



سال دوم، شماره ۱ (پیاپی ۴)، بهار ۱۳۹۸
ISSN: 2645-4394

شناسایی و رتبه‌بندی اصول تأثیرگذار سازماندهی
اسلامی بر عملکرد سازمان‌ها
صادق عابدی، طه مؤمنی، رضا نوری

مدل‌سازی ریاضی برای طراحی یکپارچه‌ی شبکه‌ی
لجستیک بسته با در نظرگیری مقدار تخفیف
تامین‌کننده‌ها با هدف مینیمم‌سازی CO₂ منتشر شده و
هزینه کل و میزان تاخیر
سپیده آقایی، سیدمحمد تقی فاطمی قمی

سنجش رضایت مشتری به‌منظور افزایش فروش با
استفاده از داده‌کاوی؛ مطالعه موردی در صنایع کاشی و
سرامیک استان قزوین
امین محمودی، فاطمه رهروان سحر

روش سلسله‌مراتبی (AHP) جهت انتخاب محرک
سرعت متغیر (هیدروکوپلینگ و VFD) در پروژه‌های
نفت و گاز
غلامرضا اسماعیلیان، غلامرضا عزیزی، مهرداد حسنیپور



فصلنامه پژوهشهای کاربردی در مهندسی صنایع
سال دوم، شماره ۱ (پیاپی ۴)، بهار ۱۳۹۸
ISSN: 2645-4394

صاحب امتیاز: گلناز السادات صباغیان

مدیر مسئول: منیژه ملائی

زیر نظر شواری سردبیری

اعضای شواری علمی نشریه:

دکتر سیامک حاجی یخچالی، عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

دکتر محمد مهدی نصیری خونساری، عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

دکتر فرزاد فیروزی جهان تیغ، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان

دکتر علی سلما س نیا، عضو هیئت علمی دانشگاه قم

دکتر رضا سمیع زاده، عضو هیئت علمی دانشگاه الزهرا

دکتر حسین کریمی، عضو هیئت علمی دانشگاه بجنورد

دکتر علی چراغعلی خانی، عضو هیئت علمی دانشگاه تفرش

دکتر مجتبی مرادی، عضو هیئت علمی دانشگاه گیلان

دکتر ارد احمدی، عضو هیئت علمی دانشگاه خوارزمی

دکتر محبعلی رهدار، عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان



۰۲۱ ۳۳ ۲۰ ۲۴ ۸۷



۰۲۶ ۳۴ ۴۳ ۶۹ ۵۹



۰۲۱ ۴۳ ۸۵ ۷۱ ۲۴

نشانی: کرج، بلوار امام خمینی (باغستان)، بین
خیابان پنجم و ششم، روبروی مجموعه ورزشی
انقلاب، پلاک ۷۳۵، ساختمان پرند، واحد ۱

انتشارات هنر و علوم دانشگاهی
تهران، افسریه، ۱۵ متری اول، کوچه ۲۸،
پلاک ۲۹۳ تلفن: ۰۲۱ ۳۳ ۸۴۰۷۹۲



فراخوان پذیرش مقاله

حیات اقتصادی سازمان‌ها، مؤسسات تولیدی و خدمات در بازار رقابتی شدید جهانی به استفاده بهینه از منابع در دسترس وابسته است. مهندسی صنایع ابزار لازم برای حصول اهداف سازمانی را به طور فراگیر و سامان‌مند فراهم می‌آورد و این نشانگر نقش و اهمیت بالای مهندسی صنایع به عنوان موتور محرک حرکت سازمان‌های امروزی است. دانایی یکی از محورها و شاخص‌های اصلی پیشرفت و تعالی هر جامعه به شمار می‌رود. سنجش سطح دانایی به میزان تولید و مصرف اطلاعات و گسترش دانایی به دسترسی سریع و آسان به منابع علمی موثق وابسته است. بنابراین، منبع اصلی تولید اطلاعات و دانش جدید در واقع حاصل فعالیت‌های پژوهشی است که انجام می‌گیرد. تغییر و تحول به طور پیوسته و مستمر در روش زندگی انسان‌ها، سازمان‌ها، جوامع و اجتماعات بشری امر بدیهی بوده و مختص نقطه خاصی از جهان نیست. 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.

موسسه مدیریت دانش شباک با همکاری اساتید برجسته دانشگاهی باهدف معرفی پژوهش‌های مهندسی صنایع و ایجاد فرصتی برای تبادل مطالعات و تجارب در این حوزه، نشریه پژوهش‌های کاربردی در مهندسی صنایع را منتشر می‌کند. تحریریه به منظور انتشار گسترده پژوهش‌های روزآمد از اساتید، صاحب‌نظران، مهندسان، دانشجویان، کارشناسان، پژوهشگران و علاقه‌مندان محترم مهندسی صنایع، دعوت می‌کند تا با ارائه مقالات علمی ارزشمند خود، از طریق وبسایت نشریه به نشانی www.ARIEN.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 پژوهش‌های کاربردی در مهندسی صنایع:

- بهینه‌سازی سیستم‌ها
- مدیریت نوآوری و فناوری
- سیستم‌های سلامت
- سیستم‌های کلان
- آینده‌پژوهی
- سیستم‌های مالی
- لجستیک و زنجیره تأمین
- مدیریت پروژه
- مدیریت مهندسی
- مطالعات میان‌رشته‌ای در مهندسی صنایع

فهرست مقالات

صفحه	عنوان مقاله
۱	شناسایی و رتبه‌بندی اصول تأثیرگذار سازمان‌دهی اسلامی بر عملکرد سازمان‌ها صادق عابدی، طه مؤمنی، رضا نوری
۹	مدل‌سازی ریاضی برای طراحی یکپارچه‌ی شبکه‌ی لجستیک بسته با در نظرگیری مقدار تخفیف تامین‌کننده‌ها با هدف مینیمم سازی CO2 منتشر شده و هزینه کل و میزان تاخیر سپیده آقایی، سیدمحمد تقی فاطمی قمی
۲۱	سنجش رضایت مشتری به منظور افزایش فروش با استفاده از داده‌کاوی؛ مطالعه موردی در صنایع کاشی و سرامیک استان قزوین امین محمودی، فاطمه رهروان سحر
۳۱	روش سلسله مراتبی (AHP) جهت انتخاب محرک سرعت متغیر (هیدروکوپلینگ و VFD) در پروژه‌های نفت و گاز غلامرضا اسماعیلیان، غلامرضا عزیزی، مهرداد حسن‌پور

شناسایی و رتبه‌بندی اصول تأثیرگذار سازمان‌دهی اسلامی بر عملکرد سازمان‌ها

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۲/۰۶

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۰۷

کد مقاله: ۶۱۴۱۲

صادق عابدی^۱، طه مؤمنی^۲، رضا نوری^۳*

چکیده

مطالعه حاضر با هدف شناسایی و رتبه‌بندی اصول تأثیرگذار سازمان‌دهی اسلامی بر عملکرد سازمان‌ها انجام شده است. این پژوهش از لحاظ هدف، کاربردی و از لحاظ ماهیت و شکل اجرا، توصیفی-پیمایشی است. جامعه آماری این تحقیق را ۳۰ نفر از خبرگان و متخصصان حوزه مدیریت اسلامی تشکیل می‌دهند. در این مطالعه ابتدا با استفاده از مرور ادبیات، شش عامل شامل شایسته‌سالاری، تعالی نیروی کار و تخصص توأم با تعهد، رهبری، مشاوره جویی، و اخلاق‌مداری به‌عنوان اصول تأثیرگذار سازمان‌دهی اسلامی بر عملکرد سازمان‌ها شناسایی شدند. سپس با اتکا به نظر خبرگان و تکنیک فرایند تحلیل سلسله مراتبی نسبت به اولویت‌بندی عوامل مذکور اقدام گردید. ابزار گردآوری داده‌ها پرسشنامه مقایسات زوجی بر اساس طیف ۹ درجه ساعتی است. نتایج حاصل از رتبه‌بندی عوامل نشان داد به ترتیب مؤلفه‌های رهبری، مشاوره جویی، اخلاق‌مداری، شایسته‌سالاری، تعالی نیروی کار و تخصص توأم با تعهد از بیشترین و کمترین اهمیت در گروه برخوردار هستند.

واژگان کلیدی: سازمان‌دهی اسلامی، مدیریت، رهبری اسلامی، شایسته‌سالاری

۱- استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران

۲- دانشجوی دکترا، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران

۳- دانشجوی دکترا، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران (مسئول مکاتبات) rezanouryarc@gmail.com

مؤسسات، سازمان‌ها و دستگاه‌های اجرایی، با هر چشم‌انداز، مأموریت، رسالت و اهدافی؛ نهایتاً در یک قلمرو ملی و یا بین‌المللی عمل می‌کنند و ملزم به پاسخ‌گویی به مشتریان، ارباب‌رجوع و ذی‌نفعان هستند تا بتوانند هدف خود را که اجرای کامل و دقیق وظایف قانونی و کمک به تحقق اهداف توسعه و تعالی کشور است محقق سازند. بنابراین، بررسی نتایج عملکرد، یک فرایند مهم راهبردی تلقی می‌شود. در صورتی که ارزیابی عملکرد با دیدگاه فرایندی و به‌طور صحیح و مستمر انجام شود، موجب ارتقاء پاسخ‌گویی سازمان‌ها و اعتماد عمومی به عملکرد آن‌ها می‌گردد. همچنین موجب ارتقای مدیریت منابع، رضایت مشتری، کمک به توسعه ملی، ایجاد قابلیت‌های جدید، پایداری و ارتقای کلاس جهانی سازمان‌ها می‌گردد. اگر در ساده‌ترین تعریف، نسبت داده به ستاده را کارایی بدانیم، نظام ارزیابی عملکرد در واقع میزان کارایی تصمیمات مدیریت در خصوص استفاده بهینه از منابع و امکانات را مورد سنجش قرار می‌دهد (سیابی و همکاران، ۱۳۹۶). اندازه‌گیری عملکرد، به کارگیری مجموعه‌ای چندبعدی از شاخص‌های عملکرد برای برنامه‌ریزی و مدیریت یک سازمان است و سیستم ارزیابی عملکرد سیستمی است که انجام این کار را مقدور می‌سازد (دنسی و گونزالز، ۲۰۱۷). در تعریفی دیگر، ارزیابی عملکرد به فرایند سنجش نسبی عملکرد فرد یا گروه در رابطه با نحوه انجام کار مشخص در یک دوره زمانی معین، در مقایسه با استاندارد انجام کار و همچنین تعیین استعدادهای و ظرفیت‌های بالقوه فرد به‌منظور برنامه‌ریزی در جهت به فعلیت درآوردن آن‌ها اطلاق می‌شود (روح الهی، ۱۳۹۳).

از جمله عواملی که نقشی تعیین‌کننده در عملکرد سازمان‌ها دارد، مفهوم سازمان‌دهی است. ساختار سازمانی چهارچوب روابط حاکم بر مشاغل، سیستم‌ها و فرایندهای عملیاتی و افراد و گروه‌هایی است که برای نیل به هدف تلاش می‌کنند. در واقع ساختار سازمانی، مجموعه راه‌هایی است که کار را به وظایف مشخص تقسیم می‌کند و هماهنگی میان آن‌ها را فراهم می‌کند. ساختار، توزیع قدرت در سازمان را نشان می‌دهد و صرفاً یک سازوکار هماهنگی نیست بلکه فرایندهای سازمانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (یانگ و گوشال، ۲۰۱۶). ساختار سازمانی به الگوهای روابط درونی سازمان، اختیار و ارتباطات دلالت دارد و روابط گزارش دهی، کانال‌های ارتباط رسمی، تعیین مسؤلیت و تفویض اختیار تصمیم‌گیری را روشن می‌سازد (چاداد و کوک، ۲۰۰۴). به‌وسیله ساختار سازمانی عملیات و فعالیت‌های داخل سازمان، آرایش می‌یابد و خطوط مسؤلیت و اختیار مشخص می‌شود. ساختار به مدیران نشان می‌دهد که مسئول سرپرستی چه کسانی هستند و به کارکنان، مدیرانی را می‌شناساند که از آن‌ها آموزش و دستور می‌گیرند. کمک به جریان اطلاعات نیز از تسهیلاتی است که ساختار برای سازمان فراهم می‌کند (دفت، ۲۰۱۵). ساختار سازمانی باید توان تسریع و تسهیل تصمیم‌گیری، واکنش مناسب نسبت به محیط و حل تعارضات بین واحدها را داشته باشد. ارتباط بین ارکان اصلی سازمان و هماهنگی بین فعالیت‌های آن و بیان ارتباطات درون سازمانی از نظر گزارش دهی و گزارش‌گیری، از وظایف ساختار سازمانی است (نیک نهاد و همکاران، ۱۳۹۴).

پیروی بدون تفکر از سبک‌های غربی در سازمان‌دهی سازمانی و مدیریت سازمان باعث شده است که امروزه چشم‌انداز سازمان‌های ایرانی بسیار متفاوت با اصول و ارزش‌های ایرانی-اسلامی باشد. این در حالی است که مطابق با ارزش‌های اسلامی، سازمان‌دهی و مدیریت سازمان‌ها می‌تواند به شکلی باشد که در عین توجه به منافع سازمانی، اصول و ارزش‌های اخلاقی را برای کارکنان، مشتریان و کلیه ذینفعان سازمان به همراه داشته باشد. یکی از پیامدهای مهم درهم‌ریخته شدن نظام ارزشی غرب، حاکم شدن مکتب اصالت نفع بر روند فعالیت‌های اقتصادی و تولید است، معتقدین به این مکتب یک عمل را تا آنجا درست قلمداد می‌کنند که برای فرد یا افرادی، بیشترین خوشی و آسایش را به وجود آورد به‌بیان دیگر، ملاک درستی یک عمل نتایج آن است نه شیوه انجام آن عمل، در واقع طرفداران این اندیشه چهره‌ی اصلی هر عمل را که همانا انگیزه آن می‌باشد بی‌بهاء جلوه داده‌اند. بدیهی است در این مکتب میزان درستی نتیجه بستگی به میزان «سوددهی» آن دارد (رضاییان، ۱۳۹۵). این در حالی است که حجم وسیعی از مطالعات و پژوهش‌ها- در داخل و خارج از کشور- حاکی از آن است که به‌کارگیری اصول سازمان‌دهی اسلامی نه تنها منافاتی با منافع اقتصادی شرکت ندارد؛ بلکه به تجلی ارزش‌های اخلاقی و انسانی در بین کارکنان و مدیریت سازمان نیز کمک شایانی می‌کند (لطیفی و عزیزی، ۱۳۹۴؛ رحیمی و حسنی نیا، ۱۳۹۶).

اگرچه مطالعات پیشین به‌درستی به اهمیت سازمان‌دهی اسلامی سازمان‌ها جهت نهادینه‌سازی اخلاقیات و ارزش‌های معنوی اشاره داشته‌اند، اما کماکان نیاز به تحقیقات بیشتر جهت تبیین تأثیرگذاری اصول سازمان‌دهی اسلامی بر عملکرد سازمان‌ها احساس می‌شود؛ چراکه عملکرد، موضوعی اصلی در تمامی تجزیه و تحلیل‌های سازمانی است و تصور سازمانی که دارای نظام ارزیابی و اندازه‌گیری عملکرد نباشد مشکل است. از سوی دیگر باید توجه داشت که سازمان‌دهی به‌طور عام و سازمان‌دهی اسلامی به شکل خاص، دارای ابعاد و مؤلفه‌های متفاوتی است و در واقع یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره است. در این راستا لازم است اولاً مؤلفه‌های مختلف سازمان‌دهی اسلامی مشخص شده و در ثانی، وزن و اهمیت هر یک از این ابعاد از لحاظ تأثیرگذاری بر عملکرد سازمانی موردبررسی قرار گیرد. در این راستا، پژوهش حاضر با هدف شناسایی و رتبه‌بندی اصول تأثیرگذار سازمان‌دهی اسلامی بر عملکرد سازمان‌ها انجام شده است.

۲- ادبیات پژوهش

در مورد تعریف عملکرد، نگرش‌ها و تعاریف مختلفی ارائه شده است. در یک تعریف کلی، عملکرد اصطلاحی است پیچیده که دربرگیرنده کلیه مفاهیمی است که موفقیت یک سازمان و فعالیت‌هایش را در برمی‌گیرد. در تعریفی دیگر، ارزیابی عملکرد عبارت است از: سنجش، ارزش‌گذاری و قضاوت در خصوص عملکرد دستگاه‌های اجرایی کشور بر اساس قوانین و مقررات مصوب، معیارهای اثربخشی، کارایی، اقتصادی و اخلاقی به‌منظور ارتقاء کیفیت خدمات (فتحی و همکاران، ۱۳۹۵). به عقیده روزن و همکاران (۲۰۱۷)، ارزیابی عملکرد به معنی فرایند رسمی ارائه بازخورد مشخص اعم از مثبت و منفی به کارکنان و سازمان در مورد عملکرد آنان می‌باشد. کاسیو و همکاران (۲۰۱۵) ارزیابی عملکرد را توصیف نظام‌دار نقاط قوت و ضعف عملکرد فرد، گروه یا سازمانی در طی دوره زمانی خاص به‌منظور بررسی عملکرد فرد، گروه و سازمان تعریف می‌کنند. تانگن (۲۰۰۴) اعتقاد دارد که ارزیابی عملکرد، فرایندی است که با آن عملکرد سازمان مورد سنجش و اندازه‌گیری قرار می‌گیرد و هنگامی که درست اجرا شود، کارکنان، سرپرستان، مدیران و در نهایت سازمان و جامعه از آن منتفع خواهد شد.

بررسی ادبیات پژوهش حاکی از آن است که سازمان‌دهی اسلامی دارای مؤلفه‌های متعددی است که برخی از آن‌ها در مطالعات محققان خارج از کشور نیز به‌عنوان یک عامل تأثیرگذار در سازمان‌دهی سازمانی و متعاقب آن، بر عملکرد سازمانی تأثیر گذارند. از جمله این عوامل می‌توان به سبک رهبری اسلامی اشاره نمود. عقیده بسیاری از دانشمندان مدیریت بر این است که رهبری شامل فرایند نفوذ است، به عبارت دیگر، رهبری توانایی نفوذ در دیگران (فرد یا گروه) برای نیل به اهداف است (یاری و همکاران، ۱۳۹۵). در چارچوب مبانی سازمان‌دهی اسلامی، رهبران سازمان در عصر جدید باید با استفاده از چشم‌انداز معنوی و ایجاد زمینه‌های مساعد برای کارکردن کارکنان، در آن‌ها این احساس را به وجود آورند که در کار خود احساس معنا کنند و از کار خود لذت ببرند و بتوانند خود را با اهداف گروه همسو نمایند. همچنین با مسئولیت‌پذیری بیشتر در برابر وظایف محوله و با تأمین رضایت مشتری سازمان را در رسیدن به اهدافش یاری کنند (جعفری، ۱۳۹۶). فرای (۲۰۰۳) نیز به اهمیت رهبری مبتنی بر ارزش‌ها و معنویت به‌عنوان یک رکن کلیدی در موفقیت سازمان‌ها اشاره نموده است.

از دیگر مؤلفه‌های سازمان‌دهی اسلامی می‌توان به مشاوره‌جویی و پرهیز از استبداد نظر اشاره نمود. مشاوره به مدیریت سازمان، اقدامی است که با هدف بهبود عملکرد مدیریتی، مورد استفاده سازمان‌ها قرار می‌گیرد. مشاور مدیریت اغلب راه‌های بهبود کارایی سازمان را بررسی کرده و بهترین گزینه و راه‌حل را به مدیران ارشد پیشنهاد می‌کند (حقیق راد و همکاران، ۱۳۹۱). در این رابطه باید توجه داشت که با توجه به موضوعات و پیچیدگی مسائل و گستردگی اطلاعات مدیر به‌تنهایی قادر به بررسی و شناخت همه مسائل نیست در نتیجه مشاوره با دیگران به معنی شرکت در عقول و آگاهی آنان است (رضاییان، ۱۳۹۵). اهمیت مشاوره‌جویی در رهبری سازمان تا حدی است که امروزه مفهوم مربیگری و مشاوره دادن به رهبران و مدیران سازمان به‌عنوان یک عامل حیاتی در عملکرد سازمانی مطرح شده است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۸).

اخلاق‌مداری و شایسته‌سالاری از دیگر ابعاد مورد اشاره در حوزه سازمان‌دهی سازمانی به شمار می‌روند. یک مدیر خوب و شایسته کسی است که مانند پیغمبر بر اساس دستورات الهی تمام امکانات مادی و معنوی را در راه تربیت اسلامی "یعنی شکوفائی تمام استعدادهای انسان" و به حرکت در آوردن آنان در مسیر بندگی و صراط مستقیم الهی برای رسیدن به مقصود که همان قرب الی الله است به کار گیرد و این امر جز با تکیه بر اخلاق‌مداری حاصل نخواهد شد (دادفر، ۱۳۹۶). در این رابطه، باقری و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی ریشه‌های مسئولیت اجتماعی سازمان دریافته‌اند که اخلاق‌مداری و تأکید مدیران بر ارزش‌های اخلاقی، زیربنای اصلی پایداری سازمان‌ها به منافع اجتماعی است. گودرزی و همکاران (۲۰۱۸) نیز با تأکید بر اهمیت اخلاق‌مداری، به این نکته اشاره کرده‌اند که توجه به اخلاقیات یکی از مؤلفه‌های اصلی موفقیت طولانی مدت سازمان است. شایسته‌سالاری نیز یکی از مؤلفه‌های کلیدی در سازمان‌دهی اسلامی به شمار می‌رود. سیستم‌های شایسته‌سالار و شایسته پرور، با تربیت مدیران پایه‌ای، میانی و مالی رشد و رفاه را توأمان برای جامعه به ارمغان می‌آورند. با واکاوی اندیشه‌ها و آموزه‌های دین متعالی اسلام می‌توان اهمیت جایگاه شایسته‌سالاری را دریافت. در آیه ۱۰۵ سوره انبیا آمده است: «حکومت و سروری بر زمین برای بندگان صالح و شایسته است». حضرت امیرالمؤمنین، امام علی (ع) نیز در سخنی فرموده‌اند: «سزاوارترین مردم در امر خلافت و رهبری، باید تواناترین بر اداره و داناترین در فهم مسائل باشد.

از دیگر مفاهیم مورد تأکید در سازمان‌دهی اسلامی، تعالی نیروی انسانی است. بر خلاف مکاتب غربی، مدیریت اسلامی انسان را به‌عنوان ابزاری برای موفقیت سازمان نمی‌بیند بلکه به تعالی جسمی و روحی وی تأکید دارد. نیروی انسانی، سرمایه اصلی برای توسعه و تحقق اهداف اقتصادی یک کشور یا یک سازمان است؛ این نیروی انسانی نیازهای فراوانی دارد که باید با نگاهی انسانی و اسلامی به آن نگریده شود (خالقی مهری، ۱۳۹۵). آنالوی (۲۰۱۷) نیز با تأکید بر تغییر پارادایم مدیریت منابع انسانی اظهار می‌کند که موفقیت سازمان در گروه تعالی نیروی انسانی است. در مطالعه‌ای که توسط رضوانی و همکاران (۱۳۹۷) انجام شد نیز این محققان، تعالی نیروی انسانی را به‌عنوان یکی از شاخصه‌های اصلی مدیریت اسلامی سازمان‌ها معرفی کردند. مسئله دیگری که

وجه تمایز سازمان‌دهی اسلامی با سبک سازمان‌دهی غربی است، تأکید بر تخصص توأم با تعهد در نظریه سازمان‌دهی اسلامی است. مدیریت اسلامی تخصص توأم به تعهدات است، درحالی‌که مدیریت غربی فقط بر تخصص نیروی کار تأکید دارد (جعفری، ۱۳۹۶). در تحقیقات انجام شده گذشته چه در داخل و چه در خارج از کشور به اهمیت تعهد نیروی انسانی تأکید شده است (تورلاک و همکاران، ۲۰۱۸؛ علی و همکاران، ۲۰۱۰؛ شمس و همکاران، ۱۳۹۱).

۳- روش‌شناسی

نظر به اینکه هدف اصلی از انجام این پژوهش، شناسایی و رتبه‌بندی اصول تأثیرگذار سازمان‌دهی اسلامی بر عملکرد سازمان‌ها است، بنابراین می‌توان گفت پژوهش حاضر از نظر هدف در حیطه تحقیقات کاربردی می‌باشد. از سوی دیگر با توجه به اینکه در این پژوهش از روش‌های مطالعه کتابخانه‌ای و نیز روش‌های میدانی نظیر پرسشنامه استفاده شده است، می‌توان بیان کرد که پژوهش حاضر بر اساس ماهیت و روش، یک پژوهش توصیفی از نوع غیرآزمایشی است. الگوریتم اجرائی این پژوهش با هدف شناسایی و رتبه‌بندی اصول تأثیرگذار سازمان‌دهی اسلامی بر عملکرد سازمان‌ها طی مراحل نظام‌مند و مبتنی بر روش تحقیق علمی طراحی شده است. مراحل اجرای پژوهش به شرح زیر انجام شده است:

در گام نخست، با استفاده از ادبیات پژوهش و بررسی مقالات و سایر منابع موجود، معیارها و شاخص‌های مرتبط با موضوع تحقیق شناسایی شده است. بر اساس مطالعات پیشین شش عامل شامل شایسته‌سالاری، تعالی نیروی کار و تخصص توأم با تعهد، رهبری، مشاوره جویی، و اخلاق‌مداری در نظر گرفته شده است (شکل ۱).

در گام دوم تحقیق، بر اساس معیارهای تعیین شده، پرسشنامه مقایسات زوجی تهیه شده و در اختیار پنل خبرگان قرار داده شد. خروجی این مرحله به‌عنوان داده‌های ورودی جهت تجزیه و تحلیل (فرایند تحلیل سلسله مراتبی) مورد استفاده قرار گرفت. در سومین و آخرین گام از تحقیق، بر اساس نتایج حاصل از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، نسبت به اولویت‌بندی معیارها تحقیق اقدام شد.



