فصلنامه علمی – پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی – سال شانزدهم، شماره ۵۰، پاییز ۹۷
صفحات ۲۲۸-۱۹۳

انتخاب استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات با رویکرد سلسله مراتبی فازی

راضیه تقی پور،* سروش آوخ دارستانی**

تاریخ دریافت:۹۵/۶/۲۸
تاریخ پذیرش: ۹۶/۷/۲۹

چکیده

در سال‌های اخیر نگهداری و تعمیرات به‌عنوان عامل موثر و قابل توجهی در بهبود کارکرد دستگاه‌ها بوده است. نگهداری و تعمیرات نقش مهمی در حفظ قابلیت اطمینان، دردسترس بودن، کیفیت تولیدات، کاهش ریسک، افزایش بازدهی، امنیت تجهیزات برعهده دارد، لذا نگهداری و تعمیرات و استراتژی‌های آن از جایگاه ویژه‌ای در صنایع برخوردار است. پژوهش‌های زیادی به لزوم استفاده از مجموعه‌های فازی در مسائل تصمیم‌گیری به دلیل انعطاف پذیری بالای آن اشاره نموده‌اند و از آنجایی که مساله انتخاب استراتژی نت نیز یک مساله با عدم قطعیت زیاد است بکارگیری عدم قطعیت فازی، اطمینان تصمیم‌گیری را افزایش می‌دهد، از این‌رو هدف این پژوهش ارائه یک مدل ریاضی مناسب تصمیم‌گیری برای ارزیابی و انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات با استفاده از روش طراحی بدیهی فازی سلسله مراتبی و روش تاپسیس فازی سلسله مراتبی در شرکت صنایع هفت الماس بوده است، با توجه به اینکه معیارهای بسیاری از قبیل ارزش‌افزوده، ایمنی، هزینه و ... در انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات موثرند، بنابراین ابتدا به کمک مرور ادبیات و نظرات کارشناسان نگهداری و تعمیرات، این متغیرها شناسایی و سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به وزن‌دهی معیارها و به کمک روش طراحی بدیهی فازی سلسله مراتبی و روش تاپسیس فازی سلسله مراتبی به انتخاب بهترین استراتژی نگهداری وتعمیرات پرداخته شده است. در پایان نتایج دو روش تاپسیس فازی و طراحی بدیهی فازی برای انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات مقایسه گردید که نتایج، حاکی از یکسان بودن جواب‌های این دو روش بود، همچنین نتایج دو مدل نشان می‌دهد که استراتژی نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر از اولویت برتری نسبت به سایر استراتژی‌ها برخوردار است.

واژگان کلیدی: استراتژی نگهداری و تعمیرات، طراحی بدیهی فازی سلسله مراتبی، تاپسیس فازی سلسله مراتبی، FAHP

---

* دانشجو کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین، قزوین، ایران
** استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین، قزوین، ایران،(نویسنده مسئول)
Avakh@qiau.ac.ir

مقدمه

رشد روز افزون صنعت و به تبع آن پیچیدگی فرآیند تولید، زمینه را برای تکامل دانش نگهداری و تعمیرات فراهم ساخت. مطالعه‌ها نشان می‌دهد که در بسیاری از شرکت‌های بزرگ صنعتی هزینه‌های تعمیرات بخش عظیمی از بودجه‌های عملیاتی را به خود اختصاص می‌دهند و این در حالی است که صاحبان صنایع این واقعیت را پذیرفته‌اند که اجرای نگهداری و تعمیرات اثر بخش، یکی از ابزارهای لازم برای کسب مزیت رقابتی و پایدار ماندن در محیط رقابت است. براساس مطالعات صورت گرفته ۱۵ تا ۴۰ درصد (میانگین) از کل هزینه‌های مربوط به تولید، به هزینه‌های تعمیراتی اختصاص می‌یابد. بیشتر شرکت‌های بزرگ ۲ تا ۱۶ درصد از معاملات خود را به دلیل توقفات خطوط از دست می‌دهند و در این بین اجرای بهینه و موفق استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات از جایگاه بسیار مهمی برخوردار است(نایینی، ۱۳۸۷).

