE = EENS &= \sum_{t=1}^N E[LOE(t)]
 \end{aligned} \tag{۱۴}$$

در رابطه فوق، $E[LOL(t)]$ امید ریاضی قطع بار در گام زمانی t ام بوده که مطابق زیر قابل تعریف می‌باشد. که در این رابطه P_s احتمال قرار گرفتن در وضعیت s و T_s مدت زمان قطع بار در صورت قرار گرفتن در این وضعیت می‌باشد. S نیز مجموعه کل سناریوهای ممکن برای سیستم است. در اینجا $E[LOE(t)]$ امید ریاضی مقدار بار از دست رفته در بازه زمانی t ام بوده که با رابطه (۱۴) قابل تعریف است. که Q_s مقدار بار از دست رفته بر حسب کیلووات در صورت قرار گرفتن در وضعیت s می‌باشد. احتمال از دست رفتن منبع (LPSP) که $D(t)$ معادل میزان تقاضای بار بر حسب کیلووات در گام زمانی t ام می‌باشد در نهایت ضریب قطع معادل بار را نیز می‌توان به صورت (۱۵) تعریف نمود:

$$LPSP = \frac{LOEE}{\sum_{t=1}^N D(t)}, \tag{۱۵}$$

$$ELF = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \frac{Q(t)}{D(t)}$$

از آنجایی که ELF در برگرنده اطلاعات بیشتری، هم درباره تعداد قطعی‌ها (N) و هم مقدار آن‌ها ($Q(t)$)، می‌باشد، در این مقاله از آن به عنوان معیار اصلی قابلیت اطمینان استفاده می‌گردد. بیشینه مجاز برای ELF برای سیستم مستقل از شبکه برابر با ۰/۰۱ در نظر گرفته شده است. برای هر سناریو رخداد احتمالی، پس از خرابی تعدادی واحد فتوولتاییک و توربین بادی و کمبود ظرفیت تولید به واسطه پیش بینی نادرست سرعت باد توان تزریق شده از طریق منابع باقیمانده به باس DC مطابق رابطه (۱۶) و (۱۷) محاسبه می‌شود.

$$P_{ren}(n_{WG}^{Fail}, n_{pv}^{Fail}) = (N_{WG} - n_{WG}^{Fail}) \times P_{WG} + (N_{pv} - n_{pv}^{Fail}) \times P_{pv} \tag{۱۶}$$

$$P_{WG} = P_{WG} - P_{ERROR-Forcasting_{WG}} \tag{۱۷}$$

که، N_{WG} ، N_{pv} ، n_{WG}^{Fail} و n_{pv}^{Fail} به ترتیب تعداد پنل‌های منصوب و خرابی دیده توربین بادی و پنل‌های فتوولتاییک است. اندیس P_{WG} و P_{pv} ظرفیت تولید نامی است که فرض شده برای توربین های بادی در پیش‌بینی تولید دارای عدم قطعیت هستند. دسترس پذیری و عدم دسترس پذیری هر یک از المان‌ها به طرز چشمگیری بر روی قابلیت اطمینان سیستم تاثیر می‌گذارد. تجهیزات ممکنه در دسترس نباشند به دلیل آنکه برنامه‌ریزی شده‌اند (برنامه تعمیرات) و یا اجباری (خرابی تجهیزات) رخ داده باشد. آنالیز قابلیت اطمینان معمولاً برای بدترین شرایط انجام می‌شود نرخ خرابی واحد FOR برای توربین بادی و فتوولتاییک ۰،۰۴ فرض شده است به عنوان یک نتیجه، این تجهیزات با احتمال ۰،۹۶ دسترس پذیر خواهند شد. احتمال حضور در هر یک از حالات ظرفیت تولید از طریق تابع توزیع دوجمله ای قابل محاسبه می‌باشد مطابق رابطه (۱۸) احتمال حضور در هر یک از حالت محاسبه می‌شود. چون دیگر تجهیزات قابل حرکت دادن نیستند و به طور داخلی نصب شده‌اند احتمال خروج اجباری آنها در مقایسه با آرایه های PV و WGs بسیار پایین تر و قابل چشم پوشی است. باید اشاره کرد که اینورتر نقش بسیار حیاتی را در تامین بار میکرو شبکه بازی می‌کنند و از دست رفتن آن به منزله از دست رفتن کل بار شبکه می‌باشد. بنابراین در نظر گرفتن خرابی اینورتر در ارزیابی قابلیت اطمینان یک سیستم هایبرید بسیار مهم و ضروری است اگر چه FOR آن بسیار کوچک باشد.

$$f_{ren}(n_{WG}^{Fail}, n_{pv}^{Fail}) = \left[\left(\frac{N_{WG}}{n_{WG}^{Fail}} \right) \times A^{N_{WG}-n_{WG}^{Fail}} (1-A_{WG})^{n_{WG}^{Fail}} \right] \times \left[\left(\frac{N_{pv}}{n_{pv}^{Fail}} \right) \times A^{N_{pv}-n_{pv}^{Fail}} (1-A_{pv})^{n_{pv}^{Fail}} \right] \tag{۱۸}$$

تاکنون مطالعه جامعی در ارتباط با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان اینورتر دیده نشده است اما دسترس پذیری آن به راحتی می‌تواند با ترکیب در حالات سیستم تحلیل گردد. قابلیت اطمینان یا به عبارت بهتر دسترس پذیری اینورتر می‌تواند مطابق رابطه (۱۹) محاسبه شود. با توجه به معادله فوق نرخ دسترس پذیری اینورتر در مقایسه با PV و WG بسیار بالاست و در نهایت احتمال خرابی سیستم را می‌توان باتوجه به کلیه تجهیزات مذکور طبق رابطه (۱۹) محاسبه نمود :

$$A_{inverter} = \frac{MTTF_{inv}}{MTTF_{inv} + MTTR_{inv}} \quad (19)$$

$$f_{system}(n_{WG}^{Fail}, n_{pv}^{Fail}, n_{inv}^{Fail}) = f_{ren}(n_{WG}^{Fail}, n_{pv}^{Fail}) \times \left[\left(\frac{N_{inv}}{n_{inv}^{Fail}} \right) \times A_{inv}^{N_{inv} - n_{inv}^{Fail}} \times (1 - A_{inv})^{n_{inv}^{Fail}} \right] \quad (20)$$

۴- نحوه کدسازی مسئله طراحی میکروشبه درون الگوریتم NSGA-II

در این بخش از مقاله، ابتدا الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب به عنوان یک الگوریتم حل مسائل بهینه‌سازی چند هدفه معرفی شده و نحوه کدسازی مسئله طراحی سیستم هیبرید میکروشبه در الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب NSGA-II تشریح می‌گردد. همان‌طور که اشاره شد نسخه دوم الگوریتم ژنتیک چندین هدفه NSGA-II به لحاظ ذاتی یک الگوریتم غیر مفید می‌باشد، بنابراین، تابع هدف به همراه قیود این مسئله طراحی میکروشبه بایستی در تابع فیتنس به شکل مناسبی تلفیق شوند از آنجایی که متغیرها باید درون محدودیت‌هایشان حفظ شوند بنابراین تجاوز از قیود که به عنوان ترم جریمه در تابع فیتنس تعریف گردد باعث می‌شود تا دیگر تخطی در قیود فنی طراحی ظاهر نشود. با چهار سطح بار فصلی برای میکروشبه طی ۲۰ سال، الگوریتم چندین هدفه ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب NSGA-II باید به طور بهینه تعداد هر یک از تجهیزات ذخیره‌ساز باتری و تانک هیدروژن و منابع تولیدی ریزشبه شامل منابع توربین بادی و فتوولتاییک را با توجه به کمینه‌سازی سه هدف مجزای هزینه سرمایه‌گذاری، بار از دست رفته مورد انتظار و انرژی تلف شده مورد انتظار تعیین کند. یک نمونه جواب معادل یک کروموزم الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب برای ریزشبه مذکور شامل یک بردار با ۱ سطر و ۶ ستون است که اولین داریه آن تعداد توربین بادی، درآیه دوم ماژول فتوولتاییک، درآیه سوم، چهارم و پنجم بترتیب الکترولایزر و تانک هیدروژن و پیل سوختی می‌باشد و درآیه آخر و ششم باتری مطابق جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱- حل نمونه مسئله بهینه‌سازی برنامه‌ریزی ریزشبه هیبریدی معادل یک کروموزم POS الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی

نامغلوب NSGA-II

Wind Turbine	Photo Voltaic	Electrolyzer	Hydrogen tank	Fuel Cell	Battery
--------------	---------------	--------------	---------------	-----------	---------

طراحی میکرو شبکه برای عملکرد در مد جزیره‌ای یک مسئله چندین هدفه می‌باشد فرمولاسیون توابع هدف و قیود مسئله بهینه‌سازی می‌باشد که توابع هدف بر روی هر کروکوزوم الگوریتم مطابق رابطه (۲۱) تعریف می‌شوند.

$$\text{Minimize : } \begin{cases} F1 = \sum_i ACi(pos) \\ F2 = LOLE(pos) \\ F3 = LOEE(pos) \end{cases} \quad (21)$$

همان‌طور که اشاره شده است مسائل بهینه‌سازی چند هدفه بیش از یک تابع هدف دارند و روش‌های حل چند هدفه مجموعه‌ای از جواب‌ها را تولید می‌کنند که نسبت به هم برتری ندارند و این مجموعه را بهینه پرتو می‌نامند. بدین ترتیب بردار تصمیم متعلق به مجموعه مجاز یک پاسخ پرتو است، اگر بردار تصمیم دیگری متعلق به مجموعه مجاز وجود نداشته باشد که بر آن غلبه کند. نسخه دوم الگوریتم ژنتیک نامغلوب NSGA-II یکی از الگوریتم‌های اکتشافی حل مسائل بهینه‌سازی چند هدفه است که از مدلسازی زیستی جمعیت جانداران به وجود آمده است. در این الگوریتم، خصوصیات نسل جانداران به مقدار توابع هدف و بهبود در خصوصیات نسلی در پی گذشت زمان تشبیه و ظهور نسل‌های جدید از آمیزش نسل‌های قبلی به بهبود در مقدار توابع هدف مانند شده است. به عبارت دیگر این الگوریتم از اصول انتخاب طبیعی داروین برای یافتن فرمول یا جواب بهینه به منظور پیش‌بینی یا تطبیق الگو استفاده می‌کند. روش کار و الگوریتم کلی NSGA-II از حالت‌های چندهدفه الگوریتم ژنتیک می‌باشد که برای طراحی ریزشبه با سه هدف مذکور عملکرد آن برای دستیابی به جواب بهینه به شرح ذیل است: ایجاد جمعیت اولیه مطابق جدول ۱ و محاسبه معیارهای برآندگی F1، F2 و F3. تابع هدف F1 شامل مجموع هزینه سرمایه‌گذاری اولیه برای خرید و نصب تجهیزات، هزینه جایگزینی تجهیزات و همچنین تعمیرات نگهداری با توجه به طول عمر مفید آنها می‌شود که بر اساس روابط (۲۲) تا (۲۵) قابل محاسبه می‌باشند.