شکل ۱- ساختار سلسله مراتبی متغیرهای تحقیق

در مطالعات مبتنی بر نظر خبرگان، تعداد افراد نمونه آماری در این تحقیق اهمیت چندانی ندارد بلکه از آنجائی که پاسخ‌های افراد نمونه آماری به سؤالات مطرح شده در رابطه با معیارهای اصلی و شاخص‌های فرعی و درجه اهمیت هر یک از آن‌ها می‌باشد، انتخاب افراد نمونه آماری یا همان کسانی که در تصمیم‌گیری گروهی شرکت دارند با اهمیت می‌باشد. دخالت افراد غیرمرتبط به تصمیم در فرایند تصمیم‌گیری مشکلاتی را به وجود خواهد آورد و عدم استفاده از افراد خبره و کاردان نیز باعث تقلیل کارایی می‌گردد. بنابراین دایره انتخاب خبرگان بسیار محدود است و در نتیجه تعداد ۲۵ نفر از متخصصان مدیریت اسلامی واجد شرایط به‌عنوان نمونه موردبررسی در این مطالعه انتخاب شده‌اند. پرسشنامه اصلی مورد استفاده پرسشنامه خبره است. پرسشنامه خبره جهت اولویت‌بندی عناصر مبتنی بر مقایسه زوجی می‌باشد. با استفاده از مقایسه زوجی اهمیت نسبی عناصر تخمین زده می‌شود. این پرسشنامه‌ها بر اساس طیف ۹ درجه ساعتی مندرج در جدول ۱ تنظیم شده است. برای امتیازدهی مقیاس نه درجه ساعتی به‌صورت زیر استفاده می‌شود:

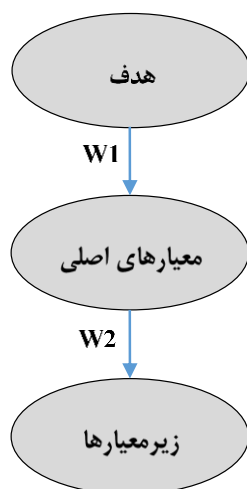
جدول ۱- ارزش‌گذاری شاخص‌ها نسبت به هم، مقیاس نه درجه ساعتی

ارزش	وضعیت مقایسه I نسبت به J	توضیح
۱	ترجیح یکسان	شاخص I نسبت به J اهمیت برابر دارد.
۳	کمی مرجح	گزینه یا شاخص I نسبت به J کمی مهم‌تر است.
۵	خیلی مرجح	گزینه یا شاخص I نسبت به J مهم‌تر است.
۷	خیلی زیاد مرجح	گزینه I دارای ارجحیت خیلی بیشتری از J است.
۹	کاملاً مرجح	گزینه I از J مطلقاً مهم‌تر و قابل مقایسه با J نیست.
۲ و ۴ و ۶ و ۸	بینابین	ارزش‌های بینابین را نشان می‌دهد.

تعداد سؤالات لازم برای طراحی یک پرسشنامه خبره به تعداد مقایسه‌های لازم بستگی دارد. به‌طور کلی برای مقایسه n عامل به $\frac{n(n-1)}{2}$ مقایسه نیاز است.

به دلیل اینکه در پرسشنامه تمامی عوامل مدل در نظر گرفته شده و با یکدیگر مقایسه می‌گردند لذا تمام احتمالات مرتبط با در نظر نگرفتن یک متغیر از بین خواهد رفت. از طرفی چون پرسشنامه تمامی معیارها را به‌صورت دو به دو مقایسه و سنجش می‌کند لذا حداکثر سؤالات ممکن با ساختاری مطلوب از مخاطب پرسیده می‌شود و چون تمامی معیارها در این سنجش مورد توجه قرار گرفته است و طراح قادر به جهت‌گیری خاصی در طراحی سؤالات نمی‌باشد نیازی به سنجش پایایی وجود نخواهد داشت از طرفی با توجه به اینکه پرسشنامه براساس تحلیل سلسله‌مراتبی و از نوع مقیاس ساعتی می‌باشد لذا برای بررسی پرسشنامه از شاخصی به نام شاخص ناسازگاری استفاده می‌گردد. این شاخص‌ها بیان می‌کند که اگر میزان ناسازگاری مقایسات زوجی بیشتر از $0/1$ باشد بهتر است در مقایسات تجدید نظر گردد (خزایی، ۲۰۱۶).

جهت اولویت‌بندی معیارها از تکنیک فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده شده است. اساس فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی بر مقایسه‌های زوجی براساس دیدگاه خبرگان استوار است. روش انجام فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی براساس الگوی کلی شکل ۲ قابل تشریح است.



شکل ۲- مدل مفهومی تحقیق با رویکرد AHP

در این مدل بردار $W1$ نشان‌دهنده وزن معیارهای اصلی براساس هدف پژوهش است. به همین ترتیب بردار $W2$ نشان‌دهنده وزن هریک از زیرمعیارها براساس معیار اصلی (وزن عناصر هر خوشه) است. بنابراین مدل تحقیق از یک ارتباط سلسله‌مراتبی برخوردار می‌باشد. در هر تحقیق که با تکنیک AHP و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی صورت می‌گیرد نخست باید معیارهای اصلی مطالعه شناسایی شود. پس از آنکه معیارهای اصلی شناسایی شد در گام نخست از تکنیک AHP براساس هدف اصلی تحقیق هریک از این معیارها به‌صورت زوجی مقایسه و با محاسبه بردار ویژه تعیین اولویت می‌گردد. وزن معیارهای اصلی براساس هدف را با بردار W_1 نمایش می‌دهند. در گام دوم زیرمعیارهای مربوط به هر معیار در خوشه مربوط تعیین اولویت می‌شوند. این مجموعه از زیرمعیارها براساس معیارهای اصلی مطالعه موردبررسی و مقایسه قرار خواهند گرفت. در نهایت مقایسه زوجی زیرمعیارها براساس معیارهای اصلی، ماتریس $W2$ محاسبه شد.

جهت محاسبه وزن عناصر هر خوشه از تکنیک میانگین هندسی و روش بردار ویژه استفاده شده است. بردار ویژه معادل واژه eigenvalue است و همان اولویت نهائی یک معیار است که وزن نرمال هم گفته می‌شود. وقتی یک ماتریس مقایسه زوجی می‌سازیم میانگین هندسی هر سطر وزن نهائی عنصر آن سطر است. میانگین هندسی هر سطر به‌صورت زیر محاسبه شده است:

$$\mu_g = \left(\prod_{i=1}^n a_i \right)^{1/n} = \sqrt[n]{a_1 \cdot a_2 \dots a_n}$$

این وزن نرمال نیست برای نرمال سازی از تکنیک بردار ویژه (نرمال سازی خطی) استفاده شده است. وزن هر سطر تقسیم بر کل اوزان می‌شود تا نرمال شود یعنی جمع کل اوزان تمامی معیارها یک شود. اگر میانگین هندسی مقادیر مربوط به مقایسه زوجی هر عنصر با π_i نشان داده شود وزن نرمال هر عنصر با استفاده از رابطه زیر محاسبه شده است:

$$W_i = \frac{\pi_i}{\sum_{i=1}^n \pi_i}$$

برای تعیین اولویت‌های کلی، وزن هر زیرمعیار در وزن معیار اصلی مربوط ضرب می‌شود.

نتایج

در این پژوهش با استفاده از ادبیات موضوع و کارشناسان مربوطه، جمعاً ۶ شاخص اصلی به‌منظور اولویت‌بندی عوامل اصول تأثیر گذار سازمان‌دهی اسلامی بر عملکرد سازمان‌ها براساس ترکیب روشهای تصمیم‌گیری با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP شناسایی شده که ماتریس مقایسات زوجی ادغام شده از تصمیم‌گیرندگان به‌صورت جداول زیر می‌باشد. مقایسات

زوجی هر يك از شاخص ها در جدول (۲) و شكل (۳) ارائه شده است. با توجه به جدول و شكل مشخص می گردد كه ارتباط بین تمام زیرشاخص ها به صورت دو طرفه است.

جدول ۱- روابط زوجی بین متغیرهای تحقیق

شاخص ها	رهبری	مشاوره جویی	اخلاق مداری	شایسته سالاری	تعالی نیروی کار	تخصص با تعهد
رهبری	۱					
مشاوره جویی		۱				
اخلاق مداری			۱			
شایسته سالاری				۱		
تعالی نیروی کار					۱	
تخصص توأم با تعهد						۱

rahbari
moshavere
akhlagh
shayeste
taali
takhasos



Inconsistency = 0.10

with 0 missing judgments.

شكل ۳- اولویت بندی شاخص های تأثیرگذار سازمان دهی اسلامی بر عملکرد سازمان ها

جدول ۳- اولویت بندی شاخص های تأثیرگذار سازمان دهی اسلامی بر عملکرد سازمان ها

اولویت	وزن	معیار	ردیف
۱	۰,۲۰۸	رهبری	۱
۲	۰,۱۸۸	مشاوره جویی	۲
۳	۰,۱۸۶	اخلاق مداری	۳
۴	۰,۱۴۷	شایسته سالاری	۴
۵	۰,۱۴۶	تعالی نیروی کار	۵
۶	۰,۱۲۵	تخصص توأم با تعهد	۶

با توجه به جدول فوق ملاحظه می گردد با توجه به وزن اصلی بدست آمده به ترتیب مؤلفه های رهبری، مشاوره جویی، اخلاق مداری، شایسته سالاری، تعالی نیروی کار و تخصص توأم با تعهد از بیشترین و کمترین اهمیت در گروه برخوردار هستند. از طرفی با توجه به اینکه نرخ ناسازگاری بدست آمده عدد ۰,۱۰ بدست آمده كه كوچكتر از حد استاندارد ۰,۱ می باشد از این رو پرسشنامه فوق با دقت بالا توسط پاسخ دهندگان تکمیل شده است.

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق به شناسایی و رتبه بندی اصول تأثیرگذار سازمان دهی اسلامی بر عملکرد سازمان ها پرداخته شده است. بر اساس نتایج بدست آمده در این پژوهش مشخص شد كه رهبری اسلامی از بالاترین اولویت برخوردار است. رهبری یکی از مفاهیم کلیدی در مدیریت رفتار سازمانی است كه نقش موثری در جهت دهی به كلیه افعال و اقدامات كاركنان ایفا می كند. اهمیت بالای رهبری را می توان بر این اساس توجیه نمود كه رهبر یا رهبران سازمان با سیاست گذاری های كلی و تعیین طرح های اقدام به كلیه فعالیتهای سازمانی جهت می دهند و در واقع جوهره و جو حاكم بر سازمان را شكل می دهند. پیش از این نیز محققان زیادی به اهمیت رهبری اشاره داشته اند. به عنوان مثال، جعفری (۱۳۹۶) دریافت كه رهبری مهمترین مؤلفه مدیریت اسلامی در سازمان های آكادميك می باشد. كروبووت و همكاران (۲۰۱۶) نیز رهبری را محور اصلی سازمان دهی در نظر گرفته اند. همچنین بر اساس نتایج

بدست آمده مشخص شد که مشاوره‌جویی در رتبه دوم اهمیت قرار دارد. مشاوره‌جویی و مشورت یکی از مفاهیم مورد تأکید بزرگان دینی و متون دینی است و در عین حال در تئوری‌های نوین مدیریت غرب نیز به اهمیت مشورت دهی به مدیران سازمان تأکید زیادی شده است. در تطابق با نتایج بدست آمده در این تحقیق، وانگ و همکاران (۲۰۱۸) به این نکته اشاره کرده اند که حضور مشاوران کارکنان در کنار مدیران سازمان تأثیر معنی‌داری بر پیشرفت سازمانی دارد. خالقی مهر (۱۳۹۵) نیز مشاوره را یکی از مؤلفه‌های کلیدی در مدیریت اسلامی سازمان‌ها معرفی نموده است.

در این تحقیق، اخلاق‌مداری به‌عنوان سومین اصل تأثیرگذار سازمان‌دهی اسلامی شناسایی شد. بحث اخلاقیات ریشه و قدمتی بسیار طولانی دارد و به خصوص در متون مدیریت اسلامی تأکید زیادی بر آن شده است. اخلاق‌مداری باعث دمیدن روح معنویت در سازمان شده و مانع از آن می‌شود که شاخص‌های انتفاعی و سودآوری تنها هدف سازمان باشند. در این رابطه، رحیمی و حسینی نیا (۱۳۹۶) اخلاق اسلامی را پیش نیاز اساسی بروز رفتار شهروندی سازمانی در بین کارکنان معرفی کرده‌اند. به همین ترتیب، پیروسون (۲۰۱۷) اظهار می‌دارد که اخلاق‌مداری عاملی حیاتی در تداوم کسب و کار بوده و از طریق برقراری یک رابطه محترمانه با مشتریان و ذینفعان به بقاء سازمان در شرایط متلاطم کسب و کار کمک می‌کند. همچنین در این تحقیق، شایسته‌سالاری در رتبه پنجم اهمیت قرار گرفت. شایسته‌سالاری و توجه به صلاحیت‌ها و شایستگی‌های افراد همواره مورد توجه بزرگان دینی بوده و در منابع مختلف دینی به این نکته اشاره شده است که زمامداری جامعه باید بر اساس توانمندی و شایستگی افراد انجام پذیرد. لطیفی و همکاران (۱۳۹۴) به این نکته اشاره نموده‌اند که شایسته‌سالاری یکی از مؤلفه‌های اصلی سازمان‌دهی اسلامی در سازمان‌های مختلف است و بدون توجه به آن، دستیابی به تعالی سازمانی ممکن نخواهد بود. به همین ترتیب، کاستیلا (۲۰۱۶) نیز در بررسی مسئله شایسته‌سالاری در محیط کار به این موضوع اشاره نموده است که در سازمان‌های امروزی و متناسب با افزایش فشار رقابتی، تمرکز بر شایستگی کلید موفقیت سازمان به حساب می‌آید.

در نهایت دو متغیر تعالی نیروی کار و تخصص توأم با تعهد در رتبه‌های پنجم و ششم قرار گرفتند. این دو متغیر از مهمترین وجوه تمایز بین سبک سازمان‌دهی اسلامی و سبک سازمان‌دهی غربی به شمار می‌آیند. در حالی که در تفکر غربی، انسان‌ها به منزله چرخ دنده‌های ماشین عظیم سازمانی به حساب می‌آیند، اما در سبک سازمان‌دهی و مدیریت اسلامی، انسان جایگاهش را به‌عنوان اشرف مخلوقات حفظ نموده و کرامت انسانی بر هر امر دیگری ترجیح داده می‌شود. در این رابطه، جمشیدی (۱۳۹۷) تعالی نیروی کار را مقدمه‌ای برای تعالی سازمانی بر شمرده است. رضاییان (۱۳۹۵) با تأکید بر حفظ شان و منزلت انسانی، تعالی نیروی کار را وجه ممیزه سازمان‌های اسلامی از سایر سازمان‌ها قلمداد نموده است. همچنین در ادبیات مدیریت اسلامی سازمان، تخصص بدون تعهد فاقد معنی بوده و تنها زمانی به‌عنوان یک فضیلت بر شمرده می‌شود که تعهد کارکنان را در کنار خود داشته باشد (شمس و همکاران، ۱۳۹۱). تورلاک و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی رفتار سازمانی در سازمان‌های ایران و ترکیه، به اهمیت تعهد کارکنان در دستیابی سازمان به اهداف از پیش تعیین شده اشاره می‌کند.

در مجموع پژوهش حاضر که با رویکردی میدانی و با اتکا خبرگان انجام شده است، به غنی تر شدن ادبیات آکادمیک در حوزه مدیریت اسلامی کمک می‌کند. اگرچه تاکنون مطالعات نسبتاً زیادی توسط محققان داخلی در حوزه مدیریت اسلامی انجام شده و مقالات و کتاب‌های متعددی نیز به رشته تحریر در آمده است؛ اما بررسی اصول تأثیرگذار سازمان‌دهی اسلامی بر عملکرد سازمان‌ها تا حد زیادی از دید محققان داخلی پنهان مانده است. لذا در این پژوهش سعی شده است با دیدی کلی‌نگر و البته با اتکا به دیدگاه و نظرات خبرگان و افراد صاحب نظر، دیدگاه جدیدی راجع به مؤلفه‌های سازمان‌دهی اسلامی فراهم گردد. همچنین نتایج بدست آمده در این تحقیق می‌تواند دارای رهنمودهای مدیریتی بوده و به منزله نقشه راهی برای نهادینه‌سازی اصول اسلامی در سازمان‌های کشور مورد استفاده قرار بگیرد.

منابع

- باقری، مصباح‌الهدی؛ مهدی سپهری، مجید محمدزمانی. ۱۳۹۴. پی‌جویی ریشه‌های مسئولیت اجتماعی سازمان. اندیشه مدیریت راهبردی. ۳۱-۵۶.
- جعفری، نادر. ۱۳۹۶. مدیریت اسلامی در دانشگاه اسلامی مرجع؛ درآمدی بر رهبری سازمانی حضرت آیت الله مهدوی کنی رحمه الله علیه. اندیشه مدیریت راهبردی. ۴۸-۵.
- جمشیدی، جعفر. ۱۳۹۷. بررسی تأثیر مدل تعالی سازمانی در شرکت پتروشیمی ایلام. کنفرانس ملی مطالعات نوین اقتصاد، مدیریت و حسابداری در ایران
- حقیقی راد، فرزاد؛ یکتا عدالتی فرد. ۱۳۹۱. مشاوره مدیریت. تدبیر ۲۴۹. ۱۰۵-۱۲۳.
- خالقی‌مهری، راضیه. ۱۳۹۵. مفروضات و الگوهای مدیریت اسلامی شامل: "مبانی مدیریت اسلامی" / "مدیریت اسلامی". سرافراز

- دادفر، جابر. ۱۳۹۶. اخلاق اسلامی در مدیریت. الوند پویان
- رحیمی کلور، حسین؛ الناز حسنی نیا. ۱۳۹۶. سنجش رابطه میان ابعاد مدیریت اسلامی و اخلاق اسلامی با رفتار شهروندی سازمانی. توسعه مدیریت منابع انسانی و پشتیبانی. ۴۵: ۲۵-۴۸.
- رضاییان، علی. ۱۳۹۵. اصول مدیریت اسلامی. انتشارات سمت
- رضوانی، موسی؛ وحید محمدی، نگین آقاییار ماکوئی. ۱۳۹۷. مروری بر مدیریت اسلامی (ضرورت مدیریت اسلامی برای حکومت های اسلامی). پژوهش های تاریخی، اجتماعی و سیاسی. ۸۹-۱۰۵.
- روح الهی، احمدعلی؛ عبدالله وثوقی نیری، محسن زراعتی. ۱۳۹۳. شناسایی عوامل موثر بر ارزیابی عملکرد اعضای هیات علمی از دیدگاه دانشجویان. مطالعات مدیریت بر آموزش انتظامی. ۴: ۱-۲۰.
- سیابی، حمید؛ محسن رستمی مال خلیفه، فرهاد حسین زاده لطفی، محمد حسن بهزادی. ۱۳۹۶. اعمال فاکتور تاثیر غیرمستقیم مرتبط با ورودی ها و خروجی ها، در ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم گیرنده. تحقیق در عملیات در کاربردهای آن (ریاضی کاربردی)، ۳، ۸-۱۷.
- شمس، غلامرضا؛ مریم بوستان کار، سعادت علی یاری. ۱۳۹۱. بررسی رابطه بین هوش هیجانی و تعهد سازمانی نیروی انسانی: یک مطالعه موردی. مدیریت و برنامه ریزی در نظام های آموزشی. ۹: ۳۴.
- فتحی، محمدرضا، ملکی، محمد؛ نقوی، حسین. ۱۳۹۵. ارزیابی عملکرد شعب بانک انصار با رویکرد کارت امتیازی متوازن و تکنیک های تصمیم گیری چند معیاره ANP و VIKOR. پژوهشهای مدیریت راهبردی، ۲۲: ۸۳-۱۰۵.
- لطیفی، میثم؛ مهدی عزیزی. ۱۳۹۴. بررسی دلالت های مدیریتی سیره امیرالمومنین علی علیه السلام در عرصه سازمان دهی: مطالعه موردی شرطه الخمیس. مطالعات راهبردی بسیج. ۶۶: ۵-۲۹.
- نیک نهاد، صفورا؛ سید عماد حسینی، سید محمد حسین رضوی. ۱۳۹۴. ارتباط ابعاد ساختار سازمانی و کارآفرینی مدیران سازمان های ورزشی کشور. مطالعات مدیریت ورزشی. ۳۰: ۱۳۹-۱۵۲.
- Ali, I., Rehman, K. U., Ali, S. I., Yousaf, J., & Zia, M. (2010). Corporate social responsibility influences, employee commitment and organizational performance. *African journal of Business management*, 4(13), 2796-2801.
- Analoui, F. (2017). *The changing patterns of human resource management*. Routledge.
- Cascio, W. F. (2015). *Managing human resources*. McGraw-Hill.
- Castilla, E. J. (2016). Achieving meritocracy in the workplace. *MIT Sloan Management Review*, 57(4), 35.
- Chaddad, F. R., & Cook, M. L. (2004). The economics of organization structure changes: A US perspective on demutualization. *Annals of Public and Cooperative Economics*, 75(4), 575-594.
- Chrobot-Mason, D., Gerbasi, A., & Cullen-Lester, K. L. (2016). Predicting leadership relationships: The importance of collective identity. *The Leadership Quarterly*, 27(2), 298-311.
- Daft, R. L. (2015). *Organization theory and design*. Cengage learning.
- DeNisi, A. S., & Gonzalez, J. A. (2017). Design performance appraisal systems to improve performance. *The Blackwell Handbook of Principles of Organizational Behaviour*, 63-75.
- Fry, L. W. (2003). Toward a theory of spiritual leadership. *The leadership quarterly*, 14(6), 693-727.
- Goodarzi, S. M., Salamzadeh, Y., & Salamzadeh, A. (2018). The Impact of Business Ethics on Entrepreneurial Attitude of Manager. In *Competitiveness in Emerging Markets* (pp. 503-539). Springer, Cham.
- Pearson, R. (2017). Business ethics as communication ethics: Public relations practice and the idea of dialogue. In *Public relations theory* (pp. 111-131). Routledge.
- Rosen, C. C., Kacmar, K. M., Harris, K. J., Gavin, M. B., & Hochwarter, W. A. (2017). Workplace politics and performance appraisal: A two-study, multilevel field investigation. *Journal of Leadership & Organizational Studies*, 24(1), 20-38.
- Tangen, S. (2004). Performance measurement: from philosophy to practice. *International journal of productivity and performance management*, 53(8), 726-737.
- Torlak, N. G., Kuzey, C., & Ragom, M. (2018). Human resource management, commitment and performance links in Iran and Turkey. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 67(9), 1994-2017.
- Wang, P., Zhao, X., & Lim, A. C. (2018). Leveraging subordinates for performance: How managers benefit from mentoring relationships. *Journal of Career Development*, 303-316.
- Young, C., & Ghoshal, S. (2016). *Organization theory and the multinational corporation*. Springer

مدل سازی ریاضی برای طراحی یکپارچه‌ی شبکه‌ی لجستیک بسته با در نظرگیری مقدار تخفیف تامین کنندگان با هدف مینیمم سازی CO2 منتشر شده و هزینه کل و میزان تاخیر

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۳/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۴/۲۰

کد مقاله: ۲۳۰۲۶

سپیده آقایی^۱، سیدمحمد تقی فاطمی قمی^۲

چکیده

امروزه لجستیک معکوس یکی از عمده فعالیت‌های مدیریت زنجیره تامین است که تمام فعالیت‌های مرتبط با محصولات برگشتی (مانند جمع‌آوری، احیا و بازیافت، دفن و انهدام) را شامل می‌شود. همچنین با افزایش اهمیت عملیات خرید مناسب، مسائل انتخاب تامین کننده به یک امر استراتژیک در مدیریت زنجیره‌های تامین تبدیل شده است. در این پژوهش به منظور در نظر گرفتن دو اهمیت ذکر شده، به بیان یک مدل یکپارچه مختلط برای زنجیره تامین چند سطحی و با در نظر گرفتن ظرفیت محدود برای هر مرکز می‌پردازیم؛ در مدل فوق تامین کننده پیشنهادها تخفیف به منظور تشویق خریدار به خرید بیشتر (به دلیل قیمت پیشنهادی کمتر) ارائه می‌دهد. تابع هدف مدل شامل کمینه سازی هزینه‌ها و کمینه سازی میزان انتشار CO2 در قسمت‌های مختلف و همچنین کمینه سازی میزان تاخیر در تحویل کالاها با تعیین تامین کننده مناسب می‌باشد. برای اعتباردهی به مدل یک نمونه مسئله‌ی آزمایشی از مقالات مرور ادبیات انتخاب، و پارامترهای مدل تعیین می‌شوند. و تابع هدف چندهدفه با روش Lp-Metric و توسط نرم افزار سیلکس حل و نتایج محاسباتی و تاثیر محدودیت‌های اضافه شده بر حسب مقدار تابع هدف بررسی می‌شود. در نهایت این نتیجه حاصل می‌شود که هزینه کل زنجیره تامین با در نظرگیری تخفیف ارائه شده از هر تامین کننده کمتر می‌شود و همچنین میزان انتشار کربن دی اکسید نیز تا حد ممکن کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: زنجیره تامین بسته‌ی سبز، انتشار کربن دی اکسید، میزان تخفیف، روش Lp-Metric، انواع مختلف حمل و نقل

۱- کارشناسی ارشد مهندسی صنایع گرایش لجستیک، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
(مسئول مکاتبات) sepideag95@aut.ac.ir

۲- استاد تمام گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

۱- مقدمه

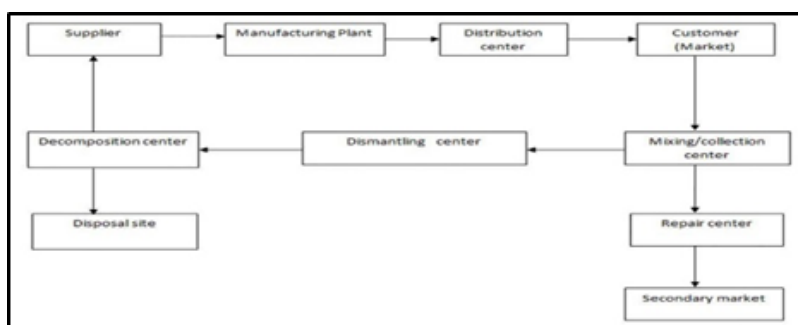
امروزه بیشتر شرکت‌ها در تلاش برای گسترش فرایند تجارت و کسب‌وکار خود به منظور کسب رضایت مشتری می‌باشند. به همین دلیل توانایی مقابله در محیط رقابتی موجود الزامی است. این فرایند با تدارکات مواد خام آغاز و با کسب رضایت مشتریان در ارسال کالای نهایی، به اتمام می‌رسد. طراحی شبکه‌ی زنجیره‌تأمین یکی از فعالیت‌های برنامه‌ریزی بحرانی و زیربنایی از مدیریت زنجیره‌تأمین در این فرایند می‌باشد. در سال‌های اخیر، به دلایل وضع قوانین زیست‌محیطی جدید و افزایش آگاهی و اهمیت مردم از مسائل محیط زیستی، موضوع‌هایی مانند زنجیره‌تأمین معکوس، مدیریت بازیافت و تولیدات سبز، بخش‌های مهمی از مدیریت زنجیره‌تأمین سبز (GSCM) را تشکیل می‌دهند.

فلشمن و همکاران [1] برای اولین بار زنجیره‌تأمین مستقیم و معکوس را به صورت یکپارچه با هم در نظر گرفت. چن و لی [2] یک زنجیره‌تأمین چند محصولی و چند هدفه مختلط غیرخطی با تقاضای غیرقطعی و با در نظرگیری هزینه‌ی تولید در نظر گرفتند. سلما و همکاران [3] یک مدل خطی مختلط برای یک شبکه‌ی زنجیره‌تأمین چندکالایی با محدودیت ظرفیت و با در نظرگیری عدم قطعیت برای تقاضا محصولات برگشتی، ارائه دادند. پیشوایی و ترابی [4] یک مدل دو هدفه احتمالی مختلط برای شبکه‌ی بسته با هدف مینیمم سازی هزینه‌ی کل و مدت زمان دیرکرد ارائه کردند. رضائی و همکاران [5] یک مدل خطی مختلط برای چندین کالا و چند رده با فرض عدم قطعیت تقاضا و با هدف ماکسیسم سازی سود کل در شبکه‌ی بسته طراحی کردند. زبالوس و همکاران [6] یک مدل چندکالایی و چند دوره‌ای احتمالی مختلط خطی با فرض عدم قطعیت تقاضا و عرضه ارائه دادند. سوبولان و همکاران [7] یک مدل چند هدفه و چند رده‌ای و چندکالایی خطی و مختلط برای جمع‌آوری باتری‌ها ارائه دادند (مدل در فضای فازی ارائه شده بود). طلایی و همکاران [8] مدل خطی مختلط برای طراحی شبکه و مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات ارائه دادند. در مدل فوق انتشار کربن دی‌اکسید به دلایل ساخت تسهیلات، تولیدات مختلف و حمل‌ونقل در نظر گرفته شد. کملمش پنت و همکاران [9] یک مدل مختلط عدد صحیح خطی برای زنجیره‌تأمین بسته با هدف مینیمم سازی هزینه‌های کل ارائه دادند. بلامن و همکاران [10] یک سیستم تصمیم‌گیری دو مرحله‌ای که شامل دو مدل خطی مختلط برای زنجیره‌تأمین و شبکه‌ی حمل‌ونقل تولیدات زیست‌توده با فرض عدم قطعیت محیطی ارائه دادند.

در بسیاری از صنایع، یکی از هزینه‌های اصلی تولید هزینه‌ی خرید مواد و قطعات اولیه می‌باشد. میثم و همکاران [11] یک مدل مختلط خطی برای یکپارچه‌سازی شبکه‌ی زنجیره‌تأمین بسته و انتخاب تأمین‌کننده با فرض عدم قطعیت تقاضا ارائه کردند. در مدل ارائه شده در این پژوهش مقدار تخفیف هر تأمین‌کننده به صورت درصد دلتا مشخص می‌شود و مقدار سفارش از هر کدام بستگی به مقدار تخفیف آن‌ها دارد (قیمت کالا) دارد. مواد و قطعات اولیه فقط از یک تأمین‌کننده انتخاب می‌شود.

۲- تعریف مسئله

شبکه‌ی مورد بررسی در این مقاله یک شبکه‌ی لجستیک مستقیم و معکوس تک دوره‌ای و تک محصولی پایه‌ی شبکه‌ی کملمش پنت و همکاران [9] می‌باشد.



شکل ۱- ساختار اصلی زنجیره‌تأمین بسته‌ی سبز

مدل شامل سه تابع هدف می‌باشد. تابع هدف اول کمینه کردن هزینه‌های کل زنجیره‌تأمین، تابع هدف دوم کمینه کردن میزان آلودگی محیط‌زیست (شامل کمینه کردن میزان انتشار کربن دی‌اکسید منتشر شده به دلیل عملیات تولیدی و حمل‌ونقل می‌باشد) و تابع هدف سوم شامل مینیمم کردن میزان تاخیر در ارسال کالاها می‌باشد. در این مسئله خرید مواد و قطعات اولیه از تأمین‌کننده همراه با میزان تخفیف پیشنهادی از هر تأمین‌کننده انجام می‌شود.

۲-۱- فرضیات مدل

فرض‌های مدل به صورت زیر می‌باشد:

۱. مدل در نظر گرفته شده شامل ۴ ایستگاه در زنجیره تامین مستقیم و ۶ ایستگاه در زنجیره تامین معکوس می باشد.
۲. مدل به صورت چند هدفه، تک دوره ای و با فرض تولید یک محصول در نظر گرفته می شود.
۳. ظرفیت تمامی بخش ها محدود می باشد.
۴. تقاضای مشتریان و مقادیر کالای برگشتی قطعی می باشد.
۵. مکان های تامین کنندگان و تولید کنندگان مشخص و ثابت می باشد.
۶. فضای حل گسسته می باشد.
۷. به تمامی تقاضای مشتریان پاسخ داده می شود و تمام کالاهای برگشتی جمع آوری می شوند.
۸. کیفیت محصولات تعمیر شده از کیفیت محصولات جدید متفاوت می باشد و به صورت دست دوم عرضه می شوند.
۹. محل فروش محصولات دست دوم در بازار ثانویه (secondary market) می باشد.
۱۰. کمبود جایز نیست.
۱۱. در هر دوره فقط یک تامین کننده انتخاب می شود.
۱۲. تخفیف به صورت کلی محاسبه می شود.

۲-۲- مجموعه های مدل

۱. H : اندیس مجموعه نقاط بالقوه مراکز تامین کنندگان $h \in H$
۲. I : اندیس مجموعه نقاط بالقوه مراکز تولید کنندگان (کارخانه ها) $i \in I$
۳. J : اندیس مجموعه نقاط بالقوه برای مراکز توزیع کنندگان $j \in J$
۴. K : اندیس مجموعه نقاط بالقوه برای مراکز مشتریان (خرده فروشان) $k \in K$
۵. L : اندیس مجموعه نقاط بالقوه برای مراکز جمع آوری $l \in L$
۶. R : اندیس مجموعه نقاط بالقوه برای مراکز تعمیر و احیا $r \in R$
۷. S : اندیس مجموعه نقاط بالقوه برای مراکز انهدام یا پیاده سازی کالاهای برگشتی $s \in S$
۸. F : اندیس مجموعه نقاط بالقوه برای مراکز تجزیه یا جداسازی قطعات کالاهای برگشتی $f \in F$
۹. T : اندیس مجموعه نقاط بالقوه مراکز بازار ثانویه یا فرعی $t \in T$
۱۰. Z : اندیس مجموعه نقاط بالقوه برای مراکز دفن یا زباله $z \in Z$
۱۱. M : اندیس مجموعه قطعات سازنده محصول $m \in M$
۱۲. B : اندیس مجموعه مواد اولیه $b \in B$
۱۳. V : اندیس مجموعه مدل های مختلف وسیله حمل $v \in V$
۱۴. A : اندیس مجموعه سطوح پیشنهادی هر تامین کننده $a \in A$

۳-۲- پارامترهای مدل

۱. F_a : هزینه ثابت احداث مرکز نشان دهنده اندیس (برای مثال a)
۲. W_a : ظرفیت مرکز نشان دهنده اندیس (برای مثال a)
۳. β_m : نرخ بهره برداری قطعه در هر واحد محصول
۴. γ_m : نرخ تعمیر قطعه
۵. α_b : نرخ بازیافت مواد در هر واحد قطعه
۶. μ_b : نرخ بهره برداری مواد اولیه در هر واحد قطعه
۷. Q_i : هزینه تولید هر واحد محصول در کارخانه i
۸. G_j : هزینه پردازش هر واحد محصول در توزیع کننده j
۹. E_l : هزینه پردازش هر واحد محصول در بخش جمع آوری l
۱۰. N_s : هزینه پردازش هر واحد محصول در بخش پیاده سازی s
۱۱. LOW_{ha} : حد پایین تولید برای خرید از تامین کننده h در سطح a
۱۲. P_f : هزینه پردازش هر واحد از محصول در بخش تجزیه f
۱۳. D_k : تقاضای مشتری K
۱۴. D_t : تقاضای مارکت فرعی

۱۵. C_{abv} : پارامتر نشان دهنده کل هزینه حمل و نقل برای هر واحد محصول از مرکز نشان دهنده اندیس اول (برای مثال a) به مرکز نشان دهنده اندیس دوم (برای مثال b) توسط وسیله نقلیه نشان دهنده اندیس دوم (برای مثال v)
۱۶. UP_{ha} : حد بالا تولید برای خرید از تامین کننده h در سطح a
۱۷. $BASIC_h$: قیمت پایه ای (بدون تخفیف) محصول توسط تامین کننده h
۱۸. $DELTA_{ha}$: نرخ تخفیف پیشنهادی از تامین کننده h روی کل تعداد خرید در سطح a
۱۹. PC_i : تخمین میزان انتشار CO2 در تولید هر واحد محصول در مرکز تولید i
۲۰. CE_l : تخمین میزان انتشار CO2 برای جمع آوری هر واحد محصول در مرکز جمع آوری l
۲۱. RC_r : تخمین میزان انتشار CO2 برای تعمیر یک کالای قابل بازیافت در قسمت تعمیر یا احیای r
۲۲. TCI_{hiv} : تخمین میزان انتشار CO2 برای حمل هر واحد از محصول از مرکز تامین h مرکز تولید i با وسیله نقلیه v
۲۳. TC_{ijv} : تخمین میزان انتشار CO2 برای حمل هر واحد از محصول از مرکز تولید i به مرکز توزیع j با وسیله نقلیه v
۲۴. TCK_{jkv} : تخمین میزان انتشار CO2 برای حمل هر واحد از محصول از مرکز توزیع j به مرکز مشتری k با وسیله نقلیه v
۲۵. TCS_{lsv} : تخمین میزان انتشار CO2 در حمل هر واحد محصول از مرکز جمع آوری l به مرکز انهدام s با وسیله نقلیه v
۲۶. TCR_{lrv} : تخمین میزان انتشار CO2 در حمل هر واحد محصول از مرکز جمع آوری l به مرکز تعمیر r با وسیله نقلیه v
۲۷. TCC_{klv} : تخمین میزان انتشار CO2 در حمل هر واحد محصول از مرکز مشتری k به مرکز جمع آوری l با وسیله نقلیه v
۲۸. TCF_{sfv} : تخمین میزان انتشار CO2 در حمل هر واحد محصول از مرکز پیاده سازی s به مرکز تجزیه f با وسیله نقلیه v
۲۹. TCZ_{fzv} : تخمین میزان انتشار CO2 برای حمل هر واحد از محصول از مرکز تجزیه f به مرکز دفن z با وسیله نقلیه v
۳۰. TCH_{fhv} : تخمین میزان انتشار CO2 در حمل هر واحد محصول از مرکز تجزیه f به مرکز تامین کننده h با وسیله نقلیه v
۳۱. TCT_{rtv} : تخمین میزان انتشار CO2 در حمل هر واحد محصول از مرکز تعمیر r به مرکز مارکت فرعی t با وسیله نقلیه v
۳۲. EC : مقدار متوسط هزینه انتشار CO2
۳۳. OPCE : حداکثر میزان مجاز انتشار CO2 در حین انجام تولید
۳۴. TCE : حداکثر میزان مجاز انتشار CO2 در حین حمل و نقل

۴-۲- متغیرهای مدل

۱. X_{abv} : متغیر نشان دهنده تعداد ارسال محصولات از مرکز نشان دهنده اندیس اول (برای مثال a) به مرکز نشان دهنده اندیس دوم (برای مثال b) توسط وسیله نقلیه نشان دهنده اندیس سوم (برای مثال v)
۲. Y_a : متغیر صفر و یک اگر مرکز تولیدی در مکان نشان دهنده اندیس اول (برای مثال a) احداث شود (۱)، در غیر این صورت (۰)
۳. Z_{abv} : متغیر صفر و یک اگر مرکز مسیر بین مرکز نشان دهنده اندیس اول (برای مثال a) تا مرکز نشان دهنده اندیس دوم (برای مثال b) توسط وسیله نقلیه نشان دهنده اندیس سوم (برای مثال v) طی شود (۱)، در غیر این صورت (۰)
۴. Yh_h : متغیر صفر و یک اگر تولیدکننده، تامین کننده h را در سطح a برای خرید انتخاب کند
۵. $Y'h_{ha}$: متغیر صفر و یک اگر کل مقداری که از تامین کننده h در سطح a می خریم در بازه ی تعریف شده برای تامین کننده بیفتد

۵-۲- بیان مدل ریاضی

در ابتدا توابع هدف مدل بیان می‌شوند:

(۱) کمینه‌سازی هزینه‌ی کل: شامل هزینه‌ی ثابت احداث تسهیلات مختلف، هزینه‌های تولید در مراکز تولید، هزینه‌های عملیاتی پردازش در مراکز توزیع، در مراکز جمع‌آوری، در مراکز انهدام یا پیاده‌سازی، در مراکز تجزیه یا جداسازی، هزینه‌های حمل‌ونقل در بین مراکز مختلف، هزینه‌های خرید مواد اولیه از هر تامین‌کننده با در نظر گرفتن مقدار صرفه‌جویی در هزینه‌ها با احتساب مقدار تخفیف پیشنهاد شده توسط هر تامین‌کننده، می‌باشد.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_1 = & \sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^V C_{hiv} \times X_{hiv} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^V C_{ijv} \times X_{ijv} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{v=1}^V C_{jkv} \times X_{jkv} + \\ & \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{v=1}^V C_{klv} \times X_{klv} + \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{v=1}^V C_{lr v} \times X_{lr v} + \sum_{r=1}^R \sum_{t=1}^T \sum_{v=1}^V C_{rtv} \times X_{rtv} \\ & + \sum_{s=1}^S \sum_{v=1}^V C_{sv} \times X_{sv} + \sum_{f=1}^F \sum_{v=1}^V C_{sfv} \times X_{sfv} + \sum_{f=1}^F \sum_{z=1}^Z \sum_{v=1}^V C_{fzv} \times X_{fzv} + \\ & \sum_{f=1}^F \sum_{h=1}^H \sum_{v=1}^V C_{fhv} \times X_{fhv} + \sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^V (1 - \text{delta}_{ha}) \times \text{basic}_h \times X_{hiv} \times Y_h \\ & + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^V Q_i \times X_{ijv} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{v=1}^V G_j \times X_{jkv} + \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{v=1}^V E_l \times X_{lr v} + \\ & \sum_{s=1}^S \sum_{f=1}^F \sum_{v=1}^V N_s \times X_{sfv} + \sum_{f=1}^F \sum_{z=1}^Z \sum_{v=1}^V P_f \times X_{fzv} + \sum_{i=1}^I F_i \times Y_i + \sum_{j=1}^J F_j \times Y_j + \sum_{i=1}^I F_i \times Y_i + \\ & \sum_{l=1}^L F_l \times Y_l + \sum_{r=1}^R F_r \times Y_r + \sum_{s=1}^S F_s \times Y_s + \sum_{f=1}^F F_f \times Y_f + \sum_{z=1}^Z F_z \times Y_z \end{aligned}$$

(۲) کمینه‌سازی میزان صدور کربن‌دی‌اکسید: انتشار این مقدار CO2 مرتبط با عملیات تولیدی در مراکز تولید، عملیات پردازش در مراکز جمع‌آوری، عملیات پردازش در مراکز تعمیر یا احیا و همچنین حمل‌ونقل بین مراکز مختلف می‌باشد.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_2 = & EC \times (\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^V PC_i \times X_{ijv} + \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{v=1}^V RC_r \times X_{lr v} + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{v=1}^V CE_l \times \\ & X_{klv} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^V TC_{ijv} \times X_{ijv} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{v=1}^V TCK_{jkv} \times X_{jkv} + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{v=1}^V TCC_{klv} \times \\ & X_{klv} + \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{v=1}^V TCR_{lr v} \times X_{lr v} + \sum_{r=1}^R \sum_{t=1}^T \sum_{v=1}^V TCT_{rtv} \times X_{rtv} + \sum_{l=1}^L \sum_{s=1}^S \sum_{v=1}^V TCS_{lsv} \times \\ & X_{lsv} + \sum_{s=1}^S \sum_{f=1}^F \sum_{v=1}^V TCF_{sfv} \times X_{sfv} + \sum_{f=1}^F \sum_{z=1}^Z \sum_{v=1}^V TCZ_{fzv} \times X_{fzv} + \\ & \sum_{f=1}^F \sum_{h=1}^H \sum_{v=1}^V TCH_{fhv} \times X_{fhv} + \sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^V TCI_{hiv} \times X_{hiv}) \end{aligned}$$

(۳) کمینه‌سازی میزان دیرکرد کل: این تابع هدف سعی دارد میزان زمان مورد انتظار مشتری در تحویل کالا را محقق سازد.

$$\text{Min } Z_3 = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{v=1}^V (td_{jkv} - te_k) \times X_{jkv}$$

در ادامه محدودیت‌های مدل ذکر می‌شود:

(۱) محدودیت‌های جریان:

- 1) $\sum_{h=1}^H \sum_{a=1}^A \sum_{v=1}^V X_{hiv} + \sum_{f=1}^F \sum_{h=1}^H \sum_{v=1}^V X_{fhv} - \sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^V X_{ijv} \geq 0 \quad \text{for } i = 1, 2, 3, \dots, I$
- 2) $\sum_{i=1}^I X_{hiv} = X_{hav} \quad \text{for } h = 1, 2, 3, \dots, H, a = 1, 2, 3, \dots, A, v = 1, 2, 3, \dots, V$
- 3) $\sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^V X_{ijv} - \sum_{k=1}^K \sum_{v=1}^V X_{jkv} \geq 0 \quad \text{for } j = 1, 2, 3, \dots, J$
- 4) $\sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^V X_{jkv} \geq d_k \quad \text{for } k = 1, 2, 3, \dots, K$
- 5) $\sum_{r=1}^R \sum_{v=1}^V X_{rtv} \geq d_t \quad \text{for } t = 1, 2, 3, \dots, T$
- 6) $\sum_{k=1}^K \sum_{v=1}^V X_{klv} = X_l \quad \text{for } l = 1, 2, 3, \dots, L$
- 7) $X_l \times \beta_m \times \gamma_m = \sum_{r=1}^R \sum_{v=1}^V X_{lr v} \quad \text{for } l = 1, 2, 3, \dots, L, m = 1, 2, 3, \dots, M$
- 8) $X_l \times \beta_m \times (1 - \gamma_m) = \sum_{s=1}^S \sum_{v=1}^V X_{lsv} \quad \text{for } l = 1, 2, 3, \dots, L, m = 1, 2, 3, \dots, M$
- 9) $\sum_{s=1}^S \sum_{v=1}^V X_{sfv} \times \mu_b \times \alpha_b = \sum_{h=1}^H \sum_{v=1}^V X_{fhv} \quad \text{for } f = 1, 2, 3, \dots, F$
- 10) $\sum_{l=1}^L \sum_{v=1}^V X_{lsv} \geq \sum_{f=1}^F \sum_{v=1}^V X_{sfv} \quad \text{for } s = 1, 2, 3, \dots, S$
- 11) $\sum_{h=1}^H \sum_{v=1}^V X_{fhv} \geq \sum_{z=1}^Z \sum_{v=1}^V X_{fzv} \quad \text{for } f = 1, 2, 3, \dots, F$
- 12) $\sum_{l=1}^L \sum_{v=1}^V X_{lr v} \geq \sum_{t=1}^T \sum_{v=1}^V X_{rtv} \quad \text{for } r = 1, 2, 3, \dots, R$

محدودیت‌های ۱ و ۳ بیان‌کننده‌ی محدودیت‌های تعادل جریان در مراکز تامین‌کننده و مراکز تولید و همچنین در مراکز تولیدکننده و مراکز توزیع می‌باشد. محدودیت ۲ مجموع کالاهایی که از هر یک از تامین‌کنندگان به تمام مراکز تولید ارسال می‌شود را حساب می‌کند. محدودیت ۴ و ۵ بیان‌کننده‌ی ارسال کالا حداقل به میزان تقاضای بازار اصلی و فرعی می‌باشد. محدودیت ۶ مجموع محصولات برگشتی به هر مرکز جمع‌آوری را محاسبه می‌کند. محدودیت ۷ تعداد کالاهای ارسال شده به مرکز تعمیر یا

احیا را محاسبه می‌کند. محدودیت ۸ تعداد محصولات ارسال شده به بخش پیاده‌سازی و انهدام را محاسبه می‌کند. محدودیت ۹ مجموع تعداد اقلام قابل بازیافت که به تامین‌کننده بازگردانده می‌شوند را محاسبه می‌کند. محدودت‌های ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ بیان‌کننده محدودیت‌های تعادل جریان در بین مراکز جمع‌آوری و انهدام، مراکز انهدام و تجزیه، همچنین مراکز تعمیر و بازار ثانویه می‌باشد.

(۲) محدودیت‌های ظرفیت:

$$\begin{aligned} 13) \sum_{i=1}^I \sum_{a=1}^A \sum_{v=1}^V X_{hiav} &\leq W_h & \text{for } h = 1, 2, 3, \dots, H \\ 14) \sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^V X_{ijv} &\leq W_i \times Y_i & \text{for } i = 1, 2, 3, \dots, I \\ 15) \sum_{k=1}^K \sum_{v=1}^V X_{jkv} &\leq W_j \times Y_j & \text{for } j = 1, 2, 3, \dots, J \\ 16) \sum_{k=1}^K \sum_{v=1}^V X_{klv} &\leq W_l \times Y_l & \text{for } l = 1, 2, 3, \dots, L \\ 17) \sum_{s=1}^S \sum_{v=1}^V X_{sfv} &\leq W_s \times Y_s & \text{for } s = 1, 2, 3, \dots, S \\ 18) \sum_{z=1}^Z \sum_{v=1}^V X_{fzv} &\leq W_f \times Y_f & \text{for } f = 1, 2, 3, \dots, F \\ 19) \sum_{t=1}^T \sum_{v=1}^V X_{rtv} &\leq W_r \times Y_r & \text{for } r = 1, 2, 3, \dots, R \\ 20) \sum_{f=1}^F \sum_{v=1}^V X_{fzv} &\leq W_z \times Y_z & \text{for } z = 1, 2, 3, \dots, Z \end{aligned}$$

محدودیت ۱۳ این اطمینان را ایجاد می‌کند تا حداکثر میزان موجودی در هر کدام از مراکز تامین‌کننده بیشتر از میزان مجاز نباشد. همچنین محدودیت‌های ۱۴ تا ۲۰ به ترتیب نشان‌دهنده حداکثر میزان مجاز (ظرفیت) در هر کدام از مراکز تولید و مراکز توزیع و مراکز جمع‌آوری و مراکز انهدام و مراکز تجزیه و مراکز تعمیر و مراکز دفن می‌باشد.

(۳) محدودیت‌های زیست‌محیطی:

$$\begin{aligned} 21) \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^V PC_i \times X_{ijv} + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{v=1}^V CE_l \times X_{klv} + \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{v=1}^V RC_r \times X_{lr} &\leq OPCE \\ 22) \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^V tc_{ijv} \times X_{ijv} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{v=1}^V tC_{jkv} \times X_{jkv} + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{v=1}^V TCC_{klv} \times X_{klv} + \\ \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{v=1}^V TCR_{lr} \times X_{lr} + \sum_{r=1}^R \sum_{t=1}^T \sum_{v=1}^V TCT_{rtv} \times X_{rtv} + \sum_{l=1}^L \sum_{s=1}^S \sum_{v=1}^V TCS_{lsv} \times X_{lsv} + \\ \sum_{s=1}^S \sum_{f=1}^F \sum_{v=1}^V TCF_{sfv} \times X_{sfv} + \sum_{f=1}^F \sum_{z=1}^Z \sum_{v=1}^V TCZ_{fzv} \times X_{fzv} + \\ \sum_{f=1}^F \sum_{h=1}^H \sum_{v=1}^V TCH_{fhv} \times X_{fhv} + \sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^I \sum_{a=1}^A \sum_{v=1}^V TCI_{hiv} \times X_{hiav} &\leq TCE \end{aligned}$$

محدودیت ۲۱ و ۲۲ به ترتیب بیانگر حداکثر میزان مجاز انتشار کربن‌دی‌اکسید در مراکز تولید و جمع‌آوری و تعمیر و همچنین حداکثر میزان مجاز کربن‌دی‌اکسید منتشر شده در حین حمل‌ونقل بین مراکز مختلف می‌باشد.

(۴) محدودیت‌های مربوط به مقدار تخفیف:

$$\begin{aligned} 23) \sum_{v=1}^V X_{hav} &\geq LOW_{ha} \times Y_{ha} & \text{for } h = 1, 2, 3, \dots, H, \quad a = 1, 2, 3, \dots, S \\ 24) \sum_{v=1}^V X_{hav} &\leq UP_{ha} \times Y_{ha} & \text{for } h = 1, 2, 3, \dots, H, \quad a = 1, 2, 3, \dots, S \\ 25) \sum_{h=1}^H Y_{hh} &\leq 1 \\ 26) \sum_{a=1}^A Y_{ha} &\leq Y_{hh} & \text{for } h = 1, 2, 3, \dots, H \\ 27) M \times Y_{hh} &\geq \sum_{a=1}^A \sum_{v=1}^V X_{hav} & \text{for } h = 1, 2, 3, \dots, H \end{aligned}$$

محدودیت ۲۳ و ۲۴ حداکثر و حداقل میزان موجودی تعیین شده برای هر کدام از مراکز تامین‌کننده را در صورتی که سطح تخفیف a انتخاب شود، مشخص می‌کنند. محدودیت ۲۵ این موضوع را بیان می‌کند که در نهایت حداکثر یکی از تامین‌کنندگان برای تامین مواد اولیه انتخاب می‌شود. محدودیت ۲۶ بیان‌کننده این موضوع می‌باشد که در نهایت حداکثر یکی از سطوح تخفیف انتخاب می‌شود. محدودیت ۲۷ بیان می‌کند در صورتی که مقدار کالای انتقال یافته از مرکز تامین‌کننده h در سطح a با وسیله حمل‌ونقل نوع v به هر کدام از مراکز تولید بزرگ‌تر از صفر باشد (محصول انتقال یابد) مقدار متغیر Y_h باید یک باشد (تامین‌کننده h انتخاب شود).