$$C_{install} = pos(1).C_{Wind} + pos(2).C_{PV} + pos(3).C_{elec} + pos(4).C_{Hydro-tank} + pos(5).C_{ELEC} + pos(6).C_{FC} \quad (22)$$

$$C_{replacement} = C_{unit} \cdot C_{nom} \sum_{i=1}^{N_{rep}} \left[\frac{1+f0}{1+k_d} \right]^{Ni/N_{rep}+1} \quad (23)$$

$$C_{O\&M} = \begin{cases} C_{(O\&M)0} \left(\frac{1+f1}{k_d} - f1 \right) \left[1 - \left(\frac{1+f1}{1+k_d} \right)^n \right] & \text{for } k_d \neq f \\ C_{(O\&M)0} \times n, & \text{for } k_d \equiv f1 \end{cases} \quad (24)$$

$$C_{inv} = C_{install} + C_{replacement} + C_{O\&M} \quad (25)$$

برای محاسبه توابع هدف F2 و F3 در الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب بترتیب ذیل اقدام می‌شود. همان طور که مفروض است در یک ریزشکه منابع بادی و خورشیدی به عنوان منابع تولیدی اولیه شناخته می‌شوند بنابراین، تولید انرژی در هر دوره زمانی برنامه‌ریزی مطابق رابطه (۲۶) خواهیم داشت و بواسطه ماهیت تناوبی این منابع برای تولید انرژی، در زمان عملکرد جزیره‌ای ریزشکه کمبود یا بیشبود تولید $E_{EX/d}(t)$ در برخی از دوره‌ها اتفاق می‌افتد که مقدار این نقصان یا بیشبود توسط رابطه (۲۷) تعیین می‌گردد.

$$E_{Renewable} = pos(1).E_{PV} + pos(2).E_{Wind} \quad (26)$$

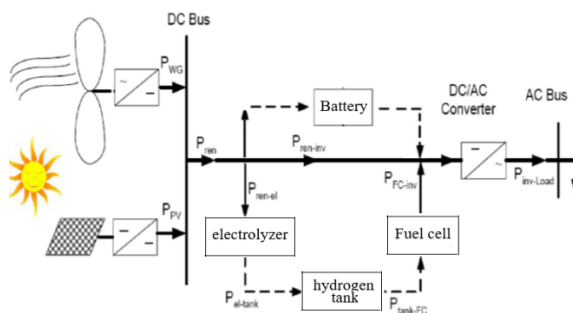
$$E_{X/d}(t) = E_{Renewable} - \frac{E_{Load}(t)}{\eta_{inv}} \quad (27)$$

در صورتی که مقدار پارامتر مذکور مثبت باشد یعنی تولید مازاد به تقاضای بار شبکه موجود است و در این زمان می‌توان از باتری تانک و سیستم الکترولایزر، تانک هیدروژن و پیل سوختی برای ذخیره این انرژی مازاد به صورت ترتیبی ابتدا باتری و سپس تانک هیدروژن استفاده نمود البته در صورتی که شارژ دوره پیشین این منابع ذخیره ساز از مقدار ماکزیمم کمتر باشد. اما در صورتی که دلیلی خرابی منابع فتوولتاییک یا بادی و یا عدم پیش بینی دقیق تولید بادی دچار کمبود انرژی برای تامین نیاز بار میکروشبکه شویم و مجبور به ریزش بار از شبکه شویم. با توجه به حالات قطع بار و احتمال خرابی سیستم با توجه به عدم قطعیت‌های بهره‌برداری میکروشبکه مطابق روابط (۱۲) تا (۱۷) می‌توان توابع هدف LOLE و LOEE را به عنوان توابع هدف F2 و F3 محاسبه نمود. در ادامه الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب پس از محاسبه فیتنس کلیه جمعیت‌های تولیدی اولیه روند زیر را در پیش می‌گیریم. در مرحله بعد مرتب کردن جمعیت بر اساس شرط‌های غلبه کردن و محاسبه فاصله ازدحامی انجام می‌شود. به محض این‌که جمعیت اولیه بر اساس شرط‌های غلبه کردن مرتب شد، مقدار فاصله ازدحامی در آن محاسبه خواهد شد و انتخاب از میان جمعیت اولیه آغاز می‌شود. این انتخاب بر اساس دو المان صورت می‌پذیرد. جمعیت‌ها از رتبه‌های بالا به پایین مرتب می‌شوند. با فرض این که p و q دو عضو از یک رتبه باشند، عضوی انتخاب می‌شود که فاصله ازدحامی بیشتری دارد. گفتنی است که اولویت انتخاب، ابتدا با رتبه و سپس بر اساس فاصله ازدحامی است. انجام تقاطع و جهش برای تولید فرزندان مطابق الگوریتم ژنتیک کلاسیک انجام شده و تلفیق جمعیت اولیه و جمعیت به دست آمده از تقاطع و جهش انجام می‌شود. در محله بعد جایگزین کردن جمعیت والدین با بهترین اعضای جمعیت تلفیق شده در مراحل قبل انجام می‌شود. در مرحله نخست، اعضای رتبه‌های پایین ترجیح‌پذیر والدین قبلی می‌شوند و سپس بر اساس فاصله ازدحامی مرتب می‌شوند. جمعیت اولیه و جمعیت ناشی از تقاطع و جهش، ابتدا بر حسب رتبه دسته‌بندی می‌شوند و قسمتی از آنها که دارای رتبه پایین‌تری هستند، حذف می‌گردند. در مرحله بعد، جمعیت باقیمانده بر اساس فاصله ازدحامی مرتب می‌شوند. در اینجا مرتب‌سازی داخل یک جبهه انجام می‌شود. تمامی مراحل تا نسل و یا شرایط بهینگی مورد نظر تکرار می‌شوند.

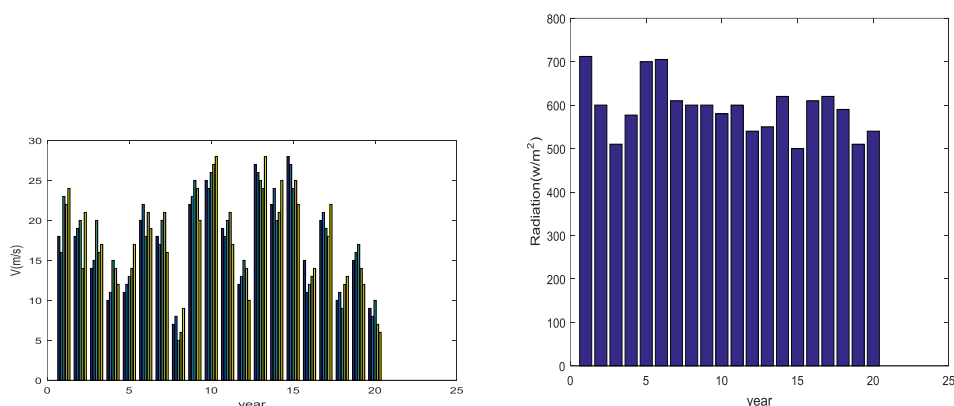
۵- مطالعات عددی و نتایج شبیه‌سازی

در این مقاله، هدف طراحی یک سیستم ترکیبی باد و خورشید با در نظر گرفتن ذخیره‌ساز تانک هیدروژن و باتری با کمترین هزینه و بیشترین میزان قابلیت اطمینان در یک بازه زمانی ۲۰ ساله می‌باشد. به منظور حل این مسئله بهینه‌سازی از الگوریتم چند هدفه ژنتیک نامغلوب NSGA-II استفاده شده است. پارامترهای شبیه‌سازی برای الگوریتم نسخه دوم الگوریتم ژنتیک شامل ۱۰ جمعیت والد، احتمال تقاطع ۸۰٪ و احتمال جهش در جمعیت جواب‌ها ۳۰٪ در نظر گرفته شده است. تعداد تکرارهای الگوریتم

NSGA-II برابر ۳۰ تکرار در نظر گرفته شده است. طراحی سطح بار سیستم برای ۴ فصل سال بترتیب معادل ۰،۶۲۵، ۱،۸۱۲۵، ۰،۶۱۸ و ۰،۶۱۸ می‌باشد که بازه زمانی متناظر با آنها بترتیب معادل ۲۲۳۲، ۲۲۳۲، ۲۱۶۰ و ۲۱۳۶ ساعت برای یک سال در نظر گرفته شده است. حداقل و حداکثر تعداد هر یک از المانهای سیستم شامل WG، PV، Ele، HydT، FC و Bat بترتیب معادل ۵-۵، ۵-۵، ۵-۵، ۴۰-۵، ۸۰-۵، ۱۰۰-۵ و ۱۲۰-۵ می‌باشد. در اینجا از خرابی تانک ذخیره ساز هیدروژن و پیل سوختی صرفنظر شده است و از تاثیر آن بر روی جواب بهینه مسئله چشم پوشی گردیده است. نرخ دسترس پذیری واحدهای بادی ۹۶٪، واحدهای فتوولتائیک نیز به طور مشابه با واحدهای بادی ۹۶٪ فرض شده است و نرخ خرابی اینورتر متصل به باس AC ریزشکه معادل ۹۹،۸۹٪ در نظر گرفته شده است. بعلاوه، سیستم ذخیره ساز هیدروژنی در کنار یک ذخیره ساز نظیر باتری که انرژی الکتریکی به صورت مستقیم ذخیره می‌کند کار می‌کند. رشد سالیانه تقاضای بار سیستم تحت مطالعه معادل ۱۰ درصد در نظر گرفته خواهد شد و تاثیر آن بر روی جواب بهینه مسئله نشان داده خواهد شد. کدنویسی مدل بهینه سازی پیشنهادی برای طراحی ریزشکه توسط نسخه دوم الگوریتم ژنتیک نامغلوب در نرم افزار متلب انجام شده است. ارزیابی سود/زیان، شبیه سازی سیستم با گام های یک مرحله ای برای هر سال انجام شود. اطلاعات در دسترس شامل سرعت متوسط باد که در ارتفاع ۴۰ متری از سطح زمین ثبت شده است اطلاعات تابش افقی و عمودی در یکی از استان های شمال شرقی ایران است. در این مقاله، توربین بادی از نوع برجی R/48 مورد توجه واقع شده است. ظرفیت نامی آن ۷،۵ کیلووات و ۴۸ ولت به عنوان خروجی. در این مقاله، m برابر با ۳ در نظر گرفته شده است. در مطالعات اخیر فرض شده که آرایه فتوولتائیک با راندمان ۹۵٪ سیستم ردیاب ماکزیمم به یک باس dc متصل شده است بعلاوه باید اشاره کرد که از تاثیر حرارت صرف نظر شده است. اطلاعات بار برای یک سیستم تست IEEE با بار پیک ۳۵ کیلووات است، در اینجا، متغیرهای تصمیم گیری مسئله بهینه سازی طراحی ریزشکه شامل تعداد توربین های بادی، تعداد آرایه های خورشیدی، پیل سوختی و تانک هیدروژن و باتری خواهد بود. همان طور که اشاره شد مسئله از نوع بهینه سازی چندهدفه می باشد، از روش سناریو پردازی تولید توربین های بادی توسط درخت احتمال برای مقابله در برابر عدم قطعیت های بهره برداری استفاده شود. ساختار ریزشکه مذکور در شکل ۱ به نمایش در آمده است که شامل تجهیزات ذخیره ساز، تولید و مبدل ها و تقاضای بار مشترکین می باشد. سرعت باد در ارتفاع ۱۵ متری برج بایستی محاسبه شود که به عنوان اطلاعات ورودی مسئله بهینه سازی می باشد. میانگین تابش خورشید و سرعت باد در شکل ۲ در طی ۲۰ سال به نمایش در آمده است.



شکل ۱- ساختار ریزشکه مورد مطالعه شامل ذخیره ساز باتری و سیستم تانک هیدروژن



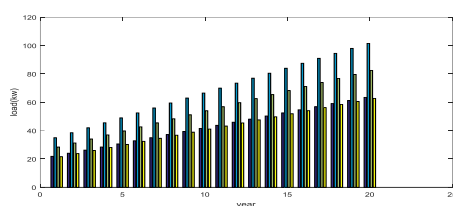
شکل ۲- سناریوهای احتمالی سرعت باد و شدت تابش خورشید در طی ۲۰ سال برنامه‌ریزی بهره‌برداری ریزشکه

در دیاگرام میله‌ای برای پیش‌بینی سرعت باد در هر سال برای سناریوهای مربوطه بترتیب احتمالی معادل ۰،۱۲، ۰،۴۰، ۰،۱۵، ۰،۲۵ و ۰،۰۸ وجود دارد. مقادیر اولیه هیدروژن ذخیره شده نصف ظرفیت نامی آن می‌باشد برای زمان‌های دیگر، مقدار ذخیره هیدروژن در ابتدا دوره بعد از هیدروژن ذخیره شده در انتهای دوره قبل محاسبه می‌شود. بنابراین، هزینه سرمایه‌گذاری بر روی تانک هیدروژن شامل هزینه مقدار اولیه هیدروژن معادل ۱،۲ دلار آمریکا به ازای هر کیلوگرم می‌باشد. اطلاعات مربوط به هزینه سرمایه‌گذاری و تعمیرات-نگهداری و جایگزینی، عمر مفید، راندمان تجهیز، دسترس پذیری و ظرفیت واحد هر تجهیز در جدول ۲ به نمایش در آمده است.

جدول ۲- هزینه سرمایه‌گذاری و تعمیرات-نگهداری و جایگزینی تجهیزات تشکیل دهنده ریزشکه

هزینه تعمیرات نگهداری	هزینه جایگزینی	هزینه سرمایه‌گذاری	تجهیزات میکروشبه
۷۵	۱۵۰۰	۱۹۴۰۰	توربین بادی
۲۰	۶۰۰۰	۷۰۰۰	پنل فتوولتاییک
۲۵	۱۵۰۰	۲۰۰۰	الکترولایزر
۱۵	۱۲۰۰	۱۳۰۰	تانک هیدروژن
۱۷۵	۲۵۰۰	۳۰۰۰	پیل سوختی
۸	۷۵۰	۸۰۰	اینورتر
ظرفیت	راندمان	طول عمر	تجهیزات میکروشبه
۷،۵ KW	-	۲۰	توربین بادی
۱ KW	-	۲۰	پنل فتوولتاییک
۱ KW	۰،۷۵	۲۰	الکترولایزر
۱ KW	۰،۹۵	۲۰	تانک هیدروژن
۱ Kg	۰،۵۰	۵	پیل سوختی
۱ KW	۰،۹۰	۱۵	اینورتر

اطلاعات مربوط به تقاضای بار سالیانه با توجه به نرخ رشد متوسط که برای طراحی ریزشکه مد توجه قرار گرفته است برای هر سطح بار فصلی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- اطلاعات تقاضای بار فصلی مشترکین طی ۲۰ سال برنامه ریزی ریز شبکه

با توجه به اطلاعات ساختاری ریز شبکه، مسئله بهینه‌سازی طراحی سیستم میکرو شبکه هابرید با بکارگیری الگوریتم ژنتیک نسخه اولیه NSGA-II در مد عملکردی جزیره‌ای انجام می‌شود که نتایج شامل تعداد تجهیزات و همچنین سه هدف هزینه سرمایه‌گذاری، انرژی از دست رفته مورد انتظار و توان از دست رفته مورد انتظار می‌باشد و سپس بمنظور آنالیز حساسیت با تغییر برخی فاکتورهای تاثیر گذار نظیر دسترس پذیری کامل و ۱۰۰٪ کلیه تجهیزات، نرخ خرابی اینورتر بحث می‌شود.

۵-۱- مطالعه حالت پایه

این الگوریتم برای حل مسئله طراحی ریز شبکه با توجه به شرایط فنی مفروض و ظرفیت از پیش تعیین شده تجهیزات ذخیره ساز و منابع تولید پراکنده و تقاضای بار تحت شرایط پایه بکار گرفته شده است. این الگوریتم با شکل دهی ۱۰ جمعیت پیش فرض و اعمال فرآیند تقاطع و جهش بر روی هر یک از جمعیت های منتخب مقدار فیتنس را محاسبه و جمعیت های نامغلوب هر تکرار را برای تکرار بعد انتخاب نموده تا بهترین نتایج با معیار مشخص پارتو از بین این نتایج بهینه از طرف طراح انتخاب گردد. برای مطالعه حالت پایه نتایج هزینه سرمایه‌گذاری و توان و انرژی از دست رفته برای کلیه جواب های بهینه مطلوب که جریمه تابع هدف معادل صفر ارزیابی شده است در جدول ۳ آورده شده است.

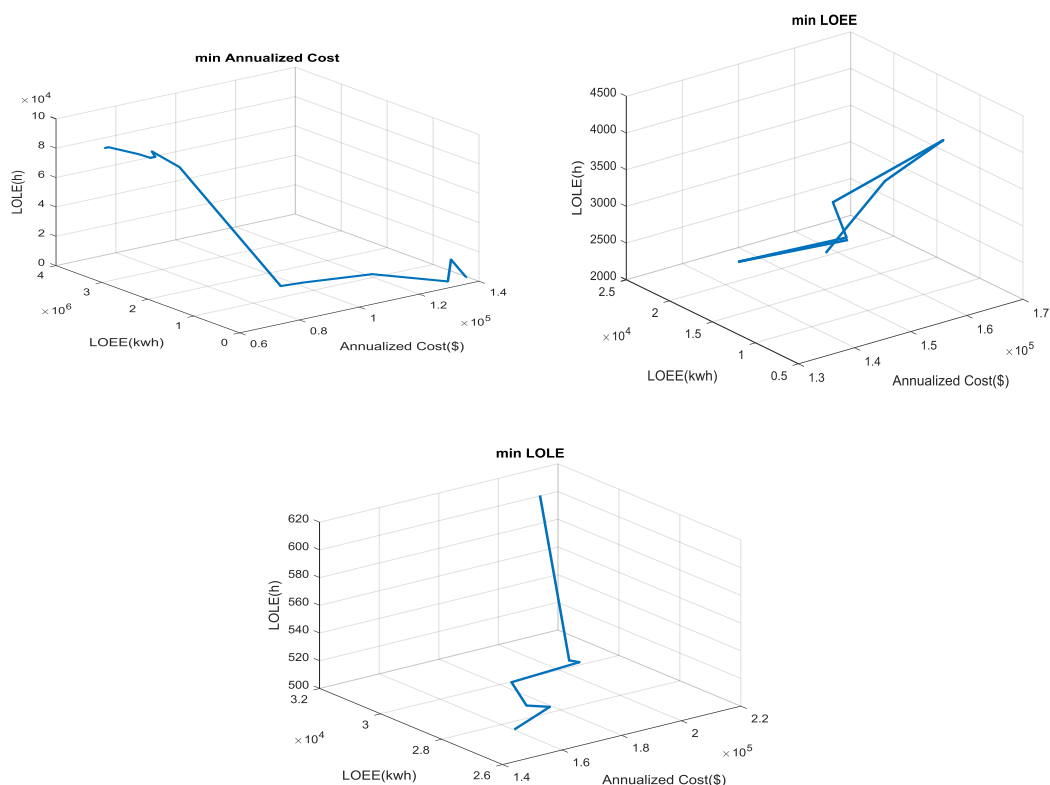
جدول ۳- نتایج سه جمعیت الگوریتم نسخه دوم ژنتیک نامغلوب NSGA-II برای انتخاب جواب نهایی توسط معیار پارتو

Pareto در مطالعه حالت پایه

Base case	[WG PV Ele HydT FC Bat]	INV(Us \$)	LOEE (Wh)	LOLE (h)
INV(\$)	[5 6 33 33 5 95]	67290.17	3404371.8	83787.09
LOEE(KWh)	[5 73 36 31 32 95]	139795.97	8148.88	3126.33
LOLE(h)	[23 75 43 14 5 88]	151626.14	26750.54	512.302

همان طور از نتایج شبیه سازی دیده می‌شود وقتی با معیار حداقل سازی هزینه سرمایه گذاری از جمعیت نتایج خوب بدست آمده براساس پارتو انتخاب می‌کنیم که 67290.17 دلار هزینه نصب تجهیزات می‌گردد به نحوی که ۵ منبع توربین بادی به همراه ۶ عدد آرایه فتوولتاییک به همراه ۳۳ الکترو لایزر و تانک هیدروژن و ۵ عدد پیل سوختی و ۹۵ باتری برای نصب به طور بهینه انتخاب می‌گردد این درحالی است که با معیار حداقل سازی هزینه انرژی انتظاری از دست رفته مشترکین تعداد ۵ توربین بادی، ۷۳ عدد آرایه فتوولتاییک، ۳۶ عدد الکترو لایزر و ۳۱ عدد تانک هیدروژن و ۳۲ عدد پیل سوختی به همراه ۹۵ عدد باتری برای طراحی و نصب در ریز شبکه بمنظور دستیابی به 8148.88 وات ساعت انرژی از دست رفته انتظاری برای مشترکین تعیین می‌گردد. به طور مشابه برای دستیابی به حداقل توان انتظاری تامین نشده مشترکین بر حسب ساعت تعداد ۲۳ عدد توربین بادی و ۷۵ آرایه فتوولتاییک، ۴۳ عدد الکترو لایزر و ۱۴ عدد تانک هیدروژن، ۵ عدد پیل سوختی و ۸۸ عدد باتری در سیستم برای دستیابی به مقدار توان از دست رفته انتظاری معادل ۵۱۲،۳۰ ساعت باید نصب گردد. با در نظر گرفتن اولویت شاخص قابلیت اطمینان توان و انرژی از دست رفته مشترکین برای کمینه سازی مقدار هزینه نصب تجهیزات به ترتیب ۷۲۵۰۵،۸ دلار و ۸۴۳۳۵،۹۷ دلار افزایش در هزینه نصب تجهیزات دیده می‌شود بنابراین طراح بر اساس معیار پارتو به دلیل چند هدفه بودن الگوریتم نسخه دوم الگوریتم ژنتیک نامغلوب از بین نتایج بهینه بدست آمده یکی را به دلخواه برای اجرا انتخاب نماید. برای مطالعه حالت پایه زمان اجرای شبیه سازی طی ۳۰ تکرار حل الگوریتم NSGA-II معادل ۹۳،۵۶۳ ثانیه به طول انجامیده است که منحنی تغییرات فیتنس برای هر یک از

متغیرهای هزینه سرمایه‌گذاری، شاخص‌های قابلیت اطمینان توان و انرژی انتظاری از دست رفته بر اساس معیار پارتو Pareto برای انتخاب بهترین جواب با هدف کمینه‌سازی بترتیب در شکل ۴ به نمایش در آمده است.



شکل ۴- منحنی تغییرات نتایج توابع هدف برای بهترین جمعیت‌ها با توجه به هریک از اهداف با اولویت بالاتر در طراحی ریزشبهه تحت شرایط مطالعه حالت پایه

۵-۲- تجهیزات دسترس پذیر کاملاً قابل اطمینان (CASE2)

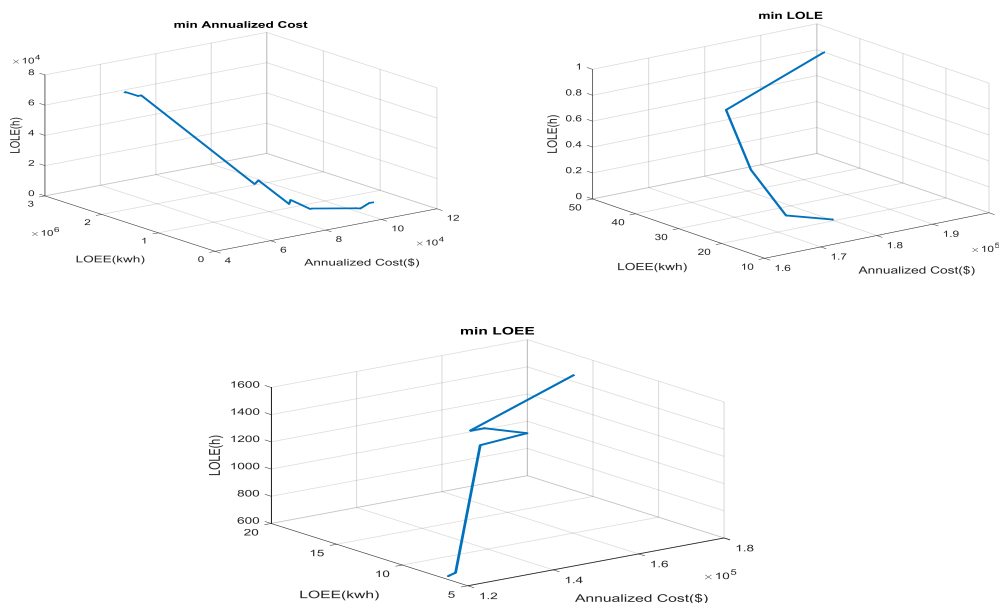
بمنظور بررسی تاثیر احتمالات خرابی تجهیزات بر روی هزینه‌های بهره برداری و قابلیت اطمینان این دفعه مسئله طراحی با شرایط ۱۰۰ درصد قابلیت اطمینان تمام اجزای سیستم حل شده است که نتایج با مطالعه حالت پایه مقایسه می‌شوند. در مطالعه حالت پایه نرخ دسترس پذیری واحدهای بادی ۹۶٪، واحدهای فتوولتاییک نیز به طور مشابه با واحدهای بادی ۹۶٪ فرض شده است و نرخ خرابی اینورتر متصل به باس AC ریزشبهه معادل ۹۹٫۸۹٪ در نظر گرفته شده است. با بکارگیری الگوریتم NSGA-II مسئله طراحی ریزشبهه به منظور بهره‌برداری بهینه برای ۲۰ سال با نرخ بازگشت سرمایه سالانه ۸٪ مجدداً تحت شرایط جدید قابلیت اطمینان شبکه حل می‌گردد.