(۵) محدودیت‌های حمل‌ونقل

$$\begin{aligned} 28) \sum_{v=1}^V Z_{hiv} &\leq 1 & \text{for } h = 1, 2, 3, \dots, H, \quad i = 1, 2, 3, \dots, I \\ 29) \sum_{v=1}^V Z_{jkv} &\leq 1 & \text{for } j = 1, 2, 3, \dots, J, \quad k = 1, 2, 3, \dots, K \\ 30) \sum_{v=1}^V z_{ijv} &\leq 1 & \text{for } i = 1, 2, 3, \dots, I, \quad j = 1, 2, 3, \dots, J \\ 31) \sum_{v=1}^V z_{klv} &\leq 1 & \text{for } k = 1, 2, 3, \dots, K, \quad l = 1, 2, 3, \dots, L \\ 32) \sum_{v=1}^V z_{lr} &\leq 1 & \text{for } l = 1, 2, 3, \dots, L, \quad r = 1, 2, 3, \dots, R \\ 33) \sum_{v=1}^V z_{rtv} &\leq 1 & \text{for } r = 1, 2, 3, \dots, R, \quad t = 1, 2, 3, \dots, T \end{aligned}$$

- 34) $\sum_{v=1}^V z_{lsv} \leq 1 \quad \text{for } l = 1, 2, 3, \dots, L, s = 1, 2, 3, \dots, S$
 35) $\sum_{v=1}^V z_{sfv} \leq 1 \quad \text{for } s = 1, 2, 3, \dots, S, f = 1, 2, 3, \dots, F$
 36) $\sum_{f=1}^F z_{fzv} \leq 1 \quad \text{for } f = 1, 2, 3, \dots, F, z = 1, 2, 3, \dots, Z$
 37) $\sum_{v=1}^V z_{fhv} \leq 1 \quad \text{for } f = 1, 2, 3, \dots, F, h = 1, 2, 3, \dots, H$

محدودیت ۲۸ تا ۳۷ نشان می‌دهند که در هر کدام از مسیرها بین دو مرکز مختلف حداکثر یکی از انواع وسایل نقلیه انتخاب

شود.

- 38) $Z_{hiv} \times M \geq \sum_{a=1}^A X_{hiav} \quad \text{for } h = 1, 2, 3, \dots, H, i = 1, 2, 3, \dots, I, v = 1, 2, 3, \dots, V$
 39) $Z_{ijv} \times M \geq X_{ijv} \quad \text{for } i = 1, 2, 3, \dots, I, j = 1, 2, 3, \dots, J, v = 1, 2, 3, \dots, V$
 40) $Z_{jkv} \times M \geq X_{jkv} \quad \text{for } j = 1, 2, 3, \dots, J, k = 1, 2, 3, \dots, K, v = 1, 2, 3, \dots, V$
 41) $Z_{klv} \times M \geq X_{klv} \quad \text{for } k = 1, 2, 3, \dots, K, l = 1, 2, 3, \dots, L, v = 1, 2, 3, \dots, V$
 42) $Z_{lrsv} \times M \geq X_{lrsv} \quad \text{for } l = 1, 2, 3, \dots, L, r = 1, 2, 3, \dots, R, v = 1, 2, 3, \dots, V$
 43) $Z_{rtv} \times M \geq X_{rtv} \quad \text{for } r = 1, 2, 3, \dots, R, t = 1, 2, 3, \dots, T, v = 1, 2, 3, \dots, V$
 44) $Z_{lsv} \times M \geq X_{lsv} \quad \text{for } l = 1, 2, 3, \dots, L, s = 1, 2, 3, \dots, S, v = 1, 2, 3, \dots, V$
 45) $Z_{sfv} \times M \geq X_{sfv} \quad \text{for } s = 1, 2, 3, \dots, S, f = 1, 2, 3, \dots, F, v = 1, 2, 3, \dots, V$
 46) $Z_{fzv} \times M \geq X_{fzv} \quad \text{for } f = 1, 2, 3, \dots, F, z = 1, 2, 3, \dots, Z, v = 1, 2, 3, \dots, V$
 47) $Z_{fhv} \times M \geq X_{fhv} \quad \text{for } f = 1, 2, 3, \dots, F, h = 1, 2, 3, \dots, H, v = 1, 2, 3, \dots, V$

محدودیت‌های ۳۸ تا ۴۷ نشان می‌دهند که در صورتی که تعداد کالای انتقالی بین دو مرکز مختلف بزرگ‌تر از صفر باشد،

باید متغیر یکی از انواع وسایل نقلیه مقدار ۱ بگیرد (یکی از وسایل نقلیه انتخاب شود).

- 48) $Z_{hiv} \leq \sum_{a=1}^A X_{hiav} \quad \text{for } h = 1, 2, 3, \dots, H, i = 1, 2, 3, \dots, I, v = 1, 2, 3, \dots, V$
 49) $Z_{ijv} \leq X_{ijv} \quad \text{for } i = 1, 2, 3, \dots, I, j = 1, 2, 3, \dots, J, v = 1, 2, 3, \dots, V$
 50) $Z_{jkv} \leq X_{jkv} \quad \text{for } j = 1, 2, 3, \dots, J, k = 1, 2, 3, \dots, K, v = 1, 2, 3, \dots, V$
 51) $Z_{klv} \leq X_{klv} \quad \text{for } k = 1, 2, 3, \dots, K, l = 1, 2, 3, \dots, L, v = 1, 2, 3, \dots, V$
 52) $Z_{lrsv} \leq X_{lrsv} \quad \text{for } l = 1, 2, 3, \dots, L, r = 1, 2, 3, \dots, R, v = 1, 2, 3, \dots, V$
 53) $Z_{rtv} \leq X_{rtv} \quad \text{for } r = 1, 2, 3, \dots, R, t = 1, 2, 3, \dots, T, v = 1, 2, 3, \dots, V$
 54) $Z_{lsv} \leq X_{lsv} \quad \text{for } l = 1, 2, 3, \dots, L, s = 1, 2, 3, \dots, S, v = 1, 2, 3, \dots, V$
 55) $Z_{sfv} \leq X_{sfv} \quad \text{for } s = 1, 2, 3, \dots, S, f = 1, 2, 3, \dots, F, v = 1, 2, 3, \dots, V$
 56) $Z_{fzv} \leq X_{fzv} \quad \text{for } f = 1, 2, 3, \dots, F, z = 1, 2, 3, \dots, Z, v = 1, 2, 3, \dots, V$
 57) $Z_{fhv} \leq X_{fhv} \quad \text{for } f = 1, 2, 3, \dots, F, h = 1, 2, 3, \dots, H, v = 1, 2, 3, \dots, V$

محدودیت‌های ۴۸ تا ۵۷ نشان می‌دهند که اگر یکی از انواع وسایل نقلیه بین دو مرکز انتخاب شود (متغیر Z مربوطه مقدار ۱

بگیرد) باید مقدار کالای انتقالی بین آن دو مرکز بزرگتر از صفر باشد.

۶) محدودیت‌های متغیرهای مسئله

- 58) $X_{rtv}, X_{lsv}, X_{sfv}, X_{fzv}, X_{fhv}, X_{jkv}, X_{klv}, X_{lrsv}, X_{hiv}, X_{ijv} \geq 0$
 59) $Y_i, Y_j, Y_l, Y_r, Y_s, Y_t, Y_z \in \{0, 1\}$
 60) $Z_{hiv}, Z_{ijv}, Z_{jkv}, Z_{klv}, Z_{lrsv}, Z_{rtv}, Z_{lsv}, Z_{sfv}, Z_{fzv}, Z_{fhv} \in \{0, 1\}$
 61) $Y_h, Y_l, Y_r, Y_s, Y_t, Y_z \in \{0, 1\}$

۲-۶- حل مدل

مدل ارائه شده در این پژوهش شامل سه تابع هدف متناقض می‌باشد. و با رسیدن به مقدار بهینه برای هر کدام از آن‌ها مقدار بهینه‌ی تابع‌های دیگر به دست نمی‌آید. به منظور حل این مسئله‌ی چند هدفه از روش Lp-metric استفاده می‌شود. در این روش مجموع توان انحرافات نسبی اهداف از مقدار بهینه آن‌ها مینیمم می‌شود (به دنبال تابع هدفی هستیم که با استفاده از آن همه توابع به مقدار بهینه‌ی خود نزدیک شوند).

تابع هدف روش Lp-metric در مسائل مینیمم سازی خطی به صورت زیر تعریف می‌شود:

P : مقدار ۱ و ۲... در نظر گرفته می‌شود که در حل مدل $p=1$ در نظر گرفته می‌شود.

W_i : نشان دهنده‌ی اهمیت هدف i ام (این وزن‌ها توسط فرد تصمیم‌گیرنده‌ی اصلی تعیین می‌شوند).

(در این مثال به منظور جلوگیری از غیرخطی شدن مدل مقدار p را برابر با یک در نظر می‌گیریم).

$$\text{Min } Z = \sum W_i \left(\frac{Z_i - Z_i^*}{Z_i^*} \right)^p$$

مقادیر به دست آمده برای هریک از توابع هدف مستقل از توابع دیگر و با در نظر گرفتن محدودیت‌ها به صورت زیر می‌باشد:

$$Z_1^* = 374680.304 \quad Z_2^* = 361331.001 \quad Z_3^* = 426.5$$

۷-۲- نتایج پژوهش

به منظور ارزیابی عملکرد مدل فوق، مثال عددی مطرح شده و در نهایت نتایج آن بررسی شده است. در این پژوهش مثال عددی توسط نرم افزار CPLEX 12.6 حل می شود. در جدول زیر جواب های پرتو برای هر کدام از توابع هدف با در نظر گرفتن وزن های مختلف به دست آمده است. در ستون اول و دوم و سوم وزن های در نظر گرفته شده نوشته شده است و در ستون های بعدی مقادیر جواب های پرتو نشان داده شده است. در نهایت فرد تصمیم گیرنده می تواند جواب مناسب از نظر خود را با مقایسه بین توابع هدف با وزن های مختلف انتخاب نماید. در هر کدام از دسته بندی برای وزن ها، هر چه وزن داده شده به تابع هدف بزرگ تر باشد، اهمیت تابع هدف فوق نزد فرد تصمیم گیرنده بیشتر است. با دقت به جدول زیر این نتیجه حاصل می شود که در هر دسته از وزن های داده شده مقدار بهترین تابع هدف (مینیمم ترین) در بزرگترین وزن آن تابع هدف به دست آمده است.

جدول ۱- مقادیر جواب های پرتو با در نظر گرفتن وزن های مختلف

	W ₁	W ₂	W ₃	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z _{LP}
	0.1	0.1	0.8	478060	404280	426.5	0.039
1	0.1	0.8	0.1	435860	362730	740	0.093
	0.8	0.1	0.1	414110	395130	740	0.167
	0.2	0.2	0.6	477950	404420	426.5	0.079
2	0.2	0.6	0.2	480590	402490	426.5	0.125
	0.6	0.2	0.2	465090	431090	426.5	0.183
	0.3	0.3	0.4	478060	404280	426.5	0.118
3	0.3	0.4	0.3	478700	403680	426.5	0.13
	0.4	0.3	0.3	477310	405020	426.5	0.146
	0.9	0.05	0.05	414110	395130	740	0.136
4	0.05	0.9	0.05	439250	362410	740	0.048
	0.05	0.05	0.9	478070	404290	426.5	0.02
	0.5	0.25	0.25	473060	411140	426.5	0.166
5	0.25	0.5	0.25	480590	402490	426.5	0.128
	0.25	0.25	0.5	478060	404280	426.5	0.099
	0.4	0.4	0.2	478060	404280	426.5	0.158
6	0.4	0.2	0.4	473060	411140	426.5	0.133
	0.2	0.4	0.4	480590	402490	426.5	0.102

حال با توجه به اینکه مقادیر تابع هدف Z₃ در وزن های مختلف تفاوت چندانی نکرده است و همچنین با در نظرگیری اینکه وسیله ی نقلیه با کیفیت بالا و میزان انتشار کربن دی اکسید کم، مدت زمان تاخیر در تحویل کالای کمتری نیز دارد؛ تابع هدف های Z₂ و Z₃ رفتار مشابهی نشان می دهند و به همین دلیل آن ها را با هم در نظر گرفته (Z'₂) تا رفتارهای متناقض توابع هدف بهتر نشان داده شود.

در این حالت تابع هدف Lp-Metric به صورت زیر تعریف می شود:

$$\text{Min } Z'_{LP} = W \times \frac{Z_1 - Z_1^*}{Z_1^*} + (1 - W) \times \frac{Z'_2 - Z_2^*}{Z_2^*}$$

پس از حل مدل با هدف مینیمم کردن تابع LP و با در نظر گرفتن محدودیت ها به نتایج زیر می رسیم:

جدول ۲- مقادیر جواب های پرتو با در نظر گرفتن وزن های مختلف و با یکی کردن دو تابع هدف Z₂ و Z₃

W2	W ₁	Z ₁	Z' ₂	Z _{LP}
0.9	0.1	435860	363470	0.165
0.8	0.2	430410	364370	0.164
0.7	0.3	430408	364382	0.162
0.6	0.4	428520	365560	0.16
0.5	0.5	427880	366160	0.157
0.4	0.6	423120	372630	0.154
0.3	0.7	422870	373020	0.147
0.2	0.8	386010	403220	0.129
0.1	0.9	381410	406690	0.078
0	1	374680	432030	0.011

با در نظر گرفتن مقادیر اهمیت‌های مختلف برای توابع هدف مقادیر جواب‌های پرتو مختلف به دست آمده است. با توجه به جواب‌های به دست آمده بهترین مقدار برای تابع هدف در $W_1=1$ و $W_2=0$ به دست آمده است. در این حالت کمترین مقدار برای Z_{lp} به دست می‌آید.

۲-۸- تحلیل حساسیت

رفتار مدل با پارامترهای متفاوت مورد مطالعه قرار گرفته است. پارامترهای هزینه‌ی انتشار CO_2 و میزان تقاضای مارکت اصلی به عنوان پارامترهای اصلی برای بررسی رفتار مدل در نظر گرفته شده‌اند، در این حالت دیگر پارامترهای مدل ثابت در نظر گرفته شده است. (تحلیل حساسیت‌های انجام شده با مقادیر $W_1=0.8$, $W_2=0.1$, $W_3=0.1$ انجام شده است) با توجه به جدول ۳ با افزایش هزینه‌های کربن‌دی‌اکسید استفاده از ماشین‌آلات پیشرفته و گران افزایش می‌یابد و باعث افزایش مقدار تابع هدف اول (هزینه‌های اقتصادی) می‌شود.

جدول ۳- تابع هدف هزینه کل با افزایش

مقدار هزینه‌ی انتشار CO_2

هزینه‌ی انتشار CO_2	هزینه‌های کل
10	414110
70	414910
150	423120
200	427120
250	428520
300	428570

جدول ۴- تابع هدف زیست‌محیطی با

افزایش مقدار هزینه‌ی انتشار CO_2

هزینه‌ی انتشار CO_2	هزینه‌های زیست‌محیطی
10	49391
20	98782
30	148170
40	197560
50	246960
60	296350
70	343200
80	392220

با توجه به جدول فوق، با افزایش هزینه‌ی انتشار کربن‌دی‌اکسید مقدار تابع هدف هزینه‌های زیست‌محیطی افزایش می‌یابد. با توجه به جدول ۵ مشخص است که با افزایش مقدار تقاضا مقدار تابع هدف هزینه‌ی کل افزایش یافته است. و با افزایش مقدار تقاضا و با توجه به فرض عدم وجود کمبود، مقدار تولید و مقدار حمل‌ونقل‌ها بیشتر می‌شود در نتیجه هزینه‌های کل (تابع هدف اول) افزایش می‌یابد.

جدول ۵- تابع هدف هزینه کل با افزایش

مقدار تقاضا

تقاضا	هزینه کل
10	32671
50	77344
100	114140
150	150890
200	187140
250	262430

جدول ۶- تابع هدف هزینه‌های زیست

محیطی با افزایش مقدار تقاضا

تقاضا	هزینه‌های زیست‌محیطی
10	104020
50	138340
100	179520
150	220700
200	261930
250	278270
300	314580
400	392300

همان‌طور که در جدول ۶ مشخص است با افزایش مقدار تقاضا، مقدار هزینه‌های زیست‌محیطی افزایش یافته است. همان‌طور که انتظار داریم با افزایش مقدار تقاضا حجم تولید و حمل‌ونقل‌های لازم افزایش یافته است، در نتیجه میزان انتشار کربن‌دی‌اکسید در فضا افزایش می‌یابد در نتیجه هزینه‌های زیست‌محیطی (تابع هدف دوم) افزایش می‌یابد. در این بخش به بررسی نتایج حاصل از اضافه کردن مقدار تخفیف و محدودیت‌های آن می‌پردازیم. قبل از اضافه کردن هزینه‌های خرید مواد اولیه با در نظر گرفتن تخفیف و محدودیت‌های آن به مدل، مقدار تابع هدف هزینه‌ی کل ۴۱۹۲۴۰ می‌باشد. و همچنین مقدار این تابع هدف بعد از اضافه شدن موارد فوق ۴۱۴۹۱۰ می‌باشد که این مقدار کمتر از مقدار قبل است و این به معنای ایجاد بهبود در تابع هدف است.

۳- نتیجه گیری

اهمیت مسائل زیست محیطی افزایش چشمگیری یافته است. در این پژوهش بررسی یک شبکه‌ی بسته با ۴ بخش در قسمت مستقیم و ۴ بخش درجهت معکوس می‌باشد. هدف از این مسئله کمینه‌سازی هزینه‌های کل با احتساب هزینه‌های انتخاب تامین‌کننده‌ی مناسب و کمینه‌سازی میزان انتشار کربن دی‌اکسید و کمینه‌سازی میزان دیرکرد می‌باشد. از این رو این پژوهش شامل یک مدل زنجیره‌تأمین بسته‌ی سبز به همراه انتخاب تامین‌کننده با احتساب میزان تخفیف هرکدام می‌باشد. به منظور اعتباردهی به مدل یک مثال عددی توسط نرم‌افزار CPLEX حل شده است. و نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد، وجود مقدار تخفیف و انتخاب تامین‌کننده باعث کاهش تابع هدف اول می‌شود.

در پژوهش‌های آتی در نظر گرفتن عدم قطعیت برای پارامترهای مدل به خصوص تقاضا پیشنهاد می‌شود. و همچنین پیاده سازی نظریه‌ی بازی‌ها بین تامین‌کننده‌ها و زنجیره تامین بسته می‌تواند موثر واقع شود.

۴- منابع

- [1] Fleischmann, M., Beullens, P., BLOEMHOF-RUWAARD, J.M. and Wassenhove, L.N., 2001. The impact of product recovery on logistics network design. *Production and Operations Management*, 10(2), pp.156-173.
- [2] Chen, C.L. and Lee, W.C., 2004. Multi-objective optimization of multi-echelon supply chain networks with uncertain product demands and prices. *Computers & Chemical Engineering*, 28(6), pp.1131-1144.
- [3] Salema, M.I.G., Barbosa-Povoa, A.P. and Novais, A.Q., 2007. An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 179(3), pp.1063-1077.
- [4] Pishvaei, M.S. and Torabi, S.A., 2010. A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Fuzzy sets and systems*, 161(20), pp.2668-2683.
- [5] Ramezani, M., Bashiri, M. and Tavakkoli-Moghaddam, R., 2013. A robust design for a closed loop supply chain network under an uncertain environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66(5-8), pp.825-843.
- [6] Zeballos, L.J., Méndez, C.A., Barbosa-Povoa, A.P. and Novais, A.Q., 2014. Multi-period design and planning of closed-loop supply chains with uncertain supply and demand. *Computers & Chemical Engineering*, 66, pp.151-164.
- [7] Subulan, K., Taşan, A.S. and Baykasoğlu, A., 2015. A fuzzy goal programming model to strategic planning problem of a lead/acid battery closed-loop supply chain. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, pp.243-264.
- [8] Talaei, M., Moghaddam, B.F., Pishvaei, M.S., Bozorgi-Amiri, A. and Gholamnejad, S., 2016. A robust fuzzy optimization model for carbon-efficient closed-loop supply chain network design problem: a numerical illustration in electronics industry. *Journal of Cleaner Production*, 113, pp.662-673.
- [9] Pant K, A.R.Singh, Pandey U, Purohit R. A Multi Echelon Mixed Integer Linear Programming Model of a Close Loop Supply Chain Network Design. *Materials Today: Elsevier BV*; 2018;5(2):4838–46.
- [10] Balaman, Ş.Y., Matopoulos, A., Wright, D.G. and Scott, J., 2018. Integrated optimization of sustainable supply chains and transportation networks for multi technology bio-based production: A decision support system based on fuzzy ϵ -constraint method. *Journal of Cleaner Production*, 172, pp.2594-2617.
- [11] Meysam, S.K., Maghsud, S. and Ali, D., 2016. An integrated supply chain configuration model and procurement management under uncertainty: A set-based robust optimization methodology. *Applied Mathematical Model*

A multi-objective optimization model for integrated problem of green closed loop supply chain design to minimize total cost, CO2 emissions and total delivery tardiness considering quantity discount

Sepide Aghaei , Seyyed Mohammad Taghi Fatemi Ghomi

Abstract

Today, reverse logistics is one of the major activities of supply chain management that includes all activities related to return products (such as collection, recovery, recycling, dismantling and disposal). Moreover, with the increasing importance of the efficient purchasing function, supplier selection decisions have become strategic in SCM. In order to cope with these two issues, we propose an integrated mathematical programming model for multi-echelon and capacitated closed loop green supply chain in which suppliers offer quantity discount in order to motivate buyers to purchase more through price reductions. The model objective functions are minimization of economic cost and CO2 emission and total delivery tardiness with determining best suppliers according to their discount policy offered to customers. Numerical experiment is conducted to demonstrate the applicability of the model. In order to solve the multi-objective problem with inconsistent objectives the Lp-Metric method is selected and the model is solved by CPLEX software. Also, results have revealed that supply chain total costs are significantly reduced by considering quantity discount. In addition, the amount of CO2 emissions has fallen to a minimum .

Keywords: Closed-loop green supply chain, Carbon dioxide emission, Quantity discount, Lp-metric method, Transport mode selection

سنجش رضایت مشتری به منظور افزایش فروش با استفاده از داده کاوی؛ مطالعه موردی در صنایع کاشی و سرامیک استان قزوین

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۲۳

کد مقاله: ۱۰۱۶۴

امین محمودی^۱، فاطمه رهروان سحر^۲

چکیده

در این مقاله هدف "سنجش رضایت مشتری به منظور افزایش فروش با استفاده از داده کاوی (مطالعه موردی در صنایع کاشی و سرامیک استان قزوین)" است. در این پژوهش تعیین شاخص‌هایی که بیشترین تأثیر را بر سطح رضایت مشتریان و در نتیجه افزایش فروش دارند و شناسایی این عوامل با استفاده از فن‌های داده کاوی انجام گرفته است. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی، روش درخت تصمیم، روش k نزدیک‌ترین همسایه و روش رگرسیون Stepwise استفاده شد. نتایج داده کاوی نشان داد که متغیرهای میزان فروش سال ۱۳۹۵، کلان شهر، فاصله تا کارخانه، سابقه و قدمت، شهرت و برند به تربیت بیشترین تأثیر در میزان رضایت‌مندی مشتریان (نماینده‌گی‌ها) دارند.

واژگان کلیدی: رضایت مشتری، افزایش فروش، داده کاوی، درخت تصمیم، شبکه عصبی.

۱- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه غیاث الدین جمشید کاشانی، قزوین (مسئول مکاتبات)

۲- کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه رجا، قزوین

تمامی سازمان‌های فعال اعم از سازمان‌های بزرگ، متوسط و یا کوچک با پیاده‌سازی سیستم مدیریت و ارتباط با مشتری سعی در توسعه و بهبود رقابت خود در اقتصاد شدیداً متغیر و بازار متلاطم دارند. بسیاری از این تلاش‌ها با شکست مواجه می‌گردد چراکه دانش مناسب در ارتباط با مشتری و جلب رضایتشان وجود نداشته و یا تحلیل مناسبی صورت نمی‌گیرد از همین رو سازمان‌ها با رفتن به سمت رویکرد داده‌کاوی سعی در استفاده از متدهای موجود جهت دستیابی به دانش‌های نهان در درون انبوه داده‌های مشتریان نموده و با بهره‌مندی از نتایج حاصله سعی در پیشروی در بازار و افزایش فروش خود نموده‌اند (نصیری و همکاران، ۱۳۹۴). رضایت مشتری یکی از موضوعات بسیار راهبردی در دهه اخیر است. تحقیقی نشان می‌دهد مشتریان کاملاً راضی در مقابل مشتریان در مقابل مشتریان فقط راضی ۴۲ درصد بیشتر به وفاداری گرایش نشان می‌دهند (نای جل، ۲۰۰). شناسایی گروه‌های مختلف مشتریان و تعیین خواسته‌ها و نیازهای آنان می‌تواند باعث به وجود آمدن رضایت مشتری برای شرکت‌ها شود و همین امر موجب وفاداری بیشتر مشتریان می‌شود. شناسایی مشتریان کلیدی و حفظ این‌گونه مشتریان در بلندمدت نسبت به جذب مشتریان جدید، برای جایگزینی مشتریانی که قطع رابطه با شرکت کرده‌اند، سودمندتر است. زیرا هزینه جذب یک مشتری کلیدی جدید ۵ برابر هزینه حفظ یک مشتری است. داده‌کاوی به‌وسیله کاوش داده‌های موجود در بانک‌های اطلاعاتی، اطلاعات و دانش مفید از داده‌ها را استخراج می‌کند، بنابراین یکی از ابزار مدیریت ارتباط با مشتری می‌باشد (چنگ و چن، ۲۰۰۹).