جدول ۴- نتایج سه جمعیت الگوریتم نسخه دوم ژنتیک نامغلوب NSGA-II برای انتخاب جواب نهایی توسط معیار پارتو Pareto در مطالعه حالت پایه

نتایج شبیه‌سازی	[WG PV Ele HydT FC Bat]	INV (Us \$)	LOEE(wh)	LOLE(h)
INV(case1)	[5 6 33 33 5 95]	67290.17	3404371.8	83787.09
INV(case2)	[5 16 12 10 5 71]	57369.28	2440247.75	69187.05
LOEE (case1)	[5 73 36 31 32 95]	139795.97	8148.88	3126.33
LOEE (case2)	[22 7 10 14 30 109]	121413.20	6.949	603.45

نتایج شبیه سازی	[WG PV Ele HydT FC Bat]	INV (Us \$)	LOEE(wh)	LOLE(h)
LOLE (case1)	[23 75 43 14 5 88]	151626.14	26750.54	512.302
LOLE (case2)	[45 5 17 37 30 109]	172110.0401	10.048	0.1924

با ایمن شدن اینورتر و منابع بادی و فتوولتایک همان طور که از نتایج دیده می شود برای اولویت حداقل سازی هزینه سرمایه گذاری بر روی نصب تجهیزات تعداد تجهیزات انتخاب شده ۵ توربین بادی، ۶ منبع فتوولتایک، ۳۳ تانک و الکتروایزر، ۵ پیل سوختی و ۹۵ باتری به طور بهینه در مقایسه با حالت پایه کاهش چشمگیری داشته است که از مقدار 67290.17 به مقدار ۵۷۳۶۹،۲۸ دلار کاهش یافته است. اما، در این وضعیت مقدار انرژی انتظاری از دست رفته مشترکین از مقدار 3404371.8 به 2440247.75 دلار و توان انتظاری از دست رفته مشترکین از مقدار 83787.09 به 69187.05 ساعت کاهش می یابد. برای دو اولویت دیگر طراحی ریزشبه شامل توان و انرژی از دست رفته انتظاری مشترکین به ترتیب از مقادیر 8148.88 وات ساعت و 512.302 ساعت به مقادیر 6.949 وات ساعت و 0.1924 ساعت تقلیل می یابد. برای اولویت کمینه سازی توان از دست رفته انتظاری مشترکین بر حسب ساعت تعداد ۴۵ توربین بادی و ۵ آرایه فتوولتایک، ۱۷ عدد الکتروایزر و ۳۷ تانک هیدروژن، ۳۰ عدد پیل سوختی و ۱۰۹ باتری برای نصب انتخاب می شود که هزینه نصب این تجهیزات معادل 172110.0401 دلار برآورد می شود که در مقایسه با مطالعه حالت پایه معادل 151626.14 دلار مقدار ۲۰۴۸۳،۹۴ دلار افزایش نشان می دهد. برای اولویت طراحی ریزشبه با هدف کمینه سازی انرژی انتظاری از دست رفته مشترکین بر حسب کیلووات ساعت در این مطالعه تعداد ۲۲ توربین بادی و ۷ منبع فتوولتایک، ۱۰ عدد الکتروایزر و ۱۴ تانک هیدروژن، ۳۰ عدد پیل سوختی و ۱۰۹ باتری مجدداً به طور مشابه با اولویت کمینه سازی انرژی انتخاب می شود که در مقایسه با مطالعه حالت پایه معادل 139795.97 دلار به مبلغی معادل 121413.20 دلار کاهش یافته است. بنابراین به وضوح می توان دریافت در بیشتر توابع هدف ممکن افزایش قابلیت اطمینان تجهیزات باعث کاهش در هزینه نصب و سرمایه گذاری تجهیزات و هزینه های قابلیت اطمینان ریزشبه می شود. منحنی تغییرات هر یک از سه اهداف طی تکرارهای الگوریتم حین حل مسئله طراحی ریز شبکه در شکل ۵ به نمایش در آمده است.



شکل ۵- منحنی تغییرات اهداف با بالاترین اولویت در طراحی میکروشبکه هایبرید با تغییر نرخ دسترس پذیری کلیه تجهیزات ریزشبه به مقدار ۱۰۰ درصد

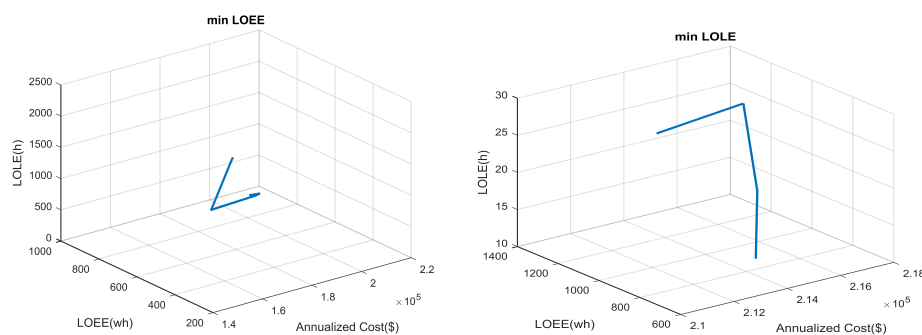
۵-۳- تاثیر نرخ خرابی کانورتر dc-ac بر روی قابلیت اطمینان ریزشبه

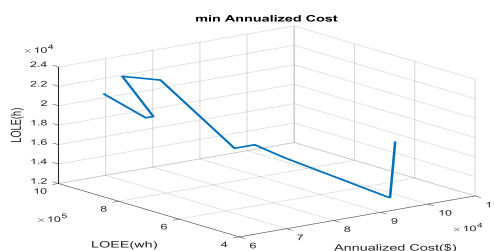
برای درک تاثیر خرابی اینورتر بر روی قابلیت اطمینان سیستم این بار در این بخش اثر تغییر نرخ خرابی این تجهیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. کلیه اطلاعات مسئله طراحی میکروگرید نسبت به مطالعه حالت پایه ثابت فرض شده است و تنها نرخ دسترس پذیری اینورتر از مقدار عددی ۰,۹۹۸۹ به ۰.۹۹۹۹ افزایش یافته است. با مشاهده دقیق تر بر ساختار ریزشبه خواهیم دید به دلیل اتصال واحد ریزشبه به بار از طریق اینورتر پس انتظار می‌رود که نرخ خرابی این تجهیز به شدت قابلیت اطمینان و هزینه های متناظر با آن را متاثر می‌سازد. با بکارگیری الگوریتم NSGA-II برای حل مسئله طراحی ریزشبه بمنظور بهره‌برداری بهینه تحت شرایط جدید نتایج حاصله در جدول ۵ به نمایش در آمده است. همان طور که از نتایج شبیه‌سازی دیده می‌شود تحت شرایط جدید نرخ دسترس پذیری اینورتر برای سه فاکتور هزینه سرمایه گذاری، شاخص‌های قابلیت اطمینان توان و انرژی انتظاری از دست رفته مورد بررسی و مقایسه با حالت پایه قرار می‌گیرد. برای اولویت حداقل سازی هزینه سرمایه گذاری تعداد توربین بادی ۱۳، آرایه فتوولتایک ۵ عدد، الکتروایزر، تانک هیدروژن و پیل سوختی بترتیب ۷۵، ۵ و ۵ عدد می‌باشد و تعداد باتری ۴۰ عدد می‌باشد. هزینه سرمایه گذاری برای نصب تجهیزات معادل 67000.23 دلار ارزیابی شده است در حالی که این مقدار برای مطالعه حالت پایه 67290.17 دلار ارزیابی شده است که تقریباً معادل ۲۹۰ دلار کاهش در هزینه های نصب رخ داده است. اما، بهترین نتایج برای اولویت توان و انرژی از دست رفته مشترکین بترتیب معادل 13.39 ساعت و 347.764 وات ساعت ارزیابی شده است درحالی که برای مطالعه حالت پایه این مقادیر به ترتیب 512.302 ساعت و 8148.88 کیلووات ساعت می‌باشد که مقدار چشمگیری در هر دو وضعیت کاهش نشان می‌دهد.

جدول ۵- نتایج سه جمعیت الگوریتم نسخه دوم ژنتیک نامغلوب NSGA-II برای انتخاب جواب نهایی توسط معیار پارتو Pareto با تغییر نرخ دسترس پذیری اینورتر ریزشبه

نتایج شبیه سازی	[WG PV Ele HydT FC Bat]	INV (Us \$)	LOEE (wh)	LOLE (h)
INV(case1)	[5 6 33 33 5 95]	67290.17	3404371.8	83787.09
INV(case3)	[13 5 72 5 5 40]	67000.23	957993.36	20992.52
LOEE(case1)	[5 73 36 31 32 95]	139795.97	8148.88	3126.33
LOEE(case3)	[13 5 72 44 98 59]	159161.82	347.764	2049.62
LOLE(case1)	[23 75 43 14 5 88]	151626.14	26750.54	512.302
LOLE(case3)	[44 5 60 35 96 50]	213568.96	697.76	13.39

معمولاً دو راهکار برای جبران نرخ خرابی بالا برای اینورتر ریزشبه وجود دارد یکی استفاده از تجهیزات با قابلیت اطمینان بالاتر می‌باشد و دومی استفاده از اینورترهای با آرایش موازی است. منحنی تغییرات هر یک از سه متغیر هدف طی تکرارهای الگوریتم حین حل مسئله طراحی ریز شبکه در شکل ۶ به نمایش در آمده است.





شکل ۶- منحنی تغییرات اهداف با بالاترین اولویت در طراحی میکروشبكة هایبرید با دسترس پذیری ۵۰ درصدی به اینورتر ریزشبكة

نتیجه گیری

هدف اصلی از طراحی سیستم هایبرید توربین بادی و فتوولتایک بوسیله ذخیره ساز تانک هیدروژن و باتری تامین سیستم تولید ایمن برای تامین بار با تغییر الگو آب و هوایی با حداقل هزینه می باشد. در این مقاله طراحی یک سیستم تولید هایبرید wg/pv/fc/bat برای مدت زمان ۲۰ سال طراحی شده است. تانک هیدروژن به همراه باتری به عنوان ذخیره سازهای سیستم مذکور در نظر گرفته شده است. عدم قطعیت سیستم شامل نوسان در تولید منابع توربین بادی، خرابی واحدهای فتوولتایک و توربین بادی تا پنج خروج همزمان در نظر گرفته شده است بعلاوه خرابی اینورتر نظیر مدلسازی شده است. الگوریتم ژنتیک چندین هدفه NSGA-II پیشنهادی برای حل این مسئله بهینه سازی بکار گرفته شد که به نتایج با سرعت و دقت بسیار خوبی منجر شده است. سه هدف اصلی شامل هزینه سرمایه گذاری بر روی تجهیزات، هزینه توان انتظاری و انرژی انتظاری از دست رفته بوده است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که هزینه بهره برداری از سیستم مستقیماً به سطح قابلیت اطمینان و سطح دسترس پذیری تجهیزات سیستم میکروشبكة هایبرید بستگی خواهد داشت.

مراجع

1. H.Kamankesh, V.G. Agelidis and A. Kavousi-Fard, "Optimal scheduling of renewable micro-grids considering plug-in hybrid electric vehicle charging demand," Energy 2016; vol. 100, No. (1), pp. 285-297.
2. X. Fang, S. Ma, Q. Yang and J. Zhang, "Cooperative energy dispatch for multiple autonomous micro-grids with distributed renewable sources and storages," Energy 2016; vol. 99, No. (15), pp. 48-57.
3. W. Wu, V.I. Christiana, S.A. Chen and J.J. Hwang, "Design and techno-economic optimization of a stand-alone PV(Photovoltaic)/FC(fuel cell)/battery hybrid power system connected to a wastewater-to-hydrogen processor," Energy, 2016; Vol. 84, No. (1), pp. 462-472.
4. A.Maleki, F. Pourfayaz and M.A. Rosen, "A novel framework for optimal design of hybrid renewable energy-based autonomous energy systems: a case study for Namin", Iran. Energy 2016, Vol. 98, No. (1) PP.168-180.
5. R. Cozzolino, L. Tribioli and G. Bella, "Power management of a hybrid renewable system for artificial islands: a case study," Energy, 2016, Vol. 106, No. (1), PP. 774-789.
6. G. Mere, C. Berger and D.U. Sauer, "Optimization of an off-grid hybrid PV-Wind-Diesel system with different battery technologies using genetic algorithm", Sol Energy, 2013, Vol. 97, No. (1), PP. 460-473.
7. StefanoMandelli, Claudio Brivio and Emanuela Colombo and Marco Merlo, "Effect of load profile uncertainty on the optimum sizing of off-grid PV systems for rural electrification," Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2016, Vol. (18), pp. 34-47.
8. Mawardi and R. Ptchumani, "Effects of parameter uncertainty on the performance variability of proton exchange membrane (PEM) fuel cells", J Power Sources, 2006, vol. 160, pp. 232-245.
9. RaminHosseinalizadeh, G. Shakouri, HamedSadeghi, Mohsen Amalnick and PeymanTaghipour, "Economic sizing of a hybrid (PV-WT-FC) renewable energy system (HRES) for stand-alone

- usages by an optimization-simulation model: Case study of Iran, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, Vol. 54, pp. 139-150
10. M.M Aman, G.B Jasmon, A.H.A Bakar and H Mokhlis, "A new approach for optimum simultaneous multi-DG distributed generation Units placement and sizing based on maximization of system loadability using HPSO (hybrid particle swarm optimization) algorithm, *Energy*, 2014, pp. 202-215.
 11. D. Xu, L. Kang, L. Chang and B. Cao, "Optimal sizing of standalone hybrid wind/PV power systems using genetic algorithms", In: *Canadian conference on electrical and computer engineering*; 2005, pp. 1722-1725.
 12. Hong Ying-Yi and LianRuo-Chen, "Optimal Sizing of Hybrid Wind/PV/Diesel Generation in a Stand-Alone Power System Using Markov-Based Genetic Algorithm," *IEEE Transaction on Power Delivery*, 2012, Vol. 27, pp.1-8.
 13. Z. Shi, R. Wang and T. Zhang, "Multi-objective optimal design of hybrid renewable energy systems using preference-inspired co-evolutionary approach," *Sol Energy* 2015, vol. 118, No. (1), pp. 96-106

مدل سازی ریاضی راکتور لوله ای با ترکیب پلاسما در فرآیند تولید آمونیاک

فاطمه زارع^۱، بیژن هنرور^۲

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد واحد مرودشت، فارس، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد واحد مرودشت، فارس، ایران

Zare.fatemeh090@gmail.com

Honarvar2@gmail.com

چکیده

در این مطالعه بررسی و مدلسازی راکتور لوله ای با ترکیب پلاسما جهت تولید آمونیاک پرداخته شده است. منبع تغذیه تولید کننده محیط پلاسما، ولتاژ بالای جریان مستقیم برق است که سبب برانگیخته شدن ذرات بسیار فعالی از جمله الکترونها، یونها، اتمها، رادیکالها و مولکولها می شود. این امر سبب ایجاد یک بستر مناسب برای انجام انواع مختلف واکنشها شد. در این کار معادلات مورد بررسی شامل روابط جرم، انرژی و سرعت واکنش آمونیاک در شرایط پلاسما می باشد. معادلات مربوطه با استفاده از روش عددی تفاضل محدود بسط داده شده و در نرم افزار متلب به صورت همزمان حل گردیده است. به منظور بررسی صحت مدلسازی با دادههای آزمایشگاهی موجود در مقالات دیگر مقایسه شد، نتایج نشان می دهد که مدل دارای صحت کافی و مناسبی می باشد. سپس تاثیر شرایط عملیاتی مختلف مانند طول، فشار، دمای ورودی و شار مولی خوراک بر پارامترهای خروجی مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش فشار دمای خروجی راکتور افزایش میابد و باعث تولید بیشتر محصول می گردد. **واژگان کلیدی:** آمونیاک پلاسما، مدلسازی عددی، موازنه جرم و انرژی، بازدهی راکتور

۱-مقدمه

آمونیاک مهمترین ترکیب هیدروژنی عنصر ازت است که به شکل گازی و مایع یافت می شود. این ماده در حالت گاز از هوا سبکتر است بی رنگ بوده و دارای بوی تند و زننده است. آمونیاک در حالت مایع نیز بی رنگ بوده و در تماس با پوست باعث سوختگی می شود [۱]. درصد زیادی از تولید جهانی آمونیاک به تولید کودهای شیمیایی بویژه اوره اختصاص یافته و مابقی جهت ساخت محصولات دیگر صنایع شیمیایی مانند تهیه اسید نیتریک، پالایش نفت، بخش تبرید و صنعت خنک سازی، و رزینهای سینیتکی، مواد آتش زا. به طور کلی می توان گفت که روشهای متفاوتی به منظور تولید آمونیاک مانند تولید هیدروژن از الکترولیز آب، اکسید کردن جزئی هیدروکربنها، ریفرمینگ آدیاباتیک، گازسازی از زغال سنگ، ریفرمینگ متان و در نهایت روش آمونیاک پلاسما، وجود دارد. [۲] پلاسما به عنوان حالت چهارم ماده در نظر گرفته می شود. [۳] فرآیندهای پلاسما در میان قدیمیترین فرآیندها شده می باشد که با آزمایش میلرواوری در سال ۱۹۵۳ نشان داده شد. [۴] پلاسما توسط یونیزاسیون گازها زمانی صورت میگیرد که مقدار کافی از انرژی الکتریکی برای یک گاز فراهم شده باشد. پلاسما شامل الکترونها، نوترونها، مولکولها، یونها، گونه های مختلف رادیکالی و اتمهایی است که به شدت برانگیخته شدند. [۵] لازم به یادآوری است که، پلاسما در طول طیف گستردهای از فشارها، دماها، دماهای الکترون و همچنین چگالی الکترونی میتوان تولید شود و همین امر سبب میشود که طبقه بندی پلاسماهای گوناگون با یک رویکرد جهانی مشکل تر و پیچیده تر گردد. [۶] واکنش سنتز آمونیاک پلاسما از نیتروژن و هیدروژن با توجه به مقدار منفی اختلاف آنتالپی واکنش، یک واکنش گرمازا است که بر اساس دمای پایین واکنش مورد توجه قرار گرفته است. اما تفکیک کردن و شکستن N₂ یک واکنش به شدت گرماگیر است و نیازمند مقدار زیادی انرژی ورودی می باشد. [۷]

$$\Delta H = -27/46 \text{ kJ/mol}$$

(۱)

تا به امروز، هیچ توسعه و پیشرفتی در فرآیند سنتز آمونیاک پلاسما در تجهیزات صنعتی و آزمایشگاهی انجام نگرفته است، اما تعداد زیادی از تحقیقات و بررسیهای انجام شده در زمینه ی پیشرفت و بهبود فرآیند سنتز آمونیاک پلاسما، فرآیندهای هابر-بوش را تأیید کرده‌اند. [۸] آمونیاک تولید شده توسط فرآیند پلاسما، برنامه‌های کاربردی فراوانی نسبت به زمینه‌های کاربرد معمولی را دارا می‌باشد. [۹] سنتز آمونیاک پلاسما، به منظور استفاده در سرنگونی گازهای NOx ساطع شده از فرآیندهای شیمیایی موجود در وسایل نقلیه، مورد بررسی قرار گرفته است. آمونیاک حاصل شده از هوا با استفاده از انرژی پلاسما با گازهای NOx ساطع شده بر روی کاتالیست واکنش میدهد تا گاز NOx را به عناصر اولیه تجزیه کند. [۱۰] انتخاب سنتز آمونیاک در مقیاسهای کوچکتر و در ظروف قابل حمل به منظور استفاده برای تولید کود در محل استفاده، اجتناب از مشکلات حمل و نقل و توزیع مورد ارزیابی قرار گرفته است. [۱۱] همچنین آمونیاک دارای پتانسیل بسیار زیادی است که از آن میتوان به عنوان سوخت سبز خودرو استفاده کرد. به همین ترتیب، کاربردهای مشابه را میتوان برای فرآیند سنتز آمونیاک پلاسما به کار گرفت. [۱۲] در سال ۱۳۹۳ رستگار و هنرور در یک مقاله بررسی تولید گاز سنتز در راکتور پلاسما گلا دینگ به روش اکسیداسیون جزئی متان را انجام دادند که نتایج کار نشان داد که نتایج مدلسازی انجام شده مطابقت خوبی با داده‌های آزمایشگاهی داشت. در تحقیق حاضر از روش استفاده شده در این مقاله جهت مدلسازی استفاده خواهد شد. [۱۳] یین و ونوگولاند در سال ۱۹۸۳، سنتز شیمیایی پلاسما و تأثیر مواد الکترونی را در سنتز آمونیاک مورد بررسی قرار دادند. آنها دریافتند که، یک رابطه خطی تقریبی بین بازده آمونیاک و تابع عملکرد الکترون وجود دارد. که سبب بازدهی بیشتری برای تولید یون و رادیکالهای NH₃ میشود. [۱۴] در سال ۲۰۰۴ مطالعات و بررسی‌هایی توسط میزوشیما و همکاران در زمینه ی کاربرد غشاهای لوله ای، شبیه کاتالیست در راکتورها با پلاسمای تخلیه ی موانع دی الکتریک و عملکرد آن در سنتز آمونیاک انجام گرفت. آنها یک لوله از جنس آلومینا که شبیه غشاء بود، طراحی کردند؛ که از آن به عنوان یک نوع جدید کاتالیزور در یک راکتور پلاسما استفاده شد. با استفاده از غشاء خالص آلومینا عملکرد آمونیاک در شرایط واکنش افزایش یافت. همچنین برای کاتالیست روتنیم بارگذاری شده بهبود بیشتری مشاهده شد. این نتایج به وضوح اثر هم افزایی پلاسما و تجزیه آلومینا و روتنیم را بر روی سنتز آمونیاک نشان دادند. [۱۵] در سال ۲۰۰۳ بررسی سنتز آمونیاک پلاسما از یک شکاف میکرو با استفاده از تخلیه ی سد دی الکتریک در فشار محیط، توسط بای و همکاران انجام گرفت. محصول نهایی به طور عمده آمونیاک بود که بازدهی آمونیاک به ۱۲۵۰۰ پی پی ام (۱/۲۵٪) رسید. [۱۶] در سال ۲۰۰۷ ون هلدن و همکاران مطالعه دقیقی در زمینه ی تولید آمونیاک با توجه به پلاسماهای N₂-H₂ و کاتالیستهای پلاسما فعال، انجام دادند. آنها بازدهی و شکل مکانیسم تولید آمونیاک را در حالت ترکیب پلاسماهای تولیدشده از مخلوط N₂ و H₂ و در شرایط مختلف پلاسما مورد بررسی قرار دادند. [۱۷] در سال ۲۰۱۵ کاسترو و همکاران، تولید آمونیاک را در پلاسمای N₂/H₂ با توجه به دمای سطح و اثرات محتوای پلاسمای N₂ مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان داد زمانی که جنس دیواره از تنگستن و فولاد ضدزنگ است وابستگی کمی بین دمای دیواره و بازدهی وجود دارد اما هنگامی که دمای دیواره به بیش از ۳۰۰ درجه سانتی گراد برسد، تأثیر بسیار زیادی بر روی دیواره آلومینیومی میگذارد. همچنین، تقریباً تمام مولکولهای N₂ از فاز گاز خارج شده و به آمونیاک تبدیل می‌شود. [۱۸] در این مطالعه مدل سازی راکتور با ترکیب پلاسما در فرآیند تولید آمونیاک انجام گرفت. راکتور حاوی کاتالیست جامد حالت هتروژن است مدل یک بعدی برای معادلات موازنه جرم و انرژی در نظر گرفته شد. با نوشتن شرایط عملیاتی متفاوت بررسی مطالعه گرید.