مشارکت مشتریان در فرایند طراحی محصول‌ها و خدمات جدید سازمان‌ها، عاملی حیاتی در موفقیت آن‌هاست (اسوندسن و همکاران، ۲۰۰۱). رضایت مشتری، احساسی است که وقتی به وجود می‌آید که توقع‌های مشتری از محصول یا خدمات سازمان برآورده شود (جوران، ۲۰۰۹). همچنین اولیور ریچارد دریافت که رضایت یا نارضایتی مشتری، تفاوت بین انتظارهای او از محصول‌ها یا خدمات دریافتی و آن چیزی است که به‌واقع دریافت کرده است؛ بنابراین، به‌تازگی سازمان‌ها با توجه به طیف وسیعی از منافع کسب‌وکار که در رضایت مشتری نهفته است، به سمت مدیریت ارتباط با مشتریان گرایش یافته‌اند (ریچارد و جونز، ۲۰۰۸). شناخت مشتریان، شرکت‌ها را برای حفظ بهتر مشتریان و وفادار نگه‌داشتن همیشگی آن‌ها توانمند خواهد ساخت که این موضوع اصلی در مدیریت روابط با مشتریان است (خالد و هدا، ۲۰۱۱). تأثیرگذارترین عامل سودآوری شرکت‌های موفق، داشتن مشتریان وفادار است. این‌ها مشتریانی هستند که وفاداری و تعهد سازمان را برای تحقق خواسته‌هایشان درک کرده‌اند (پاین و پرو، ۲۰۰۶). نتایج حاصل از اندازه‌گیری رضایت مشتری، در بسیاری از کشورها، راه را برای یافتن سازمان‌های متعالی هموار ساخته و معیارهای اتخاذ تصمیم‌های راهبردی را فراهم کرده است تا وضعیت رقابتی را به‌سادگی ارزیابی کند و بهبود بخشد (رضایی، ۱۳۸۵). این مقاله باهدف کلی تعیین شاخص‌هایی که بیشترین تأثیر را بر سطح رضایت مشتریان و در نتیجه افزایش فروش دارند و شناسایی این عوامل با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی و هدف فرعی شناسایی راهکارهایی جهت ارائه محصولات جدیدتر و باکیفیت مطلوب‌تر به مشتریان و افزایش رضایتمندی آن‌ها با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده از گذشته و اطلاعات موجود در زمینه کیفیت محصولات ارائه‌شده و مشکل‌های شناسایی‌شده از طریق نظرسنجی‌ها انجام‌گرفته است و در پی پاسخگویی به این پرسش است که چه شاخص‌هایی با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی بیشترین تأثیر را بر سطح رضایت مشتریان و در نتیجه افزایش فروش دارند و چه راهکارهایی جهت ارائه محصولات جدیدتر و باکیفیت مطلوب‌تر به مشتریان و افزایش رضایتمندی آن‌ها با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده از گذشته و اطلاعات موجود در زمینه کیفیت محصولات ارائه‌شده و مشکل‌های شناسایی‌شده از طریق نظرسنجی‌ها به‌دست‌آمده است؟

۲- پیشینه نظری

۲-۱- داده‌کاوی

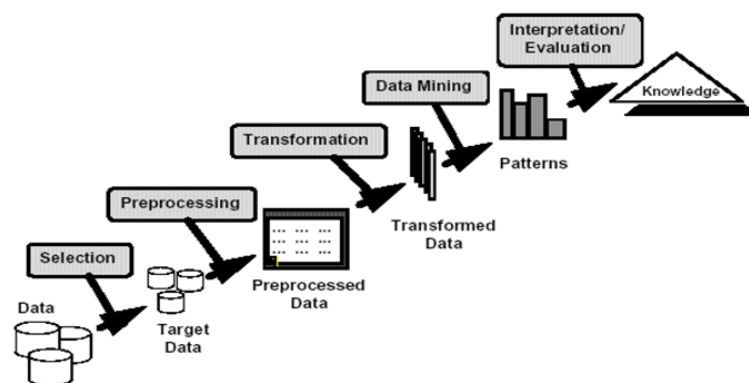
ترکیبی از تکنیک‌های یادگیری ماشین، تشخیص الگو، آمار، تئوری پایگاه داده و خلاصه کردن و ارتباط بین مفاهیم و الگوهای جالب به‌صورت خودکار از پایگاه داده شرکت‌های بزرگ است. هدف اصلی داده‌کاوی کمک به فرآیند تصمیم‌گیری از طریق استخراج دانش از داده‌هاست (آلپالدین، ۲۰۱۰).

هدف داده‌کاوی آشکار کردن روندها یا الگوهایی که تاکنون ناشناخته بوده‌اند برای گرفتن تصمیمات بهتر است که این هدف را به‌وسیله به‌کارگیری روش‌های آماری همچون تحلیل لجستیک و خوشه‌بندی و همچنین با استفاده از روش‌های تحلیل داده به‌دست‌آمده از رشته‌های دیگر (همچون شبکه‌های عصبی در هوش مصنوعی و درختان تصمیم در یادگیری ماشین) انجام می‌دهد (کو و جرویس، ۲۰۱۰).

ابزارهای داده‌کاوی روندها و رفتارهای آینده را توسط رصد پایگاه داده‌ها برای الگوهای نهان پیش‌بینی می‌کند باعث می‌شوند که سازمان‌ها تصمیمات مبتنی بر دانش گرفته و به سؤالاتی که پیش‌ازین حل آن‌ها بسیار زمان‌بر بود پاسخ دهند (راماموهان و همکاران، ۲۰۱۲).

داده‌کاوی یک ابزار مفید برای کاوش دانش از داده حجیم است. داده‌کاوی یافتن اطلاعات بامعنای خاص از یک تعداد زیادی از داده به‌وسیله بعضی از فناوری‌ها به‌عنوان رویه‌ای برای کشف دانش از پایگاه داده است که گام‌های آن شامل موارد زیر هستند (هان و کمبر، ۲۰۱۰):

- ۱- پاک‌سازی داده‌ها: حذف داده دارای نویز و ناسازگار، ۲- یکپارچه‌سازی داده: ترکیب منابع داده گوناگون، ۳- انتخاب داده: یافتن داده مرتبط با موضوع از پایگاه داده، ۴- تبدیل داده: تبدیل داده به شکل مناسب برای کاوش، ۵- داده‌کاوی: استخراج مدل‌های داده با بهره‌گیری از تکنولوژی، ۶- ارزیابی الگو: ارزیابی مدل‌هایی که واقعاً برای ارائه دانش مفید هستند و ۷- ارائه دانش: ارائه دانش بعد از کاوش به کاربران به‌وسیله استفاده از تکنولوژی‌هایی همچون ارائه بصری (لین و یه، ۲۰۱۲).



شکل ۱- نمودار داده‌کاوی

۲-۲- ابزارها و تکنیک‌های داده‌کاوی

با توجه به تنوع حجم و نوع داده‌ها، روش‌های آماری زیادی برای کشف قوانین نهفته در داده‌ها وجود دارند. این روش‌ها می‌توانند با ناظر یا بدون ناظر باشند (بولتون و هاند، ۲۰۰۲). در روش‌های با ناظر، نمونه‌هایی از موارد خسارتی موجود است و مدلی ساخته می‌شود که بر اساس آن، خسارتی یا غیر خسارتی بودن نمونه‌های جدید مشخص می‌شود. این روش جهت تشخیص انواع خسارت‌هایی مناسب است که از قبل وجود داشته‌اند. روش‌های بدون ناظر، به دنبال کشف نمونه‌هایی هستند که کمترین شباهت را با نمونه‌های نرمال دارند. برای انجام فعالیت‌هایی که در هر فاز داده‌کاوی باید انجام شود از ابزارها و تکنیک‌های گوناگونی چون الگوریتم‌های پایگاه داده، تکنیک‌های هوش مصنوعی، روش‌های آماری، ابزارهای گرافیک کامپیوتری و مصورسازی استفاده می‌شود. هرچند داده‌کاوی لزوماً به حجم داده زیادی به‌عنوان ورودی نیاز ندارد ولی امکان دارد در یک فرآیند داده‌کاوی حجم داده زیادی وجود داشته باشد (فولادی نیا و همکاران ۱۳۹۲).

یکی دیگر از شاخه‌های علمی که به کمک داده‌کاوی آمده است هوش مصنوعی می‌باشد. هدف هوش مصنوعی هوشمند سازی رفتار ماشین‌ها است. می‌توان گفت تکنیک‌های هوش مصنوعی به‌طور گسترده‌ای در فرآیند داده‌کاوی به کار می‌رود به‌طوری‌که بعضی از آمار دان‌ها ابزارهای داده‌کاوی را به‌عنوان هوش آماری مصنوعی معرفی می‌کنند. قابلیت یادگیری بزرگ‌ترین فایده هوش مصنوعی است که به‌طور گسترده‌ای در داده‌کاوی استفاده می‌شود. تکنیک‌های هوش مصنوعی که در داده‌کاوی بسیار زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارت‌اند از شبکه‌های عصبی، روش‌های تشخیص الگوی یادگیری ماشین و الگوریتم‌های ژنتیک و نهایتاً تکنیک‌ها و ابزارهای گرافیک کامپیوتری و مصورسازی که بشدت در داده‌کاوی بکار گرفته می‌شوند و به کمک آن‌ها می‌توان داده‌های چندبعدی را به‌گونه‌ای نمایش داد که تجزیه و تحلیل نتایج برای انسان به‌راحتی امکان‌پذیر باشد (گوپتا، ۲۰۰۶).

۳-۲- روش‌های داده‌کاوی

عمده روش‌های داده‌کاوی عبارت‌اند از روش‌های توصیف داده‌ها، روش‌های تجزیه و تحلیل وابستگی، روش‌های دسته‌بندی و پیشگویی، روش‌های خوشه‌بندی، روش‌های تجزیه و تحلیل نویز.

می‌توان روش‌های مختلف کاوش داده را در دو گروه روش‌های پیش‌بینی و روش‌های توصیفی طبقه‌بندی نمود. روش‌های پیش‌بینی در متون علمی به‌عنوان روش‌های با ناظر نیز شناخته می‌شوند. روش‌های دسته‌بندی، رگرسیون و تشخیص انحراف از

روش‌های یادگیری مدل در داده‌کاوی با ماهیت پیش‌بینی هستند. در الگوریتم‌های دسته‌بندی مجموعه داده اولیه به دو مجموعه داده با عنوان مجموعه داده‌های آموزشی و مجموعه داده‌های آزمایشی تقسیم می‌شود که با استفاده از مجموعه داده‌های آموزشی مدل ساخته می‌شود و از مجموعه داده‌های آزمایشی برای اعتبار سنجی و محاسبه دقت مدل ساخته شده استفاده می‌شود. هر رکورد شامل یک مجموعه ویژگی است.

روش‌های توصیفی الگوهای قابل توصیفی را پیدا می‌کنند که روابط حاکم بر داده‌ها را بدون در نظر گرفتن هرگونه برچسب و یا متغیر خروجی تبیین نمایند. در متون علمی روش‌های توصیفی بانام روش‌های بدون ناظر نیز شناخته می‌شوند (صنعی آباده ۱۳۹۱).

انواع روش‌های داده‌کاوی عبارت‌اند از: روش‌های توصیف داده‌ها، روش‌های تجزیه و تحلیل وابستگی، روش‌های دسته‌بندی و پیشگویی، درخت تصمیم، شبکه عصبی، استدلال مبتنی بر حافظه، ماشین‌های بردار پشتیبانی، روش‌های خوشه‌بندی، روش K-Means، شبکه کوهنن، روش دوگام و روش تجزیه و تحلیل نویز که در این مطالعه برخی از آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

۳- پیشینه تجربی

۳-۱- پیشینه داخلی

مینایی و اصغری (۱۳۸۷)، در مقاله‌ای تحت عنوان "به‌کارگیری داده‌کاوی برای کشف مدل امتیازبندی و تحلیل رفتاری مشتریان بانک" از روش شبکه‌های عصبی برای دسته‌بندی مشتریان متقاضی وام بانکی استفاده شده است؛ به‌گونه‌ای که اطلاعات ۲۴۲۰۸۴ مشتری از ابتدای سال ۸۳ تا انتهای سال ۸۶ وام دریافت کرده‌اند راه در چهارچوب ابزار SQL Server ۲۰۰۵ گردآوری کردند و پس از پردازش اولیه، مدل‌سازی را انجام دادند. آذر، احمدی و سبط (۱۳۸۹)، در مقاله‌ای با عنوان "طراحی مدل انتخاب نیروی انسانی با رویکرد داده‌کاوی"، به شناسایی شاخص‌های نیروی انسانی که بر عملکرد یا ارتقا مؤثر هستند پرداخته و در نهایت مدلی برای انتخاب متغیرهای تأثیرگذار، متغیر هدف و الگوریتم‌های مناسب، از بین قواعد به‌دست‌آمده ارائه کرده‌اند.

رادفر و همکاران (۱۳۹۳) پژوهشی با عنوان طبقه‌بندی مشتریان اینترنت بانک با کمک الگوریتم‌های داده‌کاوی را در بین مشتریان بانک سینا به انجام رسانیدند یک مدل مناسب برای طبقه‌بندی مشتریان بر مبنای بهره‌گیری از خدمات اینترنت بانک ارائه شده است. این مدل بر اساس استاندارد CRISP-DM انجام گرفته و داده‌های مورد نیاز از پایگاه داده مشتریان اینترنت بانک سینا استخراج شده است نتایج نشان داد مهم‌ترین شاخص‌ها در این الگوریتم، تحصیلات و شغل است و شاخص‌های شهر، جنسیت، سن و تأهل، به ترتیب از اهمیت‌های کمتری برخوردارند.

نصیری و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی با عنوان کاربرد تکنیک‌های داده‌کاوی در بررسی عوامل تأثیرگذار بر سطح رضایتمندی مشتریان سعی شده است تا رویکردی نوین از کاربرد فن قوانین انجمنی در این حوزه ارائه شود. این فن در قالب قوانین (اگر-آنگاه) این امکان را فراهم می‌آورد که ارتباط بین مقادیر مختلف عوامل تأثیرگذار و شاخص CSI مشخص شود و همچنین تأثیرگذارترین فاکتورها در رضایتمندی مشتریان شناسایی شوند. نتایج اجرای رویکرد پیشنهادی در شرکت بهمن دیزل، بیانگر آن است که شاخص میزان رضایت از خدمات سیار، بیشترین میزان تأثیرگذاری را دارد. همچنین فاکتورهای نحوه برخورد پرسنل نمایندگی و میزان رضایت از زمان صرف شده برای پذیرش نیز از اهمیت شایان توجهی برخوردارند. رضایان و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی با عنوان سنجش رضایت مشتریان فروشگاه‌های اینترنتی با ترکیب تکنیک‌های داده‌کاوی و الگوی کانو فازی با ترکیب دو روش خوشه‌بندی K-Means که یکی از روش‌های داده‌کاوی است و الگوی، «کانو» فازی سعی در بخش‌بندی مشتریان فروشگاه اینترنتی «نیازکو» و سپس، شناسایی نیازها و خواسته‌های آنان دارد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که طبقه برخی از ویژگی‌ها بین خوشه‌های مختلف متفاوت و برای برخی دیگر برای هر چهار خوشه مشترک و از یک نوع است. همچنین، برای هر ویژگی در هر خوشه میزان رضایتمندی و عدم رضایت محاسبه شده است. مشتریان خوشه سوم به دو دلیل بالا بودن تعداد تکرار مبادلات و مجموع مبالغ خرید کرده از سایت دارای اهمیت بیشتری برای این وبسایت هستند.

۳-۲- پیشینه خارجی

ووتر بوکینس و همکارش (۲۰۰۵) نیز مدلی مبنی بر پیش‌بینی نرخ ریزش مشتریان وفادار طراحی کردند که تمرکز بر انتخاب وفادارترین مشتریان بود. بر اساس پارامترهای تعریف شده در این تحقیق مطابق با مورد مطالعاتی از مشتریانی که تکرار خریدهای آن‌ها بیشتر از میانگین باشد انحراف از استاندارد زمان صرف شده برای خرید از آن‌ها از متوسط زمان میانگین کمتر باشد به‌عنوان مشتریان وفادار انتخاب شدند. سویو کیم و همکاران در سال ۲۰۰۶ با نظر گرفتن اهمیت شناخت مشتری در جهت ایجاد

ارتباط بلندمدت، کسب وفاداری و سودآوری بیشتر مشتری به ارائه چهارچوبی برای تحلیل ارزش مشتری، بخش‌بندی بر مبنی ارزش و سپس به تبیین استراتژی‌های مناسب برای هر بخش پرداختند.

یانینگ، کیا و فی (۲۰۰۸)، در پژوهشی به‌کارگیری رویکرد داده‌کاوی در پیاده‌سازی سیستم مدیریت با مشتریان را مورد بررسی قرار داده‌اند و مزایای بهره‌گیری از داده‌کاوی را از دیدگاه کسب‌وکار در پذیرش مشتریان بانکداری اینترنتی، در قالب یک مدل مفهومی بیان کرده‌اند. این مطالعه بیشتر به تحلیل داده‌های کارت‌های اعتباری می‌پردازد. اهن و سوهن (۲۰۰۹) در ابتدا خوشه‌بندی فازی مشتریان در شرایط شاخص سطح رضایت مشتری CSI را برای مشتریانی که از خدمات پس از فروش شرکت بهره‌مند شده‌اند انجام دادند. در مرحله بعد قوانین انجمنی برای به دست آوردن نوع خدماتی که از نظر هر گروه از مشتریان اهمیت دارد، به‌کاررفته است. درواقع این محققان با پیدا کردن اقلام پرتکرار برای گروه‌های مختلف مشتریان به خدماتی که برای آن‌ها اهمیت بیشتری دارد دست یافتند.

فنگ و ما (۲۰۰۹) در خصوص کاربرد تکنولوژی داده‌کاوی در مدیریت ارتباط با مشتری بیان کردند که داده‌کاوی نقش مهمی در بهبود سطح و کارایی مدیریت ارتباط با مشتری در بانک‌های تجاری بازی می‌کند. نتیجه این است که تنها با یکپارچه‌سازی سیستم‌های مبتنی بر داده‌کاوی، سیستم‌های بانکداری و سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری، می‌توان سطح خدمات سوددهی بانک‌ها را بیشتر ارتقا داد.

۴- مطالعه موردی

جهت بررسی رضایت مشتریان با روش داده‌کاوی، صنایع کاشی و سرامیک شهر قزوین در نظر گرفته شده است. این صنایع به‌صورت سهامی خاص در سال ۱۳۶۳ به‌منظور تولید انواع کاشی، ظروف چینی و سرامیک، انواع لعاب و فرآورده‌های مشابه و وابسته، مشارکت در سایر شرکت‌ها از طریق تأسیس یا تعهد سهام شرکت‌های جدید یا موجود و کلیه عملیات و معاملات مالی و تجاری به ثبت رسیده است. هدف از این تحقیق سنجش رضایتمندی مشتریان (نمایندگی‌ها) جهت بالا بردن فروش صنایع کاشی و سرامیک قزوین می‌باشد.

در این شرکت اطلاعات بر اساس یک سریع اعداد که توسط مدیر شرکت و کارشناسان خبره مطرح شده این‌گونه است که متغیرها بنا بر اعداد داده‌شده از داده به عدد تبدیل شده مانند انحصاری بودن که اگر انحصاری باشد ۳ اگر نیمه انحصاری بود ۲ و اگر نبود ۱ فاصله تا کارخانه تا ۲۰۰ کیلومتر ایده آل عدد ۳ تا ۲۰۰ تا ۴۰۰ کیلومتر عدد ۲ و اگر بالاتر بود عدد ۱ را به خود اختصاص می‌دهد درجه محصول اگر درجه ۱ باشد عدد ۳ اگر درجه ۲ و ۳ باشد عدد ۲ و اگر درجه محصول ۴ و ضایعات بود عدد ۱ برای سابقه و برند بالای ۱۰ سال عدد ۳ تا ۱۰ سال عدد ۲ و پایین‌تر از اعداد اعلام شده عدد ۱ برای در نظر گرفتن کلان‌شهر اگر کلان‌شهر مانند اصفهان تبریز و بود عدد ۳ شهرهای نزدیک به کلان‌شهر عدد ۲ و سایر مناطق عدد ۱ و برای مرکز استان عدد ۳ نشان‌دهنده مرکز استان عدد ۲ حومه نزدیک به مرکز استان و عدد ۱ حومه دور به مرکز استان است کیفیت و خدمات محصول بر اساس درجه‌بندی محصول در نظر گرفته می‌شود و سایر داده‌ها هم بر همین اساس در نظر گرفته شده و به عدد تبدیل شده و نکته آخر اینکه در این شرکت به‌صورت متراژ فروش محاسبه شده است. مسئله دارای ۱۳ متغیر ورودی (متغیر مستقل) می‌باشد و متغیر خروجی یک متغیر کیفی است که دسته یا طبقه هر مشتری را به سه دسته طبقه‌بندی می‌کند. عنوان متغیرهای ورودی و خروجی در ذیل بیان شده است.

متغیرهای ورودی مسئله عبارت‌اند از: انحصاری بودن نمایندگی، فاصله تا کارخانه، مرکز استان بودن، بزرگی میزان نمایندگی، سابقه و قدمت، شهرت و برند، کلان‌شهر، درجه محصول، کیفیت و خدمات محصول، شرایط آب و هوایی، میزان فروش سال ۹۴، میزان فروش سال ۹۵، میزان فروش سال ۹۶ و متغیر خروجی عبارت است از، دسته یا طبقه مربوط به مشتری که در سه دسته نمایندگی‌های کارآمد، ناکارآمد و قابل‌بهبود دسته‌بندی می‌شوند.

۵- مراحل انجام پژوهش

۵-۱- انتخاب مشخصه

در این مرحله، ابتدا از بین متغیرهایی که به‌طور بالقوه در میزان عملکرد نمایندگی‌های فروش تأثیرگذار هستند باید متغیرهایی که بیشترین اثرگذاری را دارند شناسایی شوند تا در ادامه برای مدل‌سازی داده‌ها از این متغیرها استفاده شود. لذا با استفاده از روش رگرسیون Stepwise در نرم‌افزار مینی تب ۱۶ به داده‌های زیر دست یافته شد. خروجی اجرای آن که در شکل ۲ آمده است نشان می‌دهد که، متغیرهای میزان فروش سال ۹۵، کلان‌شهر بودن، فاصله تا کارخانه، شهرت و برند و همچنین سابقه و قدمت در هر مرحله وارد مدل شده‌اند و از آنجائی که تأثیر به سزایی در کارایی مدل داشته‌اند از مدل خارج نشده‌اند.

Response is دسته on 13 predictors, with N = 99

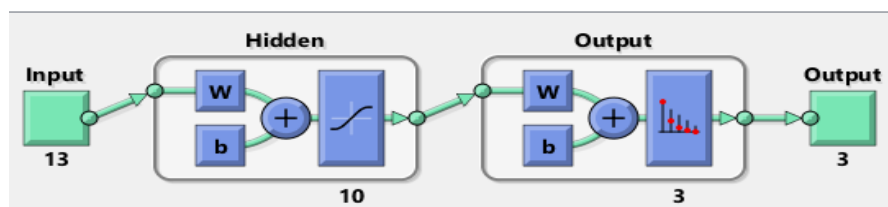
N(cases with missing observations) = 1 N(all cases) = 100

Step	1	2	3	4	5
Constant	3.885	3.934	3.994	4.090	4.194
سال ۹۵	-0.00000	-0.00000	-0.00000	-0.00000	-0.00000
T-Value	-13.49	-11.28	-9.46	-8.20	-7.47
P-Value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
کلان	-0.102	-0.113	-0.117	-0.122	
T-Value	-2.00	-2.20	-2.30	-2.42	
P-Value	0.049	0.030	0.024	0.017	
فاصله	-0.077	-0.099	-0.099		
T-Value	-1.53	-1.93	-1.95		
P-Value	0.131	0.057	0.054		
شهرت	-0.078	-0.089			
T-Value	-1.72	-1.97			
P-Value	0.088	0.052			
سابقه	-0.073				
T-Value		-1.58			
P-Value		0.117			
S	0.357	0.352	0.350	0.346	0.343
R-Sq	65.23	66.61	67.41	68.41	69.24
R-Sq(adj)	64.87	65.91	66.38	67.06	67.58

شکل ۲- اجرای رگرسیون stepwise جهت شناسایی تأثیرگذارترین متغیرها

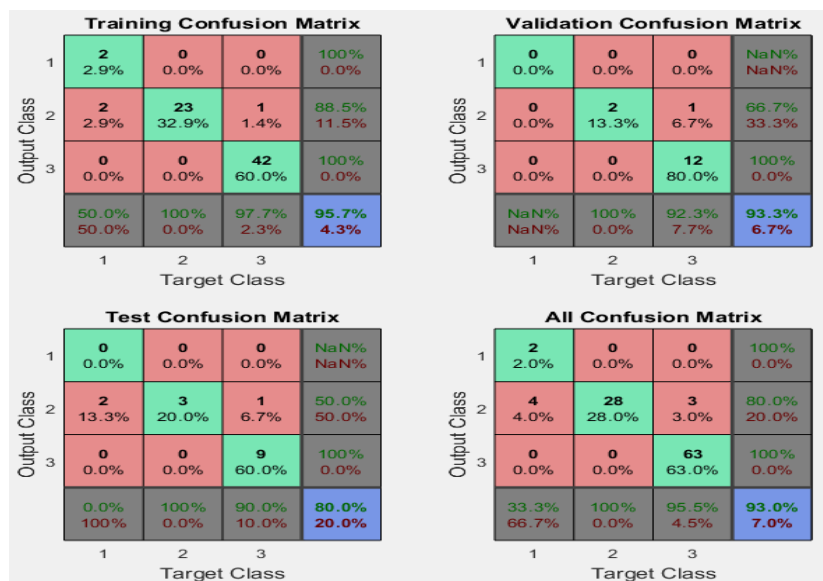
۵-۲- روش شبکه‌های عصبی مصنوعی

به منظور ایجاد مدلی با استفاده از تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) از نرم‌افزار متلب (MATLAB) ورژن ۲۰۱۷ مورد استفاده قرار گرفته است. بدین منظور از جعبه ابزار nprtool استفاده شده است. ساختار شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفته در شکل ۳ مشاهده می‌شود.



شکل ۳- ساختار شبکه عصبی استفاده شده جهت آموزش داده‌ها

به منظور ارزیابی روش موردنظر و سنجش میزان دقت تکنیک مورد استفاده قرار گرفته ماتریس درهم‌ریختگی برای داده‌های آموزش و داده‌های ارزیابی به صورت شکل ۴ به نمایش درآمده است.



شکل ۴- ماتریس درهم‌ریختگی روش شبکه‌های عصبی به تفکیک داده‌های آموزش و ارزیابی

همان‌گونه که در شکل ۴ پیداست، دقت تشخیص و پیش‌بینی مدل شبکه‌های عصبی در مجموع برای داده‌های آموزشی و ارزیابی ۹۳٪ بوده است و این مقدار فقط برای داده‌های ارزیابی ۹۳،۳٪ می‌باشد که در نهایت هدف در هر مدلی مینیمم کردن این مقدار است. در نهایت، در روش شبکه‌های عصبی به‌منظور بررسی کارایی مدل آموزش‌یافته، نمودار روند کارایی آموزش مدل در تکرارهای مختلف به‌صورت شکل ۵ شده است به‌طوری‌که کمترین مقدار کارایی برای داده‌های ارزیابی در تکرار ۴ ام اتفاق افتاده است و همچنین یک‌روند منطقی در نمودار مشاهده می‌شود.

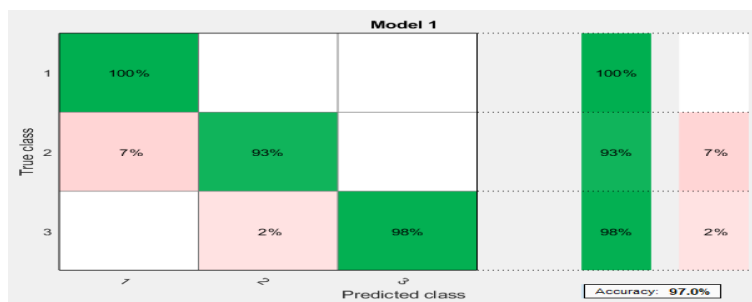


شکل ۵- نمودار کارایی روش شبکه‌های عصبی

۵-۳- روش درخت تصمیم

یکی دیگر از تکنیک‌هایی که در این پایان‌نامه جهت مدل‌سازی داده‌ها مورد استفاده قرار گرفته است، تکنیک درخت تصمیم به‌عنوان یکی از مشهورترین روش‌های دسته‌بندی داده‌ها می‌باشد. به‌منظور اجرای این تکنیک از نرم افزار متلب و از جعبه‌ابزار classification learner و از ابزار Fine Tree استفاده شده است.