۲- مدل سازی ریاضی

در این تحقیق با استفاده از روش تفاضل محدود به حل معادلات حاکم در راکتور لوله‌ای تولید آمونیاک پلاسما پرداخته شده است. برای بدست آوردن معادلات حاکم ابتدا باید راکتور لوله‌ای مدلسازی شود ولی قبل از مدلسازی باید فرضیات حاکم بر سیستم مشخص گردند که در زیر به آن پرداخته شده است.

جهت مدلسازی راکتور لوله‌ای تولید آمونیاک فرضیات زیر در نظر گرفته شده است:

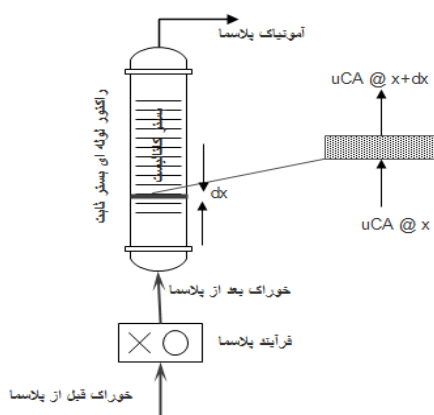
۳- فرضیه ها

- راکتور به صورت لوله‌ای و در حالت هتروژن در نظر گرفته می‌شود.
- مدل یک بعدی تغییرات فقط در جهت طول راکتور در نظر گرفته می‌شود.

- معادلات موازنه جرم شامل ترم سرعت واکنش و انرژی با فرضیات مناسب در مدلسازی لحاظ می‌گردد.
 - شرایط به صورت پایا در نظر گرفته شده است.
 - پلازما تنها تأثیر خود را بر دمای ورودی گاز می‌گذارد.
- همانطور که در فرضیات گفته شد، یکی از معادلاتی که در این کار به آن پرداخته شده است، معادلات مربوط به موازنه انرژی است. جهت بدست آوردن این معادلات ابتدا باید راکتور مورد نظر المان‌گیری شود. با توجه به فرضیات، انتقال جرم فقط در جهت طول است، پس المانی که گرفته شده شامل جریانهای محوری می‌باشد.

۴- موازنه جرم

با توجه به این المان و قانون بقای جرم و انرژی داریم: [۱۹]



شکل ۱

تجمع = مصرف - تولید + خروجی - ورودی

بر این اساس با جایگذاری موارد گفته شده در شکل (۱) داریم:

$$uCA|_x - uCA|_{x+\Delta x} + A\Delta x(-r_{NH_3})\eta = 0 \quad (2-1)$$

در این رابطه u سرعت گاز بر حسب متر بر ساعت، C غلظت آمونیاک بر سب کیلو مول بر مترمکعب، A مساحت عمود بر محور افقی بر حسب متر مربع، ضخامت المان بر حسر متر، سرعت واکنش آمونیاک بر حسب کیلو مول بر متر مکعب ساعت و بازده راکتور لوله‌ای تولید آمونیاک می‌باشد با تقسیم طرفین معادله به حجم المان یعنی و سپس المانگیری و مشتقگیری داریم:

$$u \frac{dC}{dx} + (-r_{NH_3})\eta = 0 \quad (3-1)$$

به منظور ساده سازی میتوان این معادله را بر حسب درصد تبدیل نیتروژن نوشت. همچنین روابط زیر برای محاسبات کسر مولی هر یک از اجزاء منحصر به فرد، به صورت تبدیل و نرخ جریان ورودی، استفاده می‌شود. [۲۰]

با توجه به رابطه (۳-۱) عبارت بازدهی راکتور، با استفاده از کار دیسون و سیمون به صورت زیر تعریف شده است. [۲۱]

$$u \frac{dC}{dx} + (-r_{NH_3})\eta = 0 \quad (4-1)$$

مقادیر ثابتهای معادله (۳-۱) در جدول زیر آمده است. مقادیر ثابتهای معادله بازدهی راکتور با استفاده از دیسون و سیمون. [۲۲]

جدول شماره ۱

Pressure (atm)	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6
150	-17.53909	0.07697849	6.900548	-1.0827e-4	-1.0827e-4	-1.0829e-4	-1.0279e-4
225	-8.212553	0.03774149	6.190112	-5.3545e-5	-5.3545e-5	-5.3541e-5	-5.3571e-5
300	-4.675725	0.02354872	4.687353	-3.4638e-5	-3.4633e-5	-3.4308e-5	-3.4308e-5

در این پژوهش برای بیان سرعت واکنش از رابطه‌ای که توسط تمکین در سال ۱۹۵۰ ارائه شد، استفاده کرده‌ایم:

$$r_{\text{NH}_3} = 2k \left[K_a^2 a_1 \left(\frac{a_3}{a_2} \right)^\alpha - \left(\frac{a_2}{a_3} \right)^{1-\alpha} \right] \quad (5-1)$$

در این پژوهش، پارامتر α با دو مقدار ۰/۵ و ۰/۷۵ به منظور تعیین مناسبترین بازده با توجه به داده‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. برخی از داده‌های ترمودینامیکی برای مرتبط ساختن فعالیت‌های a_1 ، a_2 و a_3 به ترکیب، فشار، و درجه حرارت مورد نیاز هستند. برای این منظور در این مقاله اولاً از معادله گیلسپیویتی (۱۹۵۰) مطابق زیر استفاده شده است. [۲۳]

$$\log_{10} K_a = -2.691122 \log_{10} T - 5.519265 \times 10^{-5} T + 1.848863 \times 10^{-7} T^2 + \frac{2001.6}{T} + 2.6899 \quad (6-1)$$

و برای ضرایب فعالیت هیدروژن، از روابط موجود در مطالعات کوپر (۱۹۶۷) شاو و ونز (۱۹۶۴) استفاده شده که به شرح زیر است.

$$\gamma_2 = \exp \left\{ \frac{e^{(-8.8402T^{0.125} + 0.541)} P - e^{(-0.1268T^{0.5} - 15.980)} P^2}{300 \left[e^{(-0.011901T - 5.941)} \right] (e^{-P/300} - 1)} \right\} \quad (7-1)$$

برای نیتروژن و آمونیاک، روابط کوپر (۱۹۶۷) و نیوتن (۱۹۳۵) به دقت بر اساس رابطه‌های زیر تطبیق داده شده اند.

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= 0.93431737 + 0.3101804 \times 10^{-3} T + \\ &0.295896 \times 10^{-3} P - 0.270727910^{-6} T^2 + 0.477520710^{-6} P^2 \\ \gamma_3 &= 0.1438996 + 0.2028538 \times 10^{-2} T - \\ &0.4487672 \times 10^{-3} P - 0.114294510^{-5} T^2 + 0.276121610^{-6} P^2 \end{aligned} \quad (1-8)$$

۵- موازنه انرژی

در این کار علاوه بر مدلسازی جرم، مدلسازی انرژی بر سیستم مورد نظر گرفته شد. [۲۴] با توجه به معادله (۲-۱) و همچنین میزان حرارت تولیدی از واکنش تولید آمونیاک که یک واکنش گرمازا می‌باشد، ساده شده معادله انرژی پس از الزام گیری و مشتق گیری به صورت زیر است. [۲۵]

$$puC_p \frac{dT}{dx} + (-\Delta H_r) r_{\text{NH}_3} \eta = 0 \quad (9-1)$$

در این رابطه مقدار ۲۷ از پایگاه اطلاعاتی بدست آمد و همچنین مقدار از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\Delta H_r = 4.184 \left\{ - \left[0.54526 + \frac{846.609}{T} + \frac{459.734 \times 10^6}{T^3} \right] P - 5.34685T - \left[0.2525 \times 10^{-3} T^2 + 1069197 \times 10^{-6} T^3 - 9157.09 \right] \right\} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right) \quad (10-1)$$

برای مشخص شدن توزیع دما و مقدار غلظت اجزاء در طول راکتور این معادلات باید به صورت همزمان حل گردند. بدین منظور استفاده از روش‌های عددی حل معادلات می‌تواند مورد استفاده قرار گیرند. در این کار از روش تفاضل محدود برای حل معادلات جرم و انرژی استفاده شده است. در این کار از روش صریح به دلیل غیرخطی بودن معادلات سرعت و کوپل شدن معادلات جرم و انرژی می‌پردازیم. بنابراین معادله نهایی بدست آمده از روش تفاضل محدود صریح برای جرم و انرژی به ترتیب عبارتند از:

$$\frac{Z_{i+1} - Z_i}{\Delta x} = \frac{\eta r_{\text{NH}_3}}{2 \frac{F_{N_2}^0}{A}} \quad (11-1)$$

$$puC_p \frac{T_{i+1} - T_i}{\Delta x} + (-\Delta H_r) r_{\text{NH}_3} \eta = 0 \quad (12-1)$$

در این رابطه i نشان دهنده گرهمای موجود در جهت طول راکتور می‌باشد. با توجه به رابطه بالا تنها نیاز به گرهبندی در جهت طول داریم.

۶- شرایط مرزی و اولیه

برای حل یک مسئله PDE نیاز به داشتن شرایط مرزی و اولیه می‌باشد. براساس معادله بدست آمده از بخش قبل برای راکتور لوله‌ای می‌توان از شرایط مرزی و اولیه زیر استفاده نمود:

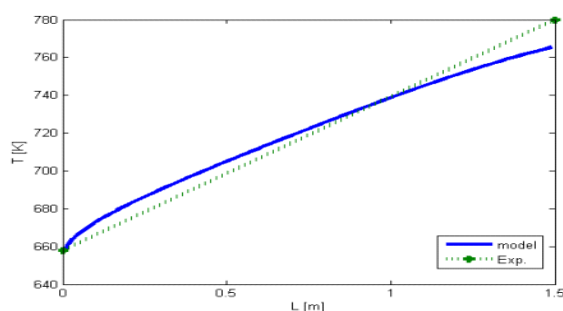
۱. غلظت در ورودی راکتور برابر با غلظت اولیه و ورودی گازها می‌باشد.
 ۲. دما در ورودی راکتور برابر با دمای اولیه یا خوراک ورودی می‌باشد.
- معادلات با استفاده از برنامه متلب حل گردید.