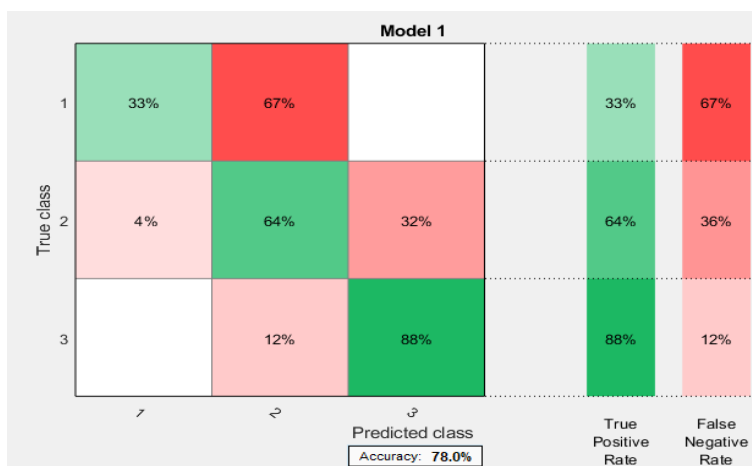
به‌منظور ارزیابی میزان دقت روش پیشنهادی ماتریس درهم‌ریختگی روش درخت تصمیم به‌صورت شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۶ نشان داده شده میزان دقت پیش‌بینی روش درخت تصمیم برای داده‌های مسئله ۹۷٪ می‌باشد که این مقدار برای داده مقدار خوب و قابل قبولی است.



شکل ۶- ماتریس درهم‌ریختگی روش درخت تصمیم

۴-۵- روش k نزدیک‌ترین همسایه (KNN)

تکنیک KNN یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده در این پایان‌نامه می‌باشد که برای مدل‌سازی داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور اجرای این تکنیک از نرم افزایار classification learner و از ابزار Fine KNN استفاده شده است. به منظور ارزیابی میزان دقت روش پیشنهادی ماتریس درهم‌ریختگی روش KNN به صورت شکل ۵-۵ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۷ نشان داده شده میزان دقت پیش‌بینی روش درخت تصمیم برای داده‌های مسئله ۷۸٪ می‌باشد که این مقدار برای داده مقدار خوب و قابل قبولی است.



شکل ۷- ماتریس درهم‌ریختگی روش KNN

۵-۵- مقایسه کارایی روش‌های مورد استفاده

در این بخش مقایسه بین کارایی روش‌های اجرا شده در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود از بین روش‌های شبکه‌های عصبی، درخت تصمیم و KNN روشی که بتری دقت را در شناسایی صحیح دسته‌ها دارد در این مسئله روش درخت تصمیم می‌باشد که با دقت ۹۷٪ دقت فوق‌العاده‌ای در این مسئله دارد.

جدول ۱- مقایسه کارایی روش‌های اجرا شده

نام روش	دقت دسته‌بندی
شبکه‌های عصبی	۹۳٫۳٪
درخت تصمیم	۹۷٪
KNN	۷۸٪

در نتیجه در این فصل با توجه به بررسی و مقایسه سه روش دریافتیم که الگوریتم درخت تصمیم با دقت ۹۷ درصد از دو روش دیگر دقت بالاتری داشته و همچنین در جدولی که از رگرسیون استفاده شده مؤثرترین متغیر ورودی در مرحله ۱ قرار داده شده و به ترتیب متغیرهای دیگر بنا بر تأثیرگذاری در مراحل بعد قرار دارند.

نتیجه‌گیری

در جهان پر از تغییر امروزی که جذب و حفظ مشتری و در نتیجه بالا بردن سطح فروش یکی از فعالیت‌های مهم هر شرکتی محسوب می‌شود. لازم است تا از ابزارهای نوین، جهت استفاده صحیح از اطلاعات در زمان مناسب و ارائه پیشنهاد درست برای بازگشت سرمایه قابل توجه و حفظ مشتریان رضایتمند و وفادار اقدام نمود. با تمرکز بر خدماتی که بیشترین رضایتمندی را در مشتریان ایجاد می‌کند، از به هدر رفتن منابع سازمان جلوگیری می‌شود. اگر سازمان به جای تمرکز صرف بر تحلیل نتایج آماری، با نتایج عملیات داده‌کاوی همراه شود، مسلماً به نتایج اثربخش‌تر و کارآمدتری دست خواهد یافت. در این پژوهش با استفاده از تکنیک داده‌کاوی در داده‌های شرکت صنایع کاشی قزوین به بررسی سطح رضایت مشتریان پرداخته شد؛ که از بین ۱۳ متغیر موردبررسی، پنج متغیر مؤثرتر در رضایت مشتری به ترتیب:

۱. میزان فروش سال ۹۵
۲. کلان‌شهر
۳. فاصله تا کارخانه
۴. شهرت و برند
۵. سابقه و قدمت می‌باشد.

با بررسی دقیق نتایج می‌توان دریافت که میزان بالای فروش در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۹۴ و ۹۶ نشان‌دهنده شاخص بالای رضایت می‌باشد در رتبه بعدی کلان‌شهر قرار دارد که شهرهای بزرگ مانند تبریز، اصفهان، مشهد و میزان خرید بالاتری دارند. در رتبه سوم میزان رضایتمندی عامل فاصله تا کارخانه قرار دارد. چهارم برند و شهرت است که در نمایندگی که شهرت و برند محصول به‌خوبی معرفی و بازاریابی شده است میزان رضایت و به طبع آن فروش بالا بوده است. جایگاه پنجم سابقه و قدمت می‌باشد که نمایندگی‌های باسابقه ده سال بالاتر میزان فروش نسبتاً بیشتری از نمایندگی‌هایی که کمتر از ده سال دارند دارا می‌باشند. متغیر بعدی در رتبه‌های پایین‌تر سطح رضایت مشتریان قرار دارد و نشان‌دهنده ضعف سازمان در این موارد می‌باشد.

منابع

- امین زاده، فاطمه، عصاره، علیرضا، شادگار، بیتا (۱۳۸۸). تشخیص بیماری سرطان با استفاده از طبقه‌بندی کننده ترکیبی RotBoost روی داده‌های ریزآرایه. پانزدهمین کنفرانس بین‌المللی سالانه انجمن کامپیوتر ایران.
- آخوندزاده، الهام، نصیری، محمد، مینایی بیدگلی، بهروز، (۱۳۹۴)، رویکردی نوین از کاربرد تکنیک‌های داده‌کاوی در بررسی عوامل تأثیرگذار بر سطح رضایتمندی مشتریان، فصلنامه مدیریت بازرگانی، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، دوره ۷، شماره ۱، ص ۲۵۱-۲۳۱.
- تارخ، محمدجعفر، شریفیان، کبری، (۱۳۸۹)، کاربرد داده‌کاوی در بهبود مدیریت ارتباط با مشتری، فصلنامه علمی-پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، سال ششم، شماره ۱۷، ص ۱۵۳-۱۸۱.
- رادفر، رضا، نظامتی، نوید، یوسفی اصلی، سعید، (۱۳۹۳)، طبقه‌بندی مشتریان اینترنت بانک با کمک الگوریتم‌های داده‌کاوی، مجله مدیریت فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، دوره ۶، شماره ۱، ص ۷۱-۹۰.
- شیرین بیک، مهاجر، شری، هومن صدیقی، و مکفی، طه، (۱۳۹۰). ارائه مدلی برای ارزش‌گذاری مشتریان یک فروشگاه اینترنتی با استفاده از فن‌های داده‌کاوی: مطالعه موردی در سایت سیویلیکا تخصصی سیستم‌های هوشمند کامپیوتری و کاربردهای آن‌ها. دانشگاه پیام نور استان تهران، مجتمع فنی و مهندسی ۱-۱۵.
- صنیعی، م.، محمودی، س.، & طاهر پرور، م. (۱۳۹۴). داده‌کاوی کاربردی. تهران: انتشارات نیاز دانش.
- ضیایی، محمدصادق، زیویار، فرزاد، نرگسیان، جواد، (۱۳۹۱)، بررسی عوامل مؤثر بر رضایت مشتریان با استفاده از مدل سروکوال، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات بازاریابی نوین، سال دوم، شماره سوم، شماره پیاپی (۶)، ص ۱۷۳-۱۸۶.
- نای جل، هیل (۲۰۰۰) روش‌های اندازه‌گیری رضایت مشتری ترجمه محمدرضا اسکندری و منیره اسکندری، ۱۳۸۶. تهران: رسا.
- Alpaldin, W., Dayal, S., Dempsey, J. & Vander Ark, J. D. (2002). The life of factory service centers. The McKinsey Quarterly, 3: 106-115.
- Auditing Tool", M.Sc. Thesis in Accounting Swedish School of Economics and Business Administration.
- Boltun, Hand (2002). "Principles of Data Mining". Digital Professor of Information Technology, University of Portsmouth, UK.
- Brun, M., C. Sima, J. Hua, J. Lowey, B. Carroll, E. Suh, and E. R. Dougherty. 2007. Model-based evaluation of clustering validation measures. Pattern Recognition 40 (3): 807-824

- Cheng, C. H. and Y. S. Chen. 2009. Classifying the segmentation of customer value via RFM model and RS theory. *Expert systems with applications* 36 (3): 4176-4184.
- CKoo, R. Jervise M. 2010. Building an Internet Commerce Capability: A Case Study. *Information Strategy: The Executive's Journal* 14 (2): 27-36.
- Cock, M. D., Cornelis, C. & Kerre, E. E. (2006). Elicitation of fuzzy association rules from positive and negative examples. *Fuzzy Sets and Systems*, 149: 73-85
- David Hand, Heikki Mannila, Padhraic Smyth. *Principles of Data Mining*. The MIT Press . 2001.
- Falaki, Hossein. (2009). "AdaBoost Algorithm", Computer Science Department, University of California, Los Angeles
- Han, J. Kamber, M. (2006). *Data Mining : Concepts and Techniques*. 2nd edition. The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems, Jim Gray, Series Editor Gupta, G.K. (2006). *Introduction to Data Mining with case studies*. New Delhi :Prentice Hall of India, Inc.
- J. Han, and M. Kamber, "Data Mining: Concepts and Techniques", San Diego Academic Press, 2001.
- Kumar, Y. F., 2012. Integrating Kano's model into web-community service quality. *Total Quality Management & Business Excellence* 15 (7): 925-939
- Kurata, H., & Nam, S. H. (2013). After-sales service competition in a supply chain: Does uncertainty affect the conflict between profit maximization and customer satisfaction. *International journal of production economics*, 144(1): 268-280.
- Lin, G. T. and C. C. Sun. 2012. Factors influencing satisfaction and loyalty in online shopping: an integrated model. *Online information review* 33 (3): 458-475.
- Mu, Xindong . Kumar, Vipin . Quinlan, j. Ross. Ghosh, Joydeep. Yang, Qiang. Motoda, Hiroshi. McLachlan, Geoffrey J. Ng, Angus. Liu, Bing. Yu, Philip S. Zhou, Zhi-Hua. Steinbach, Michael. Hand, David J. Steinberg, Dan (2007) . "Top 10 Algorithms in data mining" . Survey paper. Springer- Verlag.
- Osmar, NG, L 2001, 'Customer retention via data mining' *Artificial intelligence review*, vol 14, no. 6.
- Pardahan, A. & et al, P. (2011). Customer relationship management: From strategy to implementation. *Journal of Marketing Management*, 22(1/2): 135-168.
- Pateel, A. & et al, P. (2012). Customer relationship management: From strategy to implementation. *Journal of Marketing Management*, 22(1/2): 135-16
- Ramamohan, C, cheng wang, J & Yen, Dc 2012, 'Data mining techniques for customer relationship management', *Journal of technology in society*, vol. 24.
- Rezaee, M. (2006). Proposing a model for a national customer satisfaction index based on the EFQM model. *The 4th management international conference*. (In Persian)
- Sirikulvadhana, Supatcharee . (2002). "Data Mining as a Financial
- Sonee Abadi. (2012). *The measurement of customers' satisfaction methods*, 2th Edition, Sabzan Publishing. Tehran. (In Persian)
- Su-Yeon, Kim., Tae-Soo, Jung., Eui-Ho, Suh., HyunSeok, Hwang., Customer Segmentation and Strategy Development Based on Customer Lifetime Value: A Case Study, *Expert Systems with Applications*, 2006, pp.101107.
- Wilson, Martines, Customer Base Analysis: Partial Defection of Behaviorally Loyal Clients in a Non-Contractual FMCG Retail Setting, *European Journal of Operational Research*, Vol. 164, 1997, pp. 252-268.
- Wouter Buckinx, Dirk Van den Poel, Customer Base Analysis: Partial Defection of Behaviorally Loyal Clients in a Non-Contractual FMCG Retail Setting, *European Journal of Operational Research*, Vol. 164, 2005, pp. 252-268.

روش سلسله مراتبی (AHP) جهت انتخاب محرک سرعت متغیر (هیدروکوپلینگ و VFD) در پروژه‌های نفت و گاز

تاریخ دریافت: ۹۸/۳/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۸/۴/۱۰

کد مقاله: ۹۴۶۳۱

غلامرضا اسماعیلیان^۱، غلامرضا عزیزی^۲، مهرداد حسن پور^۳

چکیده

در ایستگاه‌های تقویت فشار گاز و یا تلمبه‌خانه‌های نفت خام فشار افزایشی سیال به منظور انتقال به پایین‌دست جهت صادرات و یا تأمین خوراک پتروشیمی‌ها و پالایشگاه‌ها توسط تجهیزات دواری در ایستگاه‌های گاز به نام توربوکمپرسور یا الکتروکمپرسور و در ایستگاه‌های نفت به نام توربوپمپ و یا الکتروپمپ انجام می‌گردد. در این مقاله نحوه شناسایی گزینه برتر در انتخاب الکتروموتورهای دور متغیر با کنترل سرعت توسط تجهیزات بنام هیدروکوپلینگ یا راه‌انداز فرکانس متغیر^۴ (VFD) به روش سلسله مراتبی^۵ (AHP) توضیح داده شده است.

واژگان کلیدی: الکتروکمپرسور، الکتروپمپ، هیدروکوپلینگ، VFD, VSD, AHP

۱- استادیار گروه مهندسی صنایع دانشگاه پیام نور

۲- رئیس بخش مهندسی مکانیک شرکت ملی نفت مرکزی (مسئول مکاتبات) reza.azizi@yahoo.com

۳- رئیس بخش مهندسی برق شرکت ملی نفت مرکزی

4- Variable Frequency Drive

5- Analysis of Hierarchy Process

۱- مقدمه

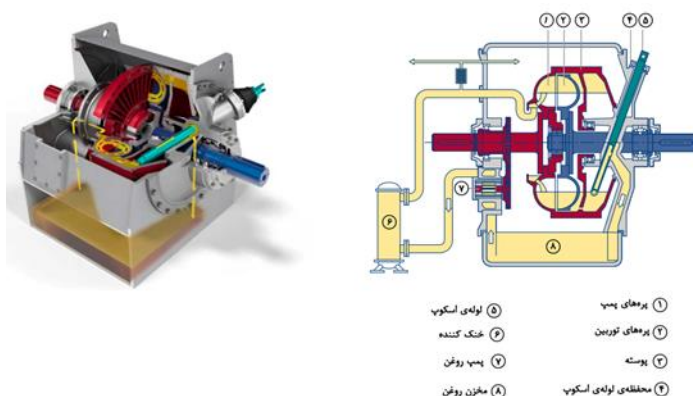
در بسیاری از پروژه های نفت و گاز بدلیل دسترسی به شبکه برقرسانی از تجهیزات دواری به نام الکترو موتور بعنوان چرخاننده (دراپور) کمپرسورها یا پمپ ها استفاده میشود. بیشتر موتورهای برای کار در سرعت ثابت طراحی شده اند، اما امروزه نیاز به دور متغیر در کاربردهای متعدد موتورها در صنایع مختلف اجتناب ناپذیر است. یک محرک دور متغیر (VSD) وسیله ای است که برای تنظیم سرعت و گشتاور خروجی تجهیزات مکانیکی استفاده می شود. از این تکنیک برای بهبود کارایی و صرفه جویی انرژی در پمپ، فن، کمپرسور و سایر تجهیزات دوار استفاده می شود. تکنولوژی VSD و اهمیت کنترل سرعت در موتورهای موجود در سال های اخیر با ظهور تجهیزات جدید تولید توان توجه زیادی را به خود جلب کرده است. در سال های اخیر به منظور بالا بردن انعطاف پذیری و سازگاری روش های تولید روش های کنترلی متنوعی برای تغییر دور به کار گرفته شده است [۱]. در بسیاری موارد دور توسط یک تجهیز ثانویه که دور موتور را به سیستم منتقل می کند؛ مانند یک شیر کنترل دبی، گیربکس و... تنظیم می شود، و سرعت دوران خود موتور ثابت می ماند.

روش های معمول مانند خاموش و روشن کردن در موتورهای دو سرعته روش های غیر مؤثری برای تنظیم دور بوده و مقدار زیادی انرژی تلف می کند. VSD با تغییر دادن دور موتور برای کار کردن در سرعت ایده آل در شرایط مختلف بازدهی سیستم را بهبود می بخشد. در بسیاری از کاربردها VSD بازدهی موتور الکتریکی را ۳۰ الی ۶۰ درصد افزایش می دهد. این موضوع با توجه به اینکه موتورهای الکتریکی بیش از ۶۰٪ انرژی الکتریکی مصرف شده در صنایع مختلف را به خود اختصاص می دهند بسیار حائز اهمیت است. میلیون ها موتور الکتریکی در صنایع و ادارات مختلف در سرتاسر جهان وجود دارند که با این روش می توان بازدهی آن ها را به مقدار قابل توجهی بهبود بخشید [۲]. روش هایی که برای تغییر دور در تجهیزات دوار استفاده می شود را می توان به سه دسته اصلی طبقه بندی کرد: روش های الکتریکی، هیدرولیکی و مکانیکی. در این مقاله تغییر دور به روش الکتریکی و هیدرولیکی انتخاب گردیده است.

۲- بخش اول

۲-۱- روش های هیدرولیکی

روش کوپلینگ هیدرولیکی بر اساس اصول توربین کار می کند. در این روش با تغییر حجم روغن داخل کوپلینگ سرعت خروجی با نسبتی از سرعت ورودی تغییر پیدا می کند. حجم روغن داخل کوپلینگ توسط یک پمپ و یک شیر تغییر پیدا می کند [۳]. در شکل ۱ یک نمونه VSD هیدرولیکی محصول شرکت Voith نشان داده شده است.

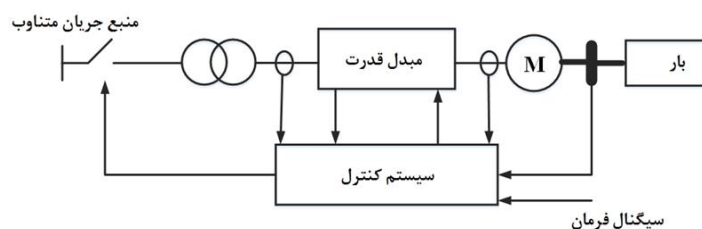


شکل ۱- شمای کلی یک سیستم هیدروکوپلینگ برای تغییر دور

۲-۲- روش الکتریکی

سیستم های VSD الکتریکی عموماً شامل سه بخش اصلی هستند: موتور الکتریکی، مبدل توان و سیستم کنترل. موتور الکتریکی به طور مستقیم یا غیرمستقیم (از طریق چرخ دنده) به بار متصل شده است. مبدل قدرت، جریان قدرت ورودی به موتور از

یک منبع AC (معمولاً از طریق یک منبع ترانسفورماتور) را با استفاده از سوئیچ‌های نیمه‌هادی کنترل می‌کند. شکل بلوک دیاگرام اجزای اصلی یک سیستم VSD الکتریکی را نشان می‌دهد.



شکل ۲- بلوک دیاگرام اجزای اصلی VSD الکتریکی.

بیشتر موتورهای فقط در بازه‌ی زمانی کوتاهی می‌توانند از بیشینه توان خود استفاده کنند. این موضوع در گذر زمان باعث اتلاف مقدار قابل توجهی انرژی می‌شود. با استفاده از تجهیزات دوار دور متغیر می‌توان مقدار قابل توجهی از این اتلاف‌ها را کاهش داد.

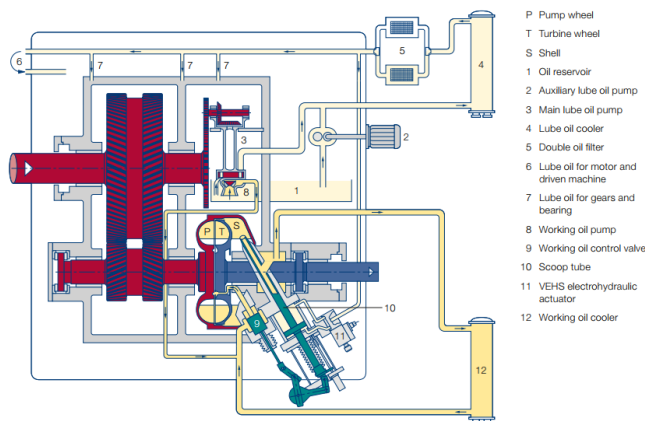
۲-۳- VFD

اجزایی است الکترونیکی از شماتیک بالا که با تغییر فرکانس سبب تغییر در ویا سرعت موتور میگردد. از آنجایی که تکنولوژی‌های متعددی برای کنترل دور در تجهیزات دوار استفاده می‌شود، مسأله‌ی حائز اهمیت در صناعی که از این تجهیزات استفاده می‌نمایند انتخاب تکنولوژی مناسب با توجه به شرایط، محدودیت‌ها و معیارهای فنی و اقتصادی است. در پژوهش حاضر با معرفی روش‌های تغییر دور تجهیزات دوار تلاش شده است معیاری مناسب برای انتخاب روش بهینه با تأکید بر دو روش VFD و هیدروکوپلینگ به عنوان مهم‌ترین تکنیک‌های استفاده شده در این حوزه به‌ویژه در صنایع وابسته به نفت و گاز ارائه شود. این موضوع با توجه به کاربرد گسترده‌ی این سیستم‌ها و بستر مناسب برای توسعه‌ی هر چه بیشتر آن‌ها در صنایع نفت و گاز کشور به منظور ارتقای بازدهی سیستم‌ها بسیار حائز اهمیت است.

۲-۴- اجزا و المان‌های سیستم‌های کوپلینگ هیدرولیکی سرعت متغیر و نحوه عملکرد آن‌ها

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، سیستم کوپلینگ هیدرولیک سرعت متغیر، علاوه بر مجموعه کوپلینگ، از یک سیستم کنترلی برای تنظیم حجم روغن موجود در کوپلینگ و در نتیجه کنترل سرعت خروجی آن استفاده می‌کند. همچنین به منظور گسترش بازه‌ی کارکرد آن، یک مجموعه گیربکس نیز به سیستم اضافه می‌شود، که با توجه به کارکرد می‌تواند قبل از کوپلینگ، بعد از کوپلینگ یا در هر دو طرف آن قرار گیرد. در ادامه نحوه عملکرد هر کدام از این مجموعه‌ها به همراه المان‌های تشکیل دهنده آن‌ها تشریح داده می‌شود. در شکل ۳ شماتیک یک کوپلینگ هیدرولیک دور متغیر نشان داده شده است.

این سیستم در ابتدا برای استفاده در پمپ تغذیه آب بویلر طراحی شده بود. اما بعدها در خط لوله‌ها در پمپ‌ها، فن‌ها و کمپرسورها نیز به کار برده شد. تا سال ۱۹۸۴، ۳۰۰۰ واحد از این سیستم‌ها در سراسر جهان فعال بودند، که بیشتر آن‌ها در بازه‌ی ۲۰۰۰ الی ۳۰۰۰ اسب بخار و نیز با سرعت خروجی ۹۰۰rpm در فن‌ها و ۱۲۰۰rpm در کمپرسورها، کار می‌کنند.



شکل ۳- شماتیک یک سیستم کوپلینگ هیدرولیک دور متغیر استاندارد.

۳- بخش دوم

۳-۱- اجزا و المان‌ها و نحوه عملکرد سیستم‌های VFD

اجزای تشکیل دهنده سیستم‌های VFD شامل: یکسوساز، رگلاتور^۱ و اینورتر است، که فرکانس ولتاژ منبع تغذیه را کنترل کرده و خروجی آن به موتور الکتریکی القایی منتقل می‌شود. در این حالت بیشینه ولتاژ فرکانس خروجی VFD توسط منبع تغذیه مشخص می‌شود. در ادامه نحوه عملکرد هر کدام از این اجزا مختصراً بیان می‌شود.

۳-۲- کاربردها و مزایای اقتصادی سیستم‌های VFD

استفاده از سیستم VFD بهترین راه برای کاهش مصرف انرژی در موتورهای الکتریکی است. مصرف انرژی موتورهای الکتریکی ۷۵٪ انرژی مصرفی کارخانه‌ها را شامل می‌شود. حدود دوسوم موتورهای الکتریکی استفاده شده در صنایع از فن‌ها و پمپ‌هایی استفاده می‌کنند که نیاز به سرعت ثابتی ندارند [۴]. یک تغییر جزئی در سرعت موتور می‌تواند تأثیر بسزایی در انرژی مصرفی سیستم داشته باشد. استفاده از سیستم VFD امکان کاهش ۱۵٪ الی ۴۰٪ مصرف انرژی و نیز بهبود عمر کارکرد دستگاه را فراهم می‌کند [۵]. هزینه نصب یک سیستم VFD نسبتاً بالا است و بسته به اندازه موتور در بازه ۳۰۰۰ دلار برای موتور ۵ اسب بخار تا ۴۵۰۰۰ دلار برای موتور ۳۰۰ اسب بخار است. برای توان‌های بالاتر هزینه VFD به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد. اما باید توجه داشت که این هزینه در دوره کوتاهی از طریق کاهش مصرف انرژی برگشت داده می‌شود. مدت زمان بازگشت سرمایه بسته به توان موتور و کاربرد آن متفاوت است، برای نمونه مدت زمان بازگشت سرمایه در توان‌های ۲۵ تا ۲۵۰ اسب بخار بسته به کاربرد بین چند ماه تا ۳ سال است Error! Reference source not found. به علاوه سیستم‌های VFD توانایی کنترل همزمان چندین موتور را دارند و این مساله موجب کاهش هزینه‌های مصرفی می‌شود. یکی از مهم‌ترین صنایعی که به‌طور گسترده از تجهیزات دوار (مانند پمپ، فن و کمپرسور) استفاده می‌کند و نیاز مبرم به تغییر دور در این تجهیزات دارد، صنایع نفت و گاز است. با توجه به توان بالای تجهیزات دوار استفاده شده در صنایع نفت و گاز، مقدار قابل توجه انرژی مصرفی و قابلیت بالای بهبود بازده در آن‌ها استفاده از تجهیزات دور متغیر در این صنایع از اهمیت بالایی برخوردار است. در سال ۲۰۰۸ مطالعه‌ای کمی برای بهبود بازده انرژی به دلیل استفاده از VFD در پالایشگاه سانفرانسیسکو انجام گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد با به کار بردن این سیستم ۵۰۰۰۰۰ کیلووات در ماه در مصرف انرژی صرفه‌جویی شده که سود کلی حاصل از آن ۷۵۰۰۰۰ دلار بوده است [۴].

۴- بخش سوم

الگوریتم انتخاب بهترین گزینه‌ی تغییر دور از میان کوپلینگ هیدرولیکی و سیستم VFD

۴-۱- مقایسه‌ی مزایا و محدودیت‌های فنی و اقتصادی سیستم‌های تغییر دور هیدروکوپلینگ و VFD

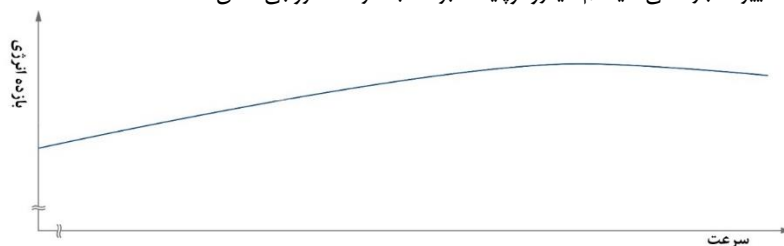
در این بخش مزایا و محدودیت‌های عمده‌ی فنی و اقتصادی برای سیستم‌های تغییر دور هیدروکوپلینگ و VFD که باید هنگام طراحی و انتخاب روش تغییر دور مورد توجه قرارگیرند ارائه شده است. توجه به این مزایا و محدودیت‌ها و مقایسه‌ی آن با داده‌های اولیه مربوط به شرایط کاری سیستم تغییر دور گام نخست در انتخاب روش مناسب برداشت است و باید به دقت ارزیابی شود.

۴-۱-۱- مزایا و محدودیت‌های سیستم تغییر دور هیدروکوپلینگ

- هزینه‌ی سرمایه‌گذاری اولیه: بدیهی است که هزینه‌ی تامین کوپلینگ‌های هیدرولیکی به عوامل مختلفی چون ماکزیمم توان قابل انتقال توسط کوپلینگ، مدل کوپلینگ، شرکت سازنده، شرایط عملیاتی کوپلینگ و هزینه‌های مربوط به زیرساخت آن مربوط می‌شود. برای نمونه هزینه‌ی یک کوپلینگ هیدرولیکی ۸ مگاواتی Vorecon محصول شرکت

کمپانی شناخته شده Voith بنا به اعلام نمایندگی آن شرکت در تهران، در حدود یک میلیون یورو می‌باشد که هزینه‌ی قابل توجهی است. علاوه بر این باید هزینه‌های مربوط به زیر ساخت نیز در نظر گرفته شود، که در این مورد کوپلینگ‌های هیدرودینامیکی به دلیل عدم نیاز به توان الکتریکی، حجم فضای اشغالی کم و عدم نیاز به اتاق‌های کنترل خاص که بخش اجتناب‌ناپذیر در سیستم‌های VFD است، هزینه‌ی کمتر از سیستم‌های VFD است.

بازده انرژی سیستم: بازده انرژی سیستم‌های تغییر دور با کوپلینگ‌های هیدرولیکی بسیار بالا است. در برخی از ساختارها که از ترکیب این سیستم با گیربکس‌های مکانیکی استفاده می‌شود، مانند سیستم Vorecon ارائه شده توسط شرکت Voith بازدهی انرژی بالای ۹۵ درصد نیز گزارش شده است. البته باید توجه داشت که بازدهی انرژی به سرعت خروجی سیستم و میزان تغییر دور بستگی دارد، به طوری که با کاهش سرعت دور خروجی به سرعت ورودی بازدهی کاهش می‌یابد. این مساله به دلیل افزایش لغزش در کوپلینگ، که موجب افزایش اتلاف ناشی از اصطکاک و شوک می‌شود، در سیستم اتفاق می‌افتد. به علاوه بازدهی انرژی در سرعت‌های خروجی بسیار بالا نیز کاهش خواهد داشت. در شکل ۴ رفتار کلی تغییرات بازدهی سیستم هیدروکوپلینگ برحسب سرعت خروجی نشان داده شده است.



شکل ۴- شمای کلی تغییرات بازده انرژی کوپلینگ هیدرولیکی بر حسب سرعت خروجی

قابلیت اطمینان^۱: سیستم‌های تغییر دور هیدرودینامیکی برای طول عمرهای بسیار طولانی طراحی می‌شوند. قابلیت اطمینان این سیستم‌ها قبل از هرچیز به کمپانی تولید کننده بستگی دارد، اما با توجه به سابقه‌ی طولانی استفاده از این کوپلینگ‌ها و دانش علمی و تجربی انباشته شده در طول این سال‌ها قابلیت اطمینان بسیار بالایی دارند. به عنوان نمونه شرکت Voith به عنوان یکی از کمپانی‌های شناخته شده و پیشرو در تولید این کوپلینگ‌ها قابلیت اطمینان ۹۹,۹۸ درصد را برای محصولات خود گزارش داده است. این سیستم‌های هیدرودینامیکی در مقابل شوک و ارتعاش بسیار مقاوم بوده و فرسایش در آن‌ها ناچیز است. متوسط زمان بین خرابی^۲ (MTBF) این سیستم‌ها ۴۸ سال است و طول عمر آن‌ها در حدود ۳ برابر درایوهای الکتریکی فرکانس متغیر (VFD) است.

تعمیر و نگهداری: کوپلینگ‌های هیدرودینامیکی دورمتغیر هزینه‌ی تعمیر و نگهداری پایینی دارند و بازه‌ی زمانی بین اورهال^۳ آن‌ها بسیار بالا، در حدود ۸ سال، است. این امر تضمین کننده‌ی هزینه‌ی عملیاتی پایین این سیستم‌ها است.

محدودیت فضای نصب: کوپلینگ‌های هیدرودینامیکی یک مجموعه‌ی بهم پیوسته شامل: هیدروکوپلینگ، سیستم کنترل سرعت، مدار تامین هیدرولیک و خنک‌کننده و در برخی موارد یک گیربکس مکانیکی هستند. از این رو، این سیستم‌ها نیاز به فضای محدودتری نسبت به سیستم‌های تغییر دور با VFD دارند، به طوری که در برخی کاتالوگ‌ها گزارش شده که فضای اشغال شده توسط این سیستم‌ها در حدود ۶۰ درصد کمتر از سیستم‌های VFD است. این مساله موجب کاهش فضای لازم برای نصب می‌شود و در نتیجه هزینه‌های مربوط به تامین زیرساخت^۴ را کاهش می‌دهد. این موضوع در میادین دریایی که هزینه‌ی زیرساخت آن‌ها قابل توجه است، بسیار قابل ملاحظه خواهد بود.

محدودیت تغییر دور: همان‌طور که در بخش قبل نیز تشریح شد، تغییر دور خروجی تاثیر قابل توجهی بر روی عملکرد کوپلینگ هیدرولیکی خواهد داشت. این مساله به این صورت است که در دوره‌های پایین میزان لغزش^۵ در کوپلینگ زیاد

۱- Reliability

۲- Mean Time Between Failure

۳- Overhaul

۴- Infrastructure

۵- Slip

شده و این موضوع موجب افزایش اتلاف ناشی از اصطکاک سیال و شوک می‌شود و بازدهی انرژی سیستم را کاهش می‌دهد. به طوری که در لغزش‌های بالای ۳۰ درصد اتلاف انرژی به شدت افزایش می‌یابد.

- دسترسی به توان الکتریکی: کوپلینگ‌های هیدرودینامیکی نیاز به توان الکتریکی چندانی ندارند و دسترسی به جریان ۴ تا ۲۰ میلی‌آمپر برای سیستم کنترل سرعت کوپلینگ کافی است. پمپ مجموعه‌ی سیستم خنک کننده و روان‌کار می‌تواند از طریق محرک اصلی درایو شود و نیازی به توان الکتریکی برای تغذیه‌ی آن نیست. بنابراین در شرایطی که دسترسی به توان الکتریکی دشوار است، این روش تغییر دور بسیار مناسب است.
- شرایط محیطی: اگرچه کوپلینگ‌های هیدرولیکی قابلیت کارکرد در محیط‌های بسیار خشن و در حضور رطوبت، گرد و غبار و ذرات جامد را دارند، اما عملکرد آن‌ها با تغییر دمای محیطی به دلیل تغییر در ویسکوزیته و رفتار روغن متفاوت خواهد بود.
- اپراتور: کوپلینگ‌های هیدرولیکی بر خلاف سیستم‌های VFD نیاز به اپراتور ماهر ندارند و کار کردن با آن‌ها برای اپراتورهای فنی بسیار آسان‌تر است.
- کنترل سرعت: عملکرد کوپلینگ‌های هیدرولیکی در کنترل دینامیکی دور به دلیل سرعت پاسخ پایین آن‌ها ضعیف‌تر از سیستم‌های VFD است. زمان عکس‌العمل کوپلینگ‌های هیدرولیکی جهت تغییر سرعت در حدود ۲ الی ۴ دقیقه است و این زمان صرف تزریق روغن به دورن کوپلینگ و تغییر در گشتاور اعمالی از پروانه به توربین می‌شود. بنابراین کوپلینگ‌های هیدرولیکی برای مواقعی که کنترل دقیق و سریع دور اهمیت بالایی داشته باشد، گزینه‌ی مناسبی نخواهند بود.
- توان ورودی: استفاده از کوپلینگ‌های هیدرودینامیکی برای کنترل دور تجهیزات دوار، در توان‌های ورودی پایین از نظر اقتصادی به صرفه نیست. این کوپلینگ‌ها برای توان‌های ورودی از ۱ تا ۵۰ مگاوات گزینه‌ی مناسبی هستند.
- گستره‌ی محرک‌ها: کوپلینگ‌های هیدرولیکی می‌توانند برای تغییر دور در تجهیزات دوار مختلف شامل موتورهای الکتریکی، توربین، موتورهای دیزلی و... استفاده شوند.
- تعداد محرک‌های قابل کنترل: کوپلینگ‌های هیدرولیکی توان کنترل دور چند محرک را ندارند و هر محرک باید یک کوپلینگ مجزا برای خود داشته باشد. این مساله در برخی موارد می‌تواند تاثیر قابل توجهی در هزینه‌ها داشته باشد.
- تامین: گرچه کمپانی‌های سازنده‌ی کوپلینگ‌های هیدرولیکی شناخته شده و خوشنام هستند، اما تعداد گزینه‌های موجود برای تامین کوپلینگ‌های هیدرولیکی بسیار محدود بوده و در شرایط تحریمی به هیچ وجه گزینه‌ی ایده‌آلی نیستند.

۴-۱-۲- مزایا و محدودیت‌های استفاده از داریوهای فرکانس متغیر (VFD) جهت تغییر دور

هزینه‌ی اولیه: هزینه‌ی تامین سیستم‌های VFD به عوامل مختلفی چون ماکزیمم توان قابل انتقال توسط سیستم، شرکت سازنده، شرایط عملیاتی و هزینه‌های مربوط به زیرساخت آن مربوط می‌شود. برای نمونه شرکت مشاوره مهندسی سازه در پروژه‌ی میدان نفتی هما هزینه‌ی مربوط به ۱۲ عدد سیستم VFD محصول کمپانی‌های معتبر غرب اروپایی با توان ورودی ۷,۶ مگاوات را ۳۲۵۰۸۰۰۰۰۰۰ ریال (معادل حدود ۲,۵ میلیون یورو) تخمین زده است. در آن صورت هزینه‌ی تامین هر سیستم VFD در حدود ۲۱۰ هزار یورو خواهد بود که اگرچه عدد قابل ملاحظه‌ای است اما به مقدار زیادی از هزینه‌ی تامین کوپلینگ هیدرولیکی مدل Vorecon محصول شرکت Voith کمتر است. البته به این مقدار باید هزینه‌ی مربوط به زیرساخت شامل هزینه‌های مربوط به اتاق کنترل و سیستم تامین برق را اضافه کرد که می‌تواند مقدار قابل توجهی باشد. برای مثال در همین پروژه‌ی مربوط به میدان گازی هما، به دلیل دشوار بودن دسترسی به توان الکتریکی هزینه‌ی مربوط به انتقال و ایجاد پست برق مورد نیاز سیستم و تعمیر و نگهداری این تجهیزات به مدت ۱۱ سال در حدود ۲۱۲۷۲۵۳۰۰۰۰ ریال (معادل حدود ۱۶ میلیون یورو) تخمین زده شده است که از هزینه‌ی مربوط به تامین ۱۲ عدد سیستم VFD بسیار بیشتر است.

بازدهی انرژی: سیستم‌های VFD بازدهی انرژی قابل توجهی دارند به طوری که بازدهی آن‌ها در بسیاری کاربردها در حدود ۹۹ درصد محاسبه شده است. البته با در نظر گرفتن اتلاف انرژی در حدود ۱ درصدی برای سیستم خنک کننده و تهویه‌ی اتاق کنترل و نیز اتلاف انرژی ترانسفرمر و فیلترها بازدهی را می‌توان حدود ۹۷ درصد تخمین زد.

قابلیت اطمینان: قابلیت اطمینان سیستم‌های VFD بستگی به کاربرد آن‌ها دارد، زیرا برای هر کاربرد اندازه و نوع تنش‌های منجر به آسیب سیستم متفاوت خواهد بود. شناخت دقیق شرایط عملیاتی و تخمین قابلیت اطمینان تحت آن شرایط برای استفاده‌ی مناسب و دست‌یابی به طول عمر مناسب این سیستم‌ها، ضروری است. بررسی تاریخچه‌ی فنی مشخصات عملیاتی سیستم‌های VFD برای کاربردهای مختلف، موجب تعریف دقیق از بدترین حالت تنش‌های منجر به آسیب برای سیستم می‌شود. به منظور

تخمین متوسط زمان بین خرابی (MTBF) و مدت زمانی که انتظار می‌رود ۱۰ درصد از این سیستم‌ها در بدترین حالت دچار خرابی شوند ($10L$)، یک تست نمایش قابلیت اطمینان^۱ (RDT) انجام می‌شود. این اطلاعات به توسعه‌ی مدل‌های قابلیت اطمینان پیش‌بینی شده^۲ برای سیستم‌های VFD برای کاربردهای مختلف کمک می‌کند. توضیحات مفصل در این زمینه، در مرجع [۷] آمده است.

برای طراحی یک سیستم VFD با قابلیت اطمینان بالا، شناخت شرایط بار اعمالی بر سیستم ضروری است. به علاوه، ریسک‌های قابلیت اطمینان مرتبط با تنش‌های محیطی مانند: رطوبت بسیار بالا، آلودگی محیط، دمای محیطی بالا، سیکل حرارتی اتاق کنترل VFD، شوک، ارتعاش و کیفیت توان الکتریکی تاثیر قابل توجهی بر تخمین قابلیت اطمینان سیستم‌های VFD دارند. برای طراحی سیستم مقاوم، کاربرد مناسب و عملکرد مطمئن سیستم‌های VFD تاثیر هر دو عامل عملیاتی و محیطی باید در نظر گرفته شود. به منظور بهبود قابلیت اطمینان سیستم‌های VFD فراهم کردن شرایط محیطی مناسب شامل یک اتاق کنترل جهت محافظت در شرایط محیطی خشن مانند: گرد و خاک و رطوبت بالا، محافظت از تابش مستقیم آفتاب و سیستم تهویه جهت کنترل دمای تجهیزات لازم است. برخی مراجع ادعا کرده‌اند که تحت این شرایط سیستم VFD آن‌ها توان دستیابی به MTBF تا ۲۳ سال را دارا است.

جدول ۱- تخمین مقادیر $10L$ و MTBF با دقت ۹۰ درصد را برای دماهای مختلف موتور نشان می‌دهد [۷].

دمای موتور	$10L$ (سال)	MTBF (سال)
۵۰	۲۸,۸۷	۳۷۴
۶۰	۱۳,۵۷	۱۲۸,۷۹
۷۰	۶,۶۵	۶۳,۱۱
۸۰	۳,۴	۳۲,۲۷
۹۰	۱,۸۱	۱۷,۱۳

- تعمیر و نگهداری: گرد و خاک، رطوبت و شل بودن اتصالات دلیل اصلی آسیب دیدن سیستم‌های VFD هستند. به علاوه فن‌های استفاده شده در سیستم تهویه، تنها قطعات متحرک در این مجموعه می‌باشند که نیاز به بررسی، و در صورت نیاز تعویض، دارند. بنابراین تعمیر و نگهداری پیشگیرانه مانند: تمیز کردن با هوای خشک، چک کردن کانکشن‌ها و سفت کردن آن‌ها با گشتاور پیشنهاد شده و جایگزین کردن فن می‌تواند از آسیب رسیدن به سیستم حین عملیات جلوگیری کند. بازه‌ی زمانی که معمولاً برای اورهال این سیستم‌ها در نظر گرفته می‌شود در حدود ۴ سال است. اگرچه این بازه عدد بالایی به نظر می‌رسد، اما تقریباً نصف بازه‌ی زمانی اورهال کوپلینگ‌های هیدرولیکی است.
- محدودیت فضای نصب: سیستم‌های VFD به دلیل استفاده از تعداد زیادی قطعات الکتریکی و کانکتورهای حجیم، به ویژه برای مواقعی که توان موتور بسیار بالا باشد، و همچنین نیاز به اتاق کنترل با شرایط محافظت شده و سیستم تهویه فضای بیشتری نسبت به کوپلینگ‌های هیدرولیکی اشغال می‌کنند. در یک توان ورودی برابر حجم اشغال شده توسط یک سیستم VFD در حدود ۲,۵ برابر یک کوپلینگ هیدرولیکی است.
- محدودیت تغییر دور: محرک‌های الکتریکی دور متغیر توسط سیستم‌های VFD قادرند در محدوده وسیعی نسبت به سرعت نامی خود، بدون آن که تغییر قابل ملاحظه‌ای در بازدهی انرژی آن‌ها صورت گیرد، به کار خود ادامه دهند. این ویژگی یکی از عمده‌ترین مزایای سیستم‌های VFD نسبت به سایر روش‌های تغییر دور است.
- دسترسی به توان الکتریکی: از آنجایی که سیستم‌های VFD فقط برای کنترل دور محرک‌های الکتریکی استفاده می‌شوند، دسترسی به توان الکتریکی بالا جهت تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز برای این سیستم‌ها اجتناب ناپذیر است. این یکی از محدودیت‌های مهم سیستم‌های VFD است که همواره باید مورد توجه قرار گیرد، به ویژه در شرایطی که دسترسی به این توان الکتریکی بالا دشوار یا پرهزینه باشد؛ مانند میدان دریایی و یا مناطق دور افتاده که نیاز به احداث پست برق و هزینه‌ی انتقال برق قابل توجهی دارند.

1- Reliability Demonstration Test

2- Predictive Reliability Models

- شرایط محیطی: رطوبت و گردوخاک موجب آسیب رسیدن به کانتکشن‌های سیستم‌های VFD می‌شود، بنابراین این سیستم‌ها در اتاق‌هایی با شرایط کنترل شده محافظت می‌شوند. به علاوه دمای موتور همان‌طور که در بخش مربوط به قابلیت اطمینان نیز به آن اشاره شد، یکی از مهمترین عوامل تاثیرگذار در کارکرد و طول عمر سیستم‌های VFD است. به منظور کنترل دمای این سیستم‌ها یک سیستم تهویه داخل اتاق کنترل تعبیه می‌شود. عملکرد مناسب سیستم‌های VFD به میزان کارایی این اتاق‌های کنترل در شرایط محیطی خشن بستگی دارد. بنابراین اتاق‌های کنترل باید با کیفیت بالا طراحی شده و به صورت دوره‌ای بازرسی شوند تا از آسیب رسیدن به سیستم جلوگیری به عمل آورده شود. همه‌ی این موارد گفته شده موجب بالا رفتن هزینه‌ی اولیه و عملیاتی سیستم خواهد شد.
- اپراتور: سیستم‌های VFD به دلیل نو بودن تکنولوژی و پیچیدگی تجهیزات نیاز به اپراتور ماهر دارند. این مساله موجب می‌شود استفاده از این سیستم‌ها در شرایطی که دسترسی به نیروی کار ماهر دشوار باشد، با محدودیت‌هایی همراه شود.
- کنترل سرعت: سیستم‌های VFD دقت و سرعت عمل بالایی در کنترل دور محرک الکتریکی دارند و این مساله باعث می‌شود که برای مواقعی که کنترل دقیق و سریع دور اهمیت بالایی داشته باشد، گزینه‌ی مناسبی باشند.
- توان ورودی: سیستم‌های VFD قابلیت استفاده در گستره‌ی وسیعی از توان‌ها، از کمپرسور یخچال‌های خانگی و سیستم تهویه‌ی ساختمان تا توان‌های بسیار بالا (تا حدود ۹۰ مگاوات)، را دارند. اگرچه تکنولوژی بکار رفته در سیستم‌های توان پایین با VFDهای توان بالا، به دلیل شرایط کاری و ولتاژ و جریان بسیار متفاوت، فرق دارد؛ اما اصول عملکردی آن‌ها یکسان است.
- گستره‌ی محرک‌ها: سیستم‌های VFD فقط قابلیت استفاده در محرک‌های الکتریکی را دارا هستند.
- تعداد محرک‌های قابل کنترل: سیستم‌های VFD می‌توانند چند خروجی داشته باشند و توانایی کنترل همزمان چند موتور الکتریکی را داشته باشند. این مساله موجب کاهش قابل توجهی در هزینه‌های اولیه و عملیاتی می‌شود.
- تامین: تعداد کمپانی‌های سازنده‌ی سیستم‌های VFD نسبت به کویلینگ‌های هیدرولیکی بسیار بیشتر بوده و این مساله موجب می‌شود که دسترسی به زنجیره‌ی تامین و نگهداری در شرایط تحریم به نسبت آسان‌تر باشد.

۳-۱-۴- مقایسه‌ی مزایا و معایب کویلینگ‌های هیدرولیکی و سیستم‌های VFD

- هزینه‌ی اولیه: همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، هزینه‌ی اولیه به عوامل مختلفی چون ماکزیمم توان قابل انتقال توسط سیستم، شرکت سازنده، شرایط عملیاتی و هزینه‌های مربوط به زیرساخت آن مربوط می‌شود. اما با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش‌های قبل می‌توان در حالت کلی چنین گفت که اگرچه هزینه‌ی تامین کویلینگ هیدرولیکی ممکن است بیشتر از سیستم VFD باشد، اما هزینه‌های مربوط به تامین زیرساخت سیستم VFD به دلیل نیاز به توان الکتریکی بالا، اتاق کنترل برای تجهیزات برقی و اشغال فضای زیادتر، بیشتر است. بنابراین برای مقایسه‌ی دقیق‌تر باید مجموع این هزینه‌ها با توجه به شرایط با هم مقایسه شوند.
- بازده انرژی: مقایسه‌ی بازده انرژی کویلینگ هیدرولیکی و سیستم VFD به عوامل مختلفی از جمله شرایط کاری آن‌ها و شرکت سازنده بستگی دارد. اما در حالت کلی در صورتی که سرعت خروجی کاهش یابد میزان لغزش در کویلینگ هیدرولیکی افزایش یافته و بازده انرژی آن را کاهش می‌دهد در حالی که بازده انرژی سیستم‌های VFD در دوره‌های پایین تغییر زیادی نمی‌کند. بنابراین می‌توان گفت که در دوره‌های پایین بازده انرژی کویلینگ هیدرولیکی کمتر از سیستم VFD است. در دیگر شرایط بازده انرژی این دو سیستم با درنظر گرفتن اتلاف ناشی از ترانسفورمر، فیلترها و سیستم تهویه در سیستم‌های VFD تقریباً یکسان است و حتی در برخی شرایط بازده انرژی کویلینگ‌های هیدرولیکی اندکی بیشتر است.
- قابلیت اطمینان: همان‌طور که انتظار می‌رود، قابلیت اطمینان به شرایط عملیاتی و کمپانی سازنده‌ی سیستم‌ها بستگی دارد. در شرایط مشابه و با فرض معتبر بودن کمپانی‌های سازنده کویلینگ‌های هیدرولیکی به طور متوسط قابلیت اطمینان بالاتری نسبت به سیستم‌های VFD دارند، به نحوی که MTBF کویلینگ‌های هیدرولیکی به‌طور متوسط ۴۸ سال است که بیش از دو برابر سیستم‌های VFD است، که با فرض نگهداری مناسب در MTBF آن‌ها در حدود ۲۳ سال در نظر گرفته شده است.
- تعمیر و نگهداری: در شرایط یکسان هزینه‌ی تعمیر و نگهداری اتاق کنترل و تجهیزات سیستم VFD به طور معمول بیشتر از کویلینگ‌های هیدرولیکی است. به علاوه زمان بین اورهال سیستم‌های VFD چهار سال است که نصف زمان

هشت سال بین اورهال کپلینگ‌های هیدرولیکی است و این مساله تاثیر مضاعفی در بالا رفتن هزینه‌های تعمیر و نگهداری این سیستم‌ها نسبت به کپلینگ‌های هیدرولیکی دارد.

- محدودیت فضای نصب: سیستم‌های VFD به دلیل استفاده از تعداد زیادی قطعات الکتریکی و کانکتورهای حجیم، به ویژه برای مواقعی که توان موتور بسیار بالا باشد، و همچنین نیاز به اتاق کنترل با شرایط محافظت شده و سیستم تهویه فضای بیشتری نسبت به کپلینگ‌های هیدرولیکی اشغال می‌کنند. در یک توان ورودی برابر حجم اشغال شده توسط یک سیستم VFD در حدود ۲,۵ برابر یک کپلینگ هیدرولیکی است.

- دسترسی به توان الکتریکی: از آنجایی که سیستم‌های VFD فقط برای کنترل دور محرک‌های الکتریکی استفاده می‌شوند، دسترسی به توان الکتریکی بالا جهت تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز برای این سیستم‌ها اجتناب ناپذیر است. در طرف مقابل کپلینگ‌های هیدرولیکی تنها نیاز به یک جریان ۴ تا ۲۰ میلی‌آمپری جهت کنترل حجم سیال داخل کپلینگ و در نتیجه سرعت خروجی دارند. بنابراین در شرایطی که دسترسی به توان الکتریکی با دشواری و هزینه‌های قابل توجهی همراه است؛ مانند: مناطق دور افتاده یا میداین دریایی استفاده از کپلینگ‌های هیدرولیکی از نظر اقتصادی به صرفه‌تر خواهد بود.