۷- اعتبار سنجی مدل

در مقاله چاندرا و همکارانش واکنش سنتز آمونیوم از نیتروژن و هیدروژن در حضور کاتالیست آهن موضوع مورد مطالعه می‌باشد. چاندرا توانست با استفاده از مدل کامپیوتری با استفاده از نرم افزار FORTRAN واکنشهای اتفاق افتاده، دمای طول لوله، فاکتور موثر و درصد تبدیل را شبیه سازی کرده و با نتایج تجربی مقایسه کند. در این تحقیق با استفاده از کدنویسی توسط نرم افزار متلب و ارائه مدل مناسب روند تغییرات دما در طول راکتور پیشنهاد شده که در شرایط مرزی و شرایط واکنشی مشابه شبیه سازی شد و نتیجه گرفتیم که بین دادههای آزمایشگاهی چاندرا و همکارانش با مدل کامپیوتری ارائه شده در این مطلب انطباق مناسبی وجود دارد، به طوری که ابتدا با توجه به نرخ بالای واکنش و مقاومتهای موجود، مقداری انحراف بین نتایج تجربی مقاله چاندرا و مدل کامپیوتری پیشنهاد شده در این روش وجود دارد. با افزایش پیشروی واکنش و کاهش گرادیان دما در طول راکتور و همچنین افزایش نرخ تبدیل، نتایج مدل کامپیوتری و آزمایشگاهی با درصد مناسبی مشابه می‌باشند و در انتها با ثابت شدن نرخ تبدیل در واقعیت و ثابت نشدن این نرخ در مدل نرمافزاری مقداری انحراف در نتایج ایجاد شده است. با استفاده از نرم افزار MiniTab این انطباق این دو نمودار $R^2 = 0.978$ محاسبه شد که این موضوع نشان از هم پوشانی و انطباق نتایج مدل کامپیوتری این مقاله با نتایج آزمایشگاهی چاندرا و همکارانش دارد. باید توجه داشت که دمای ورودی راکتور در لحظه آغازین K 658 می‌باشد و علت خطی بودن نمودار نتایج آزمایشگاهی چاندرا مشخص بودن دمای ابتدا و انتهای لوله راکتور و عدم مشخص بودن دما در طول راکتور می‌باشد.

شکل ۱: مقایسه دادههای دما- طول حاصل از مدلسازی این پایاننامه با نتایج تجربی مقاله چاندرا و همکاران در دمای ورودی

۶۵۸ کلوین



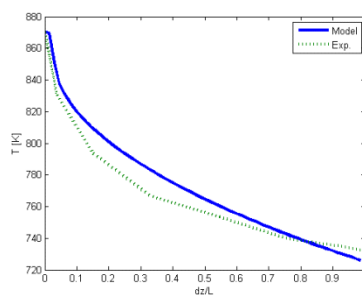
جدول شماره ۲ میزان خطا

Model Result		
yN2	yH2	yNH3
20.677065	62.516221	10.880509
Experimental Data		
20.100000	61.000000	10.500000
Error (%)		
2.870971	2.485608	3.623900

۸- بحث و بررسی

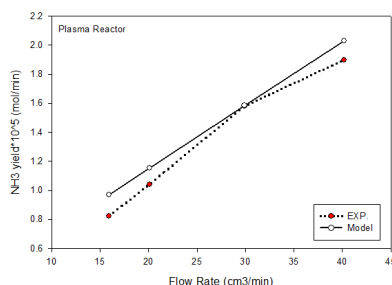
در مدل مربوط به آبشار و همکارانش مدل هتروژنی و ناهمگن برای شبیه سازی و تحلیل نتایج تجربی مربوط به راکتورهای صنعتی شامل سه بستر آدیاباتیک و خنک کننده چند مرحله‌ای سنتز آمونیاک پیشنهاد شد. در این مقاله از تکنیک شوتینگ برای حل معادلات مرزی و تعیین فاکتور تاثیر استفاده شد و واکنشها برگشتپذیر فرض شدند. در این مدل واکنش گرمازا بوده و فرض شده است که مقاومت میان گازهای موجود در راکتور و پلت ناچیز است، همچنین به دلیل سرعت بالای گازهای ایجاد شده در راکتور اتلاف حرارتی در جهت عرضی نادیده گرفته شد. آبشار و همکارانش نمودار سبز رنگ را برای تغییرات دما در طول لوله پیشنهاد دادند. با عبور واکنشدهنده‌های از بسترهای کاتالیزوری و افزایش نرخ تولید آمونیاک و همچنین حضور خنک کننده در محیط راکتور رفته رفته تغییرات دما کمتر شده و پیچیدگی واکنش کمتر میشود. در نتیجه با ادامه واکنش نتایج تجربی و کامپیوتری با هم منطبق شده است. دمای ورودی راکتور K 870 و دمای خروجی حدود K 655 کلین است. مقدار ضریب هم پوشانی دو نمودار با استفاده از نرمافزار MINITAB حدود $R^2 = 0.978$ به دست آمد که این موضوع نشان از هم پوشانی مناسب نتایج شبیه ساز شده در این مطالعه با مدل هتروژنی پیشنهاد شده توسط آبشار و همکارانش دارد.

شکل ۲: مقایسه داده‌های دما- طول حاصل از مدلسازی با نتایج تجربی مقاله آبشار و همکاران در دمای ورودی ۵۷۰ کلین



در مقاله تحقیقاتی میزوشیما و همکاران. مشخص شد که حضور ذرات کاتالیستی روترنیوم در حفرهای غشای آلومینیومی موجب افزایش بازده تولید آمونیاک شده است. در این تحقیق مشخص شد که غشای آلومینیوم و کاتالیستهای روترنیوم باعث افزایش تولید آمونیاک در غشای پلازما میشود. [۲۶] نتایج مطالعه میزوشیما برای شدت جریانهای مختلف ورودی N_2/H_2 در شکل (۳) آمده است. افزایش بازده تولید آمونیاک با افزایش نرخ خوراک ورودی به این دلیل است که با افزایش نرخ خوراک ورودی، واکنشهای بازگشتی کاهش یافته و مقدار مول کمتری به مولکولهای نیتروژن و هیدروژن تبدیل میشود. با افزایش نرخ خوراک و کاهش سرعت واکنشهای برگشتی اندکی انحراف بین دو نمودار مشاهده میشود، بنابراین میتوان گفت نمودار ارائه شده در این مقاله برای نتایج در یک بازه نرخ خوراک ورودی دارای نتایج تقریباً دقیق و برای سایر بازه‌ها دارای نتایج قابل قبولی میباشد. مقدار ضریب هم پوشانی نمودار حاصل از نتایج تجربی میزوشیما و مدل کامپیوتری ارائه شده در این مقاله $R^2 = 0.9506$ میباشد. با توجه به این شکل نیز کاملاً مشخص است که میزان خطای محاسبات به شکل قابل توجهی کم می باشد.

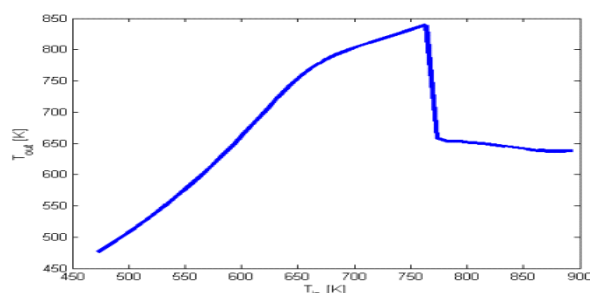
شکل ۳: مقایسه نتایج محصول آمونیاک نسبت به دبی سیال در دو حالت آزمایشگاهی و مدلسازی



در راکتورهای پلازما با ایجاد شرایط پلازما در ورودی این راکتور سبب افزایش دمای خوراک خواهیم شد، که این موضوع خود بر خواص ترمودینامیکی خوراک نیز تأثیر میگذارد و باعث افزایش سرعت واکنش تولید آمونیاک شده و بازده نیز افزایش مییابد.

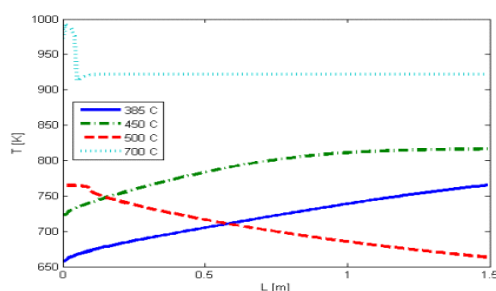
با ادامه واکنش به دلیل شروع واکنشهای ریفورمینگ خوراک ورودی که واکنش گرماگیری میباشد و همچنین اتلاف گرما، دمای خروجی ابتدا به شدت کاهش یافته و در ادامه تقریباً ثابت میشود. همانطور که در شکل (۴) مشخص است با افزایش دمای ورودی دمای خروجی گازها افزایش مییابد و از یک دما به بعد دمای خروجی به شدت افت میکند و این موضوع به دلیل فروپاشی آمونیاک تشکیل شده در واکنشهای بازگشتی میباشد. با نتایج این شکل میتوان ناحیههای که پلاسما ایجاد میشود را مشخص نمود که برای این گزارش دمای ناحیه پلاسما حدود ۵۰۰ درجه سلسیوس میباشد. که این موضوع به خوبی توسط مدل ارائه شده در این مقاله قابل توجیه میباشد.

شکل ۴: روند تغییر دما در طول راکتور با توجه به دمای ورودی



در شکل (۵) تاثیر دمای ورودی خوراک به راکتور بر پروفایل تغییر دما در طول راکتور بررسی شده است. برای این مورد از چهار دمای ورودی مختلف برای راکتور با طول یکسان، نرخ ورودی یکسان خوراک استفاده شده است. با توجه به موارد ارائه شده در این مقاله مشخص شده است که هر چه دمای ورودی خوراک بیشتر باشد، نرخ تبدیل خوراک به محصول بیشتر شده و همچنین واکنش در مدت زمان کمتری انجام میشود. با توجه به شکل (۵) میتوان نتیجه گرفت که در دماهای پایین دمای راکتور در طول لوله افزایش مییابد که این افزایش ممکن است خطی یا غیر خطی باشد و هر چه به انتهای راکتور نزدیک میشویم، گرادیان دما به دلایل توضیح داده شده کمتر میشود. در دماهای ورودی بالا بیشتر از ۷۰۰ درجه سانتیگراد دما بعد از تبدیل آمونیاک با شیبهای مختلف و به شکلهای مختلف ممکن است کاهش یابد. برای درک بهتر این مسئله سعی شده است که از نتایج مدلسازی دما در طول راکتور برای چند دمای ورودی مختلف استفاده شود که نتایج آن در شکل (۵) نشان داده شده است. دماهای ورودی بکار برده شده به ترتیب ۳۸۵، ۴۵۰، ۵۰۰ و ۷۰۰ درجه سانتیگراد میباشد.