- شرایط محیطی: با توجه به حساس بودن قطعات الکتریکی همان‌طور که انتظار می‌رود سیستم‌های VFD در برابر شرایط محیطی خشن ضعیف‌تر از کپلینگ‌های الکتریکی خواهند بود. البته این مساله با طراحی اتاق‌های کنترل مناسب برای سیستم‌های VFD تا حد زیادی پوشش داده می‌شود. از طرفی ذکر این نکته نیز ضروری است که کپلینگ‌های هیدرولیکی به دلیل تغییرات در ویسکوزیته‌ی روغن حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات در دمای محیطی دارند.

- اپراتور: همان‌طور که قبلاً اشاره شد، سیستم‌های VFD به دلیل نو بودن تکنولوژی و پیچیدگی تجهیزات نیاز به اپراتور ماهر دارند. این مساله موجب می‌شود استفاده از این سیستم‌ها در شرایطی که دسترسی به نیروی کار ماهر دشوار باشد، با محدودیت‌هایی همراه شود. در مقابل کپلینگ‌های هیدرولیکی به دلیل استاندارد بودن تجهیزات و پیشینه‌ی کاربرد آن در صنایع مختلف، نیازی به اپراتور ماهر ندارند.

- کنترل سرعت: سرعت پاسخ و دقت سیستم‌های VFD در کنترل دور در مقایسه با کپلینگ‌های هیدرولیکی بهتر است و در مواردی که کارایی سیستم به شدت وابسته به سرعت و دقت عملکرد سیستم تغییر دور باشد سیستم‌های VFD گزینه‌ی مطلوب‌تری هستند.

- توان ورودی: هر دو روش تغییر دور توسط هیدروکپلینگ و سیستم‌های VFD قابلیت استفاده در توان‌های بسیار بالا تا حد چند ده مگاوات را دارند، اما سیستم‌های VFD در توان‌های پایین، در بازه‌ی کمتر از مگاوات، از نظر اقتصادی گزینه‌ی مطلوب‌تری هستند.

- گستره‌ی محرک‌ها: کپلینگ‌های هیدرولیکی می‌توانند برای تغییر دور در تجهیزات دوار مختلف شامل موتورهای الکتریکی، توربین، موتورهای دیزلی و... استفاده شوند، اما سیستم‌های VFD تنها برای تغییر دور در موتورهای الکتریکی استفاده می‌شوند.

- تعداد محرک‌های قابل کنترل: همان‌طور که پیشتر اشاره شد، سیستم‌های VFD می‌توانند چند خروجی داشته باشند و توانایی کنترل هم‌زمان چند موتور الکتریکی را داشته باشند. این مساله موجب کاهش قابل توجهی در هزینه‌های اولیه و عملیاتی می‌شود. در مقابل کپلینگ‌های هیدرودینامیکی تنها توانایی کنترل دور خروجی یک محرک را دارند.

- تامین: تعداد کمپانی‌های سازنده‌ی سیستم‌های VFD نسبت به کپلینگ‌های هیدرولیکی بسیار بیشتر بوده و این مساله موجب می‌شود که دسترسی به زنجیره‌ی تامین و نگهداری در شرایط تحریم به نسبت آسان‌تر باشد.

- هزینه‌های عملیاتی: با توجه به قابلیت اطمینان بالا و طولانی بودن بازه‌ی زمانی برای اورهال کلی در کپلینگ‌های هیدرولیکی نسبت به سیستم‌های VFD، هزینه‌های عملیاتی این سیستم‌ها پایین‌تر است. در مقابل سیستم‌های VFD به دلیل داشتن تعداد زیادی المان‌های الکتریکی و نیاز به اپراتور ماهر هزینه‌های عملیاتی بالاتری دارند. به علاوه هزینه‌های مربوط به نگهداری از زیرساخت‌ها مانند: اتاق کنترل و هزینه‌ی انتقال برق که در سیستم‌های VFD اجتناب‌ناپذیر است نیز موجب بالا رفتن هزینه‌های عملیاتی سیستم‌های VFD می‌شود.

۴-۲- ارائه معیارها و الگوریتم تصمیم‌گیری

استفاده از روش‌های تغییر دور در تجهیزات دوار مورد استفاده در صنایع نفت و گاز موجب بهبود بازده و نیز افزایش طول عمر تجهیزات می‌شود. با توجه به توان بالای پمپ‌ها، کمپرسورها و سایر تجهیزات دوار مورد استفاده در صنایع نفت و گاز، بهبود بازده تاثیر قابل توجهی در کاهش هزینه‌های عملیاتی ناشی از مصرف انرژی شده و معمولاً این تجهیزات از محل کاهش هزینه‌های عملیاتی در بازه‌ی چند ساله و حتی گاهی چند ماهه هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه برای خرید تجهیزات مورد نیاز را جبران می‌کنند. برای نمونه می‌توان به دوره‌ی بازگشت سرمایه‌ی استفاده از این تجهیزات در صنایع مختلف که در بخش ۱ همین پژوهش آمده است، اشاره کرد. دو روش متداول برای تغییر دور در تجهیزات دوار با توان بالا، استفاده از کویلینگ‌های هیدرونیامیکی و سیستم‌های VFD است.

انتخاب مناسب روش تغییر دور در ابتدای پروژه بسیار حائز اهمیت است، زیرا پس از آنکه روش تغییر دور انتخاب شد، بازنگری در آن به منظور بررسی بهینه بودن روش در گذر زمان به ندرت اتفاق می‌افتد. به علاوه تغییر روش موجود معمولاً بسیار پرهزینه است و در بیشتر مواقع از آن اجتناب می‌شود. بنابراین انتخاب روش مناسب در ابتدا و در نظر گرفتن تغییرات شرایط در گذر زمان بسیار مهم است. این موضوع نیاز به بحث و بررسی مفصل بین افراد تمامی این گروه‌های فعال در پروژه دارد.

به منظور یافتن بهترین روش برای تغییر دور باید روش بهینه با توجه به معیارهای فنی و اقتصادی انتخاب شود. روش‌های مختلفی در گذشته برای انتخاب بهترین گزینه‌ی تغییر دور معرفی شده‌اند. از جمله‌ی این الگوریتم‌های انتخاب می‌توان به روش‌هایی مانند: تجربه‌ی اپراتور، در دسترس بودن با توجه به شرایط منطقه و جهانی، روش‌های به کار گرفته شده در کاربردهای مشابه، در نظر گرفتن شرایط استفاده مانند توان سیستم و شرایط محیطی، ارزیابی لیستی از مزایا و محدودیت‌های هر کدام از روش‌های تغییر دور، استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی برای حذف یا انتخاب روش‌ها و در نظر گرفتن هزینه‌ها مانند هزینه‌ی اولیه و هزینه‌ی عملیات و استفاده از معیارهای اقتصادی انتخاب که معمولاً براساس معیار ارزش فعلی است، اشاره کرد. در ادامه مراحل انتخاب روش بهینه‌ی تغییر دور با توجه به الگوریتم ارائه شده در این پروژه آمده است.

۴-۲-۱- تعیین معیارهای ارزیابی

پس از تعریف دقیق مساله بایستی معیارهای اثر گذار در هدف مساله که امکان جمع‌آوری اطلاعات آن‌ها وجود دارد، تعیین شود. این معیارها در مساله‌ی ما با توجه به مقایسه‌ی مزایا و محدودیت‌های دو روش تغییر دور با استفاده از هیدروکوپلینگ و سیستم VFD که در بخش قبل ارائه شده بود تعیین می‌شود، که به شرح زیر است:

- | | | |
|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| • هزینه‌ی سرمایه‌گذاری اولیه | • محدودیت فضای نصب | • کنترل سرعت |
| • بازده انرژی سیستم | • محدودیت تغییر دور | • توان ورودی |
| • قابلیت اطمینان | • دسترسی به توان الکتریکی | • گسترده‌ی محرک‌ها |
| • هزینه‌های عملیاتی | • شرایط محیطی | • تعداد محرک‌های قابل کنترل |
| • تعمیر و نگهداری | • اپراتور | • تامین |

۴-۲-۲- تعیین گزینه‌ها

گزینه‌ها یا از قبل مشخص بوده و فقط لازم است تا در مورد آن‌ها تصمیم‌گیری شود و یا اینکه با تحقیق در دامنه‌ی مساله، مورد شناسایی قرار می‌گیرند و از بین آن‌ها گزینه‌هایی که قابلیت جمع‌آوری اطلاعات در مورد آن‌ها وجود داشته باشد برای تصمیم‌گیری انتخاب می‌شوند. در مساله‌ی ما دو گزینه وجود دارد: استفاده از کویلینگ‌های هیدرولیکی یا سیستم VFD است.

۴-۲-۳- تعیین روش امتیازدهی به معیارها

پس از تعیین گزینه‌ها و معیارهای تصمیم‌گیری، باید در مورد نحوه امتیازدهی به معیارها تصمیم‌گیری شود. انتخاب یک روش در این مرحله تعیین کننده‌ی روش‌های مورد استفاده در گام‌های بعدی نیز خواهد بود. با توجه به مزایای استفاده از روش ماتریس مقایسات زوجی در وزن‌دهی به معیارها ما در مساله‌ی پیش رو از این روش برای تعیین وزن معیارها استفاده نموده‌ایم.

۴-۲-۴- ارزیابی معیارها

پس تعیین معیارها و گزینه‌ها و انتخاب روش امتیازدهی به معیارها، اقدام به ارزیابی آن‌ها می‌شود. به این معنی که ماتریس مربوط به تصمیم‌گیری یا مقایسات زوجی با توجه به اطلاعات موجود به دقت تکمیل می‌شود. در مساله‌ی پیش رو ماتریس مقایسات زوجی، با توجه به موارد گفته شده در بخش‌های پیشین، به صورت نشان داده شده در جدول و تکمیل می‌شود.

۴-۲-۵- بی مقیاس سازی

همان گونه که قبلا نیز اشاره شد هر یک از معیارهای کمی دارای مقیاس اندازه گیری خاص خود هستند، که این کار مقایسه مقادیر آن ها با یکدیگر غیرممکن می سازد. بنابراین باید به طریقی آن ها را مستقل از واحد اندازه گیری کرد تا بتوان عمل مقایسه را انجام داد. با توجه به اینکه روش انتخابی در الگوریتم تصمیم گیری ما در این پروژه استفاده از ماتریس مقایسات زوجی (جدول ۲) است همان گونه که در چارت نیز نشان داده شده است، نیازی به بی مقیاس سازی نیست.

۴-۲-۶- تعیین وزن معیارها

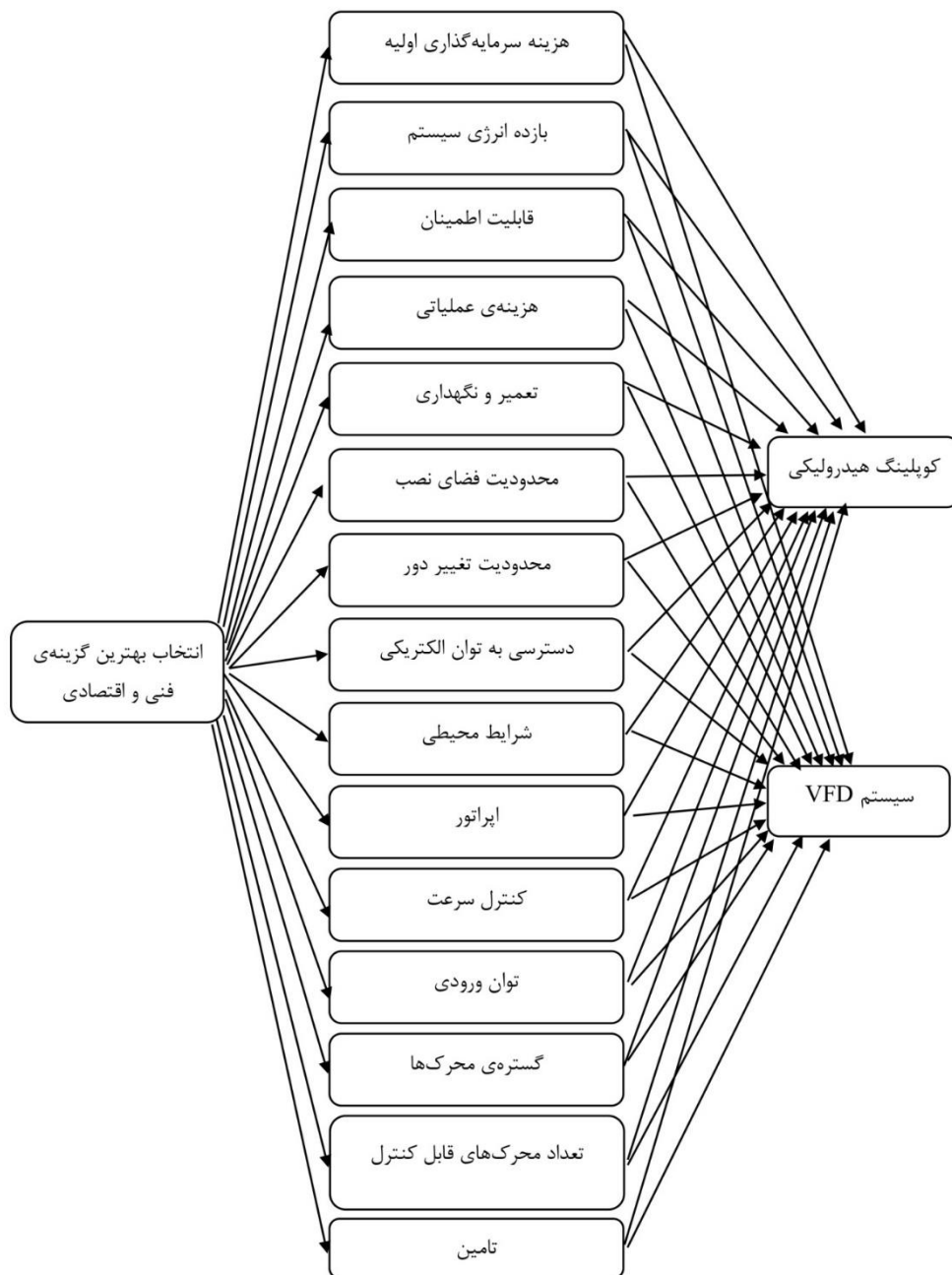
همانگونه که در الگوریتم تصمیم گیری نیز نشان داده شده است مرحله ی بعدی در مساله ی تصمیم گیری یافتن اهمیت نسبی معیارها نسبت به یکدیگر است. در فصل قبل روش تعیین وزن برای الگوریتم تحلیل سلسله مراتبی به تفصیل تشریح شده است.

۴-۲-۷- مدل های تصمیم گیری

آخرین گام در تصمیم گیری چند معیاره انتخاب یک مدل تصمیم گیری به منظور اولویت بندی و یا انتخاب معیارهاست. در این پروژه مدل تصمیم گیری بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی است که در بخش بعد مراحل آن به تفصیل شرح داده می شود.

جدول ۲- ماتریس مقایسات اولیه زوجی معیارها

نامین	تعداد محرک های قابل کنترل	گستره محرک ها	توان ورودی	کنترل سرعت	ایرئور	شرایط محیطی	دسترسی به توان الکتریکی	محدودیت تغییر دور	محدودیت فضای نصب	تعمیر و نگهداری	هزینه های عملیاتی	قابلیت اطمینان	بازده انرژی سیستم	هزینه سرمایه گذاری اولیه
۴	۷	۷	۵	۷	۵	۷	۴	۷	۷	۷	۱	۴	۴	۱
۲	۵	۷	۵	۵	۵	۵	۲	۵	۵	۵	۰.۵	۲	۱	۰.۱
۱	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۱	۵	۵	۴	۰.۳	۱	۱	۰.۱
۴	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۴	۷	۷	۷	۱	۴	۲	۱
۰.۲	۴	۵	۲	۴	۲	۲	۰.۲	۴	۲	۱	۰.۱۴	۰.۳	۰.۲	۰.۱
۰.۲۵	۴	۴	۱	۴	۱	۴	۰.۲۵	۲	۱	۰.۵	۰.۱۴	۰.۲	۰.۲	۰.۱
۰.۲	۴	۴	۱	۴	۱	۲	۰.۲	۱	۰.۵	۰.۳	۰.۱۴	۰.۲	۰.۲	۰.۱
۲	۷	۷	۵	۷	۵	۵	۱	۵	۴	۵	۰.۳	۱	۰.۵	۰.۱
۰.۲۵	۴	۴	۱	۴	۱	۱	۰.۲	۲	۰.۳	۰.۵	۰.۱۴	۰.۲	۰.۲	۰.۱
۰.۲	۴	۴	۱	۴	۱	۱	۰.۲	۲	۰.۳	۰.۵	۰.۱۴	۰.۲	۰.۲	۰.۱
۰.۲۵	۴	۴	۱	۴	۱	۱	۰.۲	۲	۰.۳	۰.۵	۰.۱۴	۰.۲	۰.۲	۰.۱



شکل ۵- ایجاد ساختار سلسله مراتبی

۴-۳-۲- محاسبه‌ی وزن‌ها

در فرآیند تشکیل ماتریس مقایسات زوجی عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و وزن آنها محاسبه می‌گردد؛ که این وزن‌ها را وزن نسبی می‌نامند. سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص می‌شود که به آن وزن مطلق می‌گویند. ماتریس مقایسات زوجی نرمال شده و وزن هر کدام از معیارها در این پروژه در جدول ۳ آمده است. با توجه به اینکه دو گزینه برای این پروژه تعریف شده است، ماتریس مقایسات زوجی و وزن گزینه‌ها برای هر معیار به سادگی بدست می‌آید. در جدول ۳ ماتریس مقایسات زوجی مربوط به گزینه‌ها برای هر معیار آمده است. نهایتاً وزن

۰,۰۲۷۹	۰,۰۱۰۴۵	۰,۰۲۵۸	۰,۰۲۸۳	۰,۰۱۸	۰,۰۲۸۵	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷۱	۰,۰۱۳۳	۰,۰۱۷
--------	---------	--------	--------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-------

جدول ۴- ماتریس مقایسات زوجی گزینه‌ها به همراه وزن آن‌ها

گزینه‌ی سویه‌ی گزاری اولیه	هیدرو کوپلیتیک	VFD	وزن گزینه‌ها	بازده انرژی سیستم	هیدرو کوپلیتیک	VFD	وزن گزینه‌ها	قابلیت اطمینان	هیدرو کوپلیتیک	VFD	وزن گزینه‌ها
هیدرو کوپلیتیک	1	2	0.66667	هیدرو کوپلیتیک	1	0.5	0.33333	هیدرو کوپلیتیک	1	3	0.75
VFD	0.5	1	0.33333	VFD	2	1	0.66667	VFD	0.333333333	1	0.25
گزینه‌های عملیاتی	هیدرو کوپلیتیک	VFD	وزن گزینه‌ها	تعمیر و نگهداری	هیدرو کوپلیتیک	VFD	وزن گزینه‌ها	محدودیت فضای نصب	هیدرو کوپلیتیک	VFD	وزن گزینه‌ها
هیدرو کوپلیتیک	1	3	0.75	هیدرو کوپلیتیک	1	3	0.75	هیدرو کوپلیتیک	1	3	0.75
VFD	0.333333333	1	0.25	VFD	0.333333333	1	0.25	VFD	0.333333333	1	0.25
محدودیت تغییر دور	هیدرو کوپلیتیک	VFD	وزن گزینه‌ها	دسترسی به توان الکتریکی	هیدرو کوپلیتیک	VFD	وزن گزینه‌ها	شرایط محیطی	هیدرو کوپلیتیک	VFD	وزن گزینه‌ها
هیدرو کوپلیتیک	1	0.3333333	0.25	هیدرو کوپلیتیک	1	7	0.875	هیدرو کوپلیتیک	1	3	0.75
VFD	3	1	0.75	VFD	0.142857143	1	0.125	VFD	0.3333	1	0.25
ایزوتور	هیدرو کوپلیتیک	VFD	وزن گزینه‌ها	کنترل سرعت	هیدرو کوپلیتیک	VFD	وزن گزینه‌ها	توان ورودی	هیدرو کوپلیتیک	VFD	وزن گزینه‌ها
هیدرو کوپلیتیک	1	5	0.83333	هیدرو کوپلیتیک	1	0.2	0.16667	هیدرو کوپلیتیک	1	0.5	0.33333
VFD	0.2	1	0.16667	VFD	5	1	0.83333	VFD	2	1	0.66667
گسترده‌ی محرک‌ها	هیدرو کوپلیتیک	VFD	وزن گزینه‌ها	نماد محرک‌های قابل کنترل	هیدرو کوپلیتیک	VFD	وزن گزینه‌ها	تأمین	هیدرو کوپلیتیک	VFD	وزن گزینه‌ها
هیدرو کوپلیتیک	1	5	0.83333	هیدرو کوپلیتیک	1	0.2	0.16667	هیدرو کوپلیتیک	1	0.2	0.16667
VFD	0.2	1	0.16667	VFD	5	1	0.83333	VFD	5	1	0.83333

جدول ۵- وزن نهایی گزینه‌ها

حاصل ضرب وزن‌ها	وزن گزینه برای آن معیار	وزن معیار	VFD
0.06044	0.333333	0.181	هزینه‌ی سرمایه‌گذاری اولیه
0.07869	0.666667	0.118	بازده انرژی سیستم
0.02362	0.25	0.094	قابلیت اطمینان
0.0453	0.25	0.181	هزینه‌های عملیاتی
0.01022	0.25	0.041	تعمیر و نگهداری
0.00815	0.25	0.033	محدودیت فضای نصب
0.02089	0.75	0.028	محدودیت تغییر دور
0.01306	0.125	0.105	دسترسی به توان الکتریکی
0.00646	0.25	0.026	شرایط محیطی
0.00472	0.166667	0.028	اپراتور
0.01503	0.833333	0.018	کنترل سرعت
0.01904	0.666667	0.029	توان ورودی
0.00222	0.166667	0.013	گستره‌ی محرک‌ها
0.01144	0.833333	0.014	تعداد محرک‌های قابل کنترل
0.07613	0.833333	0.091	تامین
0.3954	وزن نهایی		
حاصل ضرب وزن‌ها	وزن گزینه برای آن معیار	وزن معیار	هیدروکوپلینگ
0.1208715	0.6666666	0.181	هزینه‌ی سرمایه‌گذاری اولیه
0.0393447	0.3333333	0.118	بازده انرژی سیستم
0.0708739	0.75	0.094	قابلیت اطمینان
0.1359126	0.75	0.181	هزینه‌های عملیاتی
0.0306538	0.75	0.041	تعمیر و نگهداری
0.0244385	0.75	0.033	محدودیت فضای نصب
0.0069643	0.25	0.028	محدودیت تغییر دور
0.0914544	0.875	0.105	دسترسی به توان الکتریکی
0.019378	0.75	0.026	شرایط محیطی
0.0235934	0.8333333	0.028	اپراتور
0.0030051	0.1666666	0.018	کنترل سرعت
0.0095176	0.3333333	0.029	توان ورودی
0.0110786	0.8333333	0.013	گستره‌ی محرک‌ها
0.0022886	0.1666666	0.014	تعداد محرک‌های قابل کنترل
0.0152252	0.1666666	0.091	تامین
0.6046003	وزن نهایی		

نتیجه‌گیری

همانگونه که در جدول مذکور مشاهده می‌شود وزن نهایی گزینه‌ی تغییر دور توسط کوپلینگ هیدرولیکی حدوداً برابر ۰.۶ و وزن نهایی گزینه‌ی تغییر دور با سیستم VFD برابر ۰.۴ است. این موضوع نشان دهنده‌ی آن است که در این پروژه با توجه به شرایط در نظر گرفته شده برای پروژه، کوپلینگ هیدرولیکی گزینه‌ی بهتری جهت تغییر دور است. اگرچه تغییر در فرضیات پروژه می‌تواند منجر به تغییر در نتیجه‌ی تصمیم‌گیری ما شود، اما این الگوریتم تصمیم‌گیری قابلیت تعمیم به سایر پروژه‌های شرکت نفت مناطق مرکزی ایران را دارد. این الگوریتم حتی قابلیت ارتقا جهت در نظر گرفتن سایر روش‌های تغییر دور مانند استفاده از توربین و... را دارد، به شرطی که اطلاعات موردنیاز این گزینه‌ها برای محاسبه‌ی اوزان تهیه شده باشد.

جهت سنجش صحت این تصمیم‌گیری، می‌توان با تنظیم یک پرسشنامه و گرفتن نظر کارشناسان برای بدست آوردن وزن هر کدام از معیارها و گزینه‌های مربوط به آن‌ها اقدام نمود. در این صورت می‌توان از مزیت بسیار مهم روش تصمیم‌گیری با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی، که همان تعیین نرخ ناسازگاری است، برای محک نظر کارشناسان استفاده نمود. به عبارتی دیگر، اگر پس

از تحلیل نتایج پرسشنامه با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به این نتیجه رسیدیم که نرخ ناسازگاری ماتریس بالاتر از مقدار قابل قبول است، نظرات مربوط به آن پرسشنامه حذف شده و نتایج الگوریتم از خطاهای این چینی مصون خواهد ماند.

منابع

1. N. Schachter, "Energy efficient speed control using modern variable frequency drives," Publication CIMENTEC Engineering Ltd, pp. 1-8
2. R. Saidur, S. Mekhilef, M. Ali, A. Safari, and H. Mohammed, "Applications of variable speed drive (VSD) in electrical motors energy savings," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 16, pp. 543-550, 2012.
3. N. Okaeme, "Automated robust control system design for variable speed drives," University of Nottingham, 2008.
4. R. Saidur, N. Rahim, H. Ping, M. Jahirul, S. Mekhilef, and H. Masjuki, "Energy and emission analysis for industrial motors in Malaysia," Energy Policy, vol. 37, pp. 3650-3658, 2009
5. R. Saidur, N. Rahim, and M. Hasanuzzaman, "A review on compressed-air energy use and energy savings," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 14, pp. 1135-1153, 2010.
6. Saidur, Rahman, Saad Mekhilef, Mian Basharif Ali, A. Safari, and H. A. Mohammed. "Applications of variable speed drive (VSD) in electrical motors energy savings." Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, no. 1 (2012): 543-550.
7. Yellamati, D., Arthur, E., James, S., Morris, G., Heydt, T. and Graf, E., 2013, January. Predictive Reliability Models for variable frequency drives based on application profiles. In Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), 2013 Proceedings-Annual (pp. 1-6). IEEE.



پروژه‌های کاربردی در مهندسی صنایع

نشانی: کرج، بلوار امام خمینی (باغستان)، بین
خیابان پنجم و ششم، روبروی مجموعه ورزشی
انقلاب، پلاک ۷۳۵، ساختمان پرند، واحد ۱



۰۲۱ ۳۳ ۲۰ ۲۴ ۸۷



۰۲۶ ۳۴ ۴۳ ۶۹ ۵۹

۰۲۱ ۴۳ ۸۵ ۷۱ ۲۴