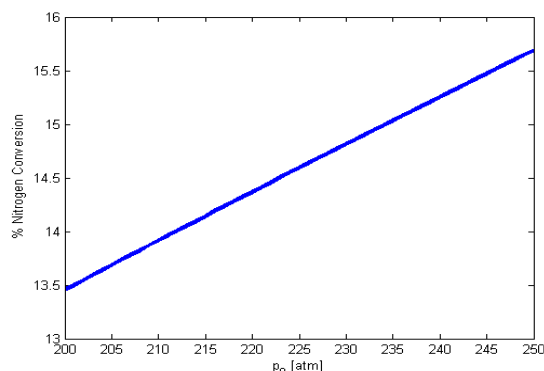
شکل ۵: تاثیر دمای ورودی بر روند تغییر پروفایل دما در طول راکتورهای لوله



پس از مشخص شدن شرایط دمای ورودی و روند تغییرات دما در طول راکتور، پارامترهای حاصل از مدلسازی جرم و انرژی در این شرایط و همچنین اثر شرایط عملیاتی مختلف بر این پارامترها را بررسی میکنیم. همانطور که در روش انجام کار اشاره شد، از درصد تبدیل نیتروژن (Z) به منظور مدلسازی انتقال جرم استفاده گردید. به عبارتی دیگر در جهت طول تغییرات اجزاء مولی در نهایت ثابت میشوند. با توجه به اینکه هم واکنش دهندهها و هم فرآوردههای فرآیندهای اتفاق افتاده در راکتور پلاسما در فاز گازی میباشند، لذا فشار تاثیر مستقیم بر جهتی از واکنش دارد که در آن جهت مولهای کمتری نسبت به واکنش دهندهها ایجاد میشود. با توجه به اینکه مولهای آمونیاک تشکیل شده کمتر از مولهای هیدروژن و نیتروژن ورودی به راکتور میباشد، لذا افزایش فشار باعث افزایش تشکیل آمونیموم شده و با افزایش فشار نرخ تبدیل واکنش دهندهها به فرآوردهها بیشتر میشود. این موضوع به خوبی در

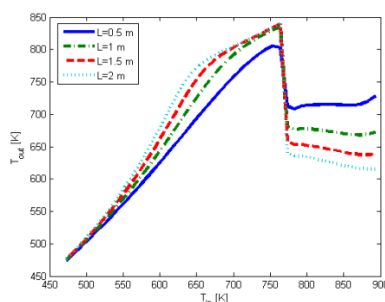
شکل (۶) نشان داده شده است. همچنین افزایش فشار باعث کاهش مقاومت‌های موجود در تشکیل گاز آمونیوم میشود، لذا با افزایش تولید آمونیوم در اثر افزایش فشار، طبیعتاً نیتروژن بیشتری تبدیل میشود.

شکل ۶: تغییرات درصد تبدیل نیتروژن نسبت به تغییر شار مولی کل راکتور در شرایط پلاسما



در شکل (۷) اثر طول راکتور بر پروفایل دمای خروجی نسبت به دمای ورودی بررسی شده است. همانطور که ملاحظه میشود در راکتورهای با طول بزرگتر دمای انتهایی راکتور در دمای ورودی یکسان، کمتر از راکتورهای با طول کوچکتر میباشد. این موضوع به دلیل اتلاف بیشتر گرما در راکتورهای با طول بلند، نسبت به راکتورهای با طول کوتاه میباشد. لذا میتوان نتیجه گرفت طول راکتور تاثیر مستقیم بر دمای تشکیل آمونیاک دارد، ولی تنها عامل نمیشد. همچنین در راکتورهای با طول بلندتر با توجه به مساحت بزرگتر بسترها ممکن است واکنشهای برگشتی و تبدیل آمونیاک به نیتروژن و هیدروژن به میزان بیشتری نسبت به راکتورهای با طول کوچکتر انجام شود و این موضوع دلیل دیگری بر کمتر بودن دمای انتهایی راکتورهای با طول بلندتر میباشد. از موارد ارائه شده میتوان نتیجه گرفت که طول پلاسما در راکتورهای با طول بلندتر بزرگتر از راکتورهای با طول کوچکتر میباشد.

شکل ۷: بررسی اثر طول راکتور بر پروفایل دمای خروجی نسبت به دمای ورودی



نتیجه گیری

مدل ارائه شده در این مقاله به خوبی توانست مدلهای ارائه شده توسط چاندر را برای پروفایل دما در طول راکتور لوله‌ای از نوع هتروژنی را توجیه کند. همچنین نتایج مقاله آباشار در مورد پروفایل تغییرات دما نسبت به طول راکتور در فرآیند سنتز آمونیاک در دماهای ورودی بالای خوراک را توجیه کند. و به خوبی نتایج ارائه شده در مقاله میزوشمیا را در مورد تاثیر دبی جریان ورودی خوراک بر میزان تبدیل آمونیاک را توجیه کند. در دماهای ورودی پایین، دمای خروجی راکتور بیشتر از دمای ورودی میباشد و لذا پروفایل دما صعودی میباشد و در دماهای بالاتر از ۷۰۰ درجه سلسیوس پروفایل دما در طول راکتور نزولی میباشد. در طول راکتور با افزایش دمای ورودی گاز ابتدا دمای خروجی افزایش پیدا کرد ولی در یک نقطه خاص افت شدید پیدا کرد و در نهایت ثابت شد. که این نقطه شروع واکنشهای گرماگیر بازگشتی تبدیل آمونیاک به نیتروژن و هیدروژن میباشد. باید توجه داشت که اتلاف دما نیز باعث افت دما میشود. در شرایط پلاسما با افزایش فشار میزان درصد تبدیل و دمای خروجی افزایش پیدا کرد. و با افزایش شار مولی ورودی خوراک، میزان درصد تبدیل و دمای خروجی کاهش پیدا کرد. در این تحقیق مشخص شد که در راکتورهای با طول بلندتر در شرایط یکسان دمای انتهایی راکتور نسبت به راکتورهای با طول کوتاهتر کمتر می باشد.

تشکر و قدردانی

نهال را "باران" باید، تا سیرایش کند از آب حیات و "آفتاب" باید تا بتاباند نیرو را و محکم کند شاخه‌های تازه روییده را؛ بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانهام جناب آقای دکتر بیژن هنرور آموزگاری که برایم زندگی‌بودن و انسان بودن را معنا کرد، و همچنین کمک‌های بی دریغ ایشان در نگارش این مقاله تقدیر و تشکر نمایم.

مراجع

1. Kirschbaum B, Sica D, Anderson F. P. 1999. Urine electrolytes and the urine anion and osmolar gaps. *The Journal of laboratory and clinical medicine*, 133 (6): 597–604.
2. Shriver, Atkins. 2010. *Inorganic Chemistry (Fifth Edition)*. W. H. Freeman and Company, New York.
3. Fauchais P, Rakowitz J. 1979. Physics on plasma chemistry. *J. Phys.* 40: C7–289–C7–312. doi:10.1051/jphyscol:19797444.
4. Miller S.L. 1953. A production of amino acids under possible primitive earth conditions, *Science*. 117: 528–529. doi:10.1126/science.117.3046.528.
5. Miller S.L. 1953. A production of amino acids under possible primitive earth conditions, *Science*. 117: 528–529. doi:10.1126/science.117.3046.528.
6. Fauchais P, Rakowitz J. 1979. Physics on plasma chemistry, *J. Phys.* 40: C7–289–C7–312. doi:10.1051/jphyscol:19797444.
7. Smil V. 2004. *Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the Transformation of World Food Production*, MIT Press.
8. Schrock R.R. 2006. Reduction of dinitrogen. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 103: 17087. doi:10.1073/pnas.0603633103.
9. Fauchais P, Rakowitz J. 1979. Physics on plasma chemistry, *J. Phys.* 40: C7–289–C7–312. doi:10.1051/jphyscol:19797444.
10. Gieshoff J, Lang J. 2002. Process for the Plasma-Catalytic Production of Ammonia, US6471932.
11. Reese M. 2007. Wind to Ammonia: An Update Presenter Overview.
12. Avery W. 1988. A role for ammonia in the hydrogen economy, *Int. J. Hydrogen Energy*. 13: 761–773. doi:10.1016/0360-3199(88)90037-7.
۱۳. رستگارس، هنرور، ب. بررسی تولید گاز سنتز در راکتور پلاسما گلا دینگ به روش اکسیداسیون جزئی متان، نشریه علمی و پژوهشی مهندسی و مدیریت انرژی، سال چهارم، شماره اول، بهار ۱۳۹۳، صفحه ۴۷–۴۰.
14. Yin Khin Swe, Venugopalan Mundiath. 1983. Plasma Chemical Synthesis. I. Effect of Electrode Material on the Synthesis of Ammonia. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 3;3.
15. Mizushima Takanori, Matsumoto Kazumi, Sugoh Jun-ichi, Ohkita Hironobu, Noriyoshi Kakuta. 2004. Tubular membrane-like catalyst for reactor with dielectric-barrier discharge plasma and its performance in ammonia synthesis. *Applied Catalysis A*, 265: 53–59.
16. Bai Mindong, Zhang Zhitao, Bai Xiyao, Bai Mindi, Wang Ning. 2003. Plasma Synthesis of Ammonia With a Microgap Dielectric Barrier Discharge at Ambient Pressure. *IEEE Transactions ON Plasma Science*; 31: 6.
17. Helden van J. H, W. Wagemans G. Yagci R. A. B. Zijlmans D. C. Schram R. Engeln, G. Lombardi G. D. Stancu and J. Röpkcke. 2007. Detailed study of the plasma activated catalytic generation of ammonia in N₂-H₂ plasmas. *Journal of Applied Physics* 101, 043305; doi: 10.1063/1.2645828.
18. Castro A. de, Alegre D, Tabarés F.L. 2015. Ammonia formation in N₂/H₂ plasmas on ITER-relevant plasma facing materials: Surface temperature and N₂ plasma content effects. *Nuclear Materials*, 463: 676–679.
19. Okuñ, Lev Borisovič. 2009. *Energy and Mass in Relativity Theory*. World Scientific. p. 253. ISBN 978-981-281-412-8.
20. Dyson D. C, Simon J. M. 1968. Kinetic Expression with Diffusion Correction for Ammonia Synthesis on Industrial Catalyst. *Ind. Eng. Chem. Fundamen*, 7; 4: pp 605–610.
21. Uyama H, Matsumoto O. 1989. Synthesis of Ammonia in High-frequency Discharges, *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 9; 1.
22. Yu Yuouo, Wang changing. 1989. Steady-state simulation of ammonia synthesis loop", *Journal of Chemical Industry and Engineering*, 4; 2.

23. Dyson D. C, Simon J. M. 1968. Kinetic Expression with Diffusion Correction for Ammonia Synthesis on Industrial Catalyst. *Ind. Eng. Chem. Fundamen*, 7; 4: pp 605–610.
24. Hideo Kiyooka, Osamu Matsumoto. 1996. Reaction Scheme of Ammonia Synthesis in the ECR Plasmas. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*. Vol. 16, No. 4.
25. Bai Mingdong, Bai Xiyao, Zhang Zhitao, Bai Mindi. 2000. Synthesis of Ammonia in a Strong Electric Field Discharge at Ambient Pressure. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 20; 4.
26. Mizushima T, Matsumoto K, Sugoh J, Ohkita H, Kakuta N. 2004. Tubular membrane-like catalyst for reactor with dielectric-barrier-discharge plasma and its performance in ammonia synthesis, *Appl. Catal. A Gen.* 265: 53–59. doi:10.1016/j.apcata.2004.01.002.

مدیریت هاب صنعتی با استفاده از الگوریتم چند هدفه گرگ خاکستری MOGWO
بابک صفری چابک، احمد عاشوری، نادر مرتضوی

بهبود فرآیند کار در بین کارکنان بانک صادرات با سنجش رابطه آن و نیازهای شغلی
کارکنان با توجه به اهداف کلان بانک صادرات (سرپرستی شمال تهران)
سحر دلیری، مسعود پیردستان

بهینه سازی پارامترهای فرایند ماشینکاری تخلیه الکتریکی (EDM) در ماشین کاری کاریبید
تنگستن-کبالت (WC/6%Co) با الگوریتم MOPSO
محمدرضا مرکی

طراحی بهینه ریز شبکه تحت مد عملکرد جزیره ای با هدف بهبود قابلیت اطمینان و کاهش
هزینه در شرایط مختلف جوی با استفاده از الگوریتم ژنتیک رتبه بندی نامغلوب
نادر مرتضوی، بهنام علیزاده، علیرضا سبحان، مازیار میرحسینی مقدم

مدل سازی ریاضی راکتور لوله ی با ترکیب پلازما در فرآیند تولید آمونیاک
فاطمه زارع، بیژن هنرور

پژوهش های نوین فایده مند

۰۲۱ ۳۳۲۰۲۴۸۷ ۰۲۱ ۴۳۸۵۷۱۲۴
۰۲۶ ۳۲۷۲۴۷۸۷ ۰۲۶ ۳۲۷۴۷۱۵۸
تهران: افسریه، ۱۵ متری چهارم، کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲
کرج: چهارراه هفتتیر، خیابان لاله، ۱۴، طبقه همکف