استراتژی‌های مختلفی از قبیل نت اصلاحی، نت پیشگیرانه، نت بهره‌ور فراگیر، نت مبتنی بر قابلیت اطمینان، نت مبتنی بر وضعیت و ... تاکنون مورد استفاده شرکت‌های مختلف قرار گرفته است. اما چالش اساسی رودرروی دست‌اندرکاران امور مربوط به نگهداری و تعمیرات، تنها یادگیری این تکنیک‌ها نیست، بلکه تصمیم‌گیری در رابطه با انتخاب بهترین گزینه و موثرترین تکنیک‌های نگهداری و تعمیرات برای سازمان می‌باشد(موبری[1]، ۱۹۹۷).

انتخاب استراتژی مناسب نگهداری و تعمیرات به نوعی مسئله‌ای است که در آن معیارهای متفاوتی تاثیرگذار می‌باشند. از این‌رو می‌توان گفت مسئله انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات نوعی مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره[2] است(باورساکس و کلاس[3]، ۱۹۹۶). آنچه در این بین از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است وجود ارتباط میان عوامل و به‌کارگیری تکنیک مناسب برای تعیین ارتباط و ارزیابی گزینه مناسب است. در اکثر مسائل تصمیم‌گیری، خصوصا در زمینه انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات تمامی اطلاعات بطور دقیق در

1 - Moubray
2 - Multi-criteria decision making(MCDM)
3 - Bowersox and Closs

دسترس نمی‌باشد. بنابراین، نظریه مجموعه‌های فازی، اعداد فازی و اصطلاحات زبانی به منظور ترکیب اطلاعات مبهم استفاده می‌شود. با استفاده از مقادیر فازی در مقایسه‌های زوجی نتایج دقیق‌تری بدست می‌آید(گونر و همکاران، ۲۰۰۵). هنگامی که داده‌ها مبهم هستند، روش تصمیم گیری چندمعیاره فازی استفاده می‌شود. در واقع به دلیل وجود عدم قطعیت در دنیای واقعی استفاده از تئوری فازی برای این منظور مناسب می‌باشد.

روش‌های متعددی از قبیل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[۱]، فرایند شبکه تحلیلی[۲] روش شباهت به گزینه ایده‌آل تاپسیس[۳] و غیره برای مسائل تصمیم‌گیری پیشنهاد شده است. یکی از روش‌های متداول انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات در حالت فازی، روش تاپسیس فازی می‌باشد. اما استفاده از روش تاپسیس فازی برای مسائل تصمیم‌گیری دارای اشکالاتی است. یکی از اشکالات عمده در روش تصمیم‌گیری تاپسیس فازی نحوه محاسبه بین اعداد فازی است، زیرا در ادبیات موضوع مجموعه‌های فازی اجماع یکسانی بر سر این موضوع وجود نداشته است. از این‌رو روش‌های مختلف تاپسیس فازی در ادبیات موضوع توسعه یافته است (مهدوی و همکاران، ۲۰۰۸؛ ثقفیان و حجازی، ۲۰۰۵؛ چن، ۲۰۰۰). در سال ۲۰۰۵، رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره فازی جدید، با عنوان روش طراحی بدیهی فازی[۴] ارائه شده است(کولاک و کاهرامان، ۲۰۰۵). این روش در سال ۲۰۰۹ توسط کاهرامان و سبی برای حل مسائل رتبه بندی با ساختار سلسله مراتبی بر اساس مفهوم روش تاپسیس فازی توسعه یافته است(کاهرامان و سبی، ۲۰۰۹). یکی از روش‌های مناسب در انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات پایدار روش طراحی بدیهی فازی است. بر اساس نظر ایگراوه و اکی استفاده ترکیبی از دو روش طراحی بدیهی فازی و تاپسیس فازی چارچوبی یکتا برای انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات پایدار ایجاد می‌کند(ایگراوه و اکی، ۲۰۱۷). دو مورد از خصوصیات برجسته روش طراحی بدیهی فازی رتبه بندی نسبت به روش تاپسیس فازی را می‌توان به عدم نیاز به نرمال‌سازی و استفاده از مساحت مشترک برای رتبه بندی اعداد فازی اشاره نمود به این

1 - Analytic hierarchy process (AHP)
2 - Analytic Network Process(ANP)
3 - Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution(TOPSIS)
4 - Fuzzy Axiomatic Design(FAD)

ترتیب نیاز به استفاده از روابط فاصله فازی نبوده و محاسبات به طرز قابل توجه‌ای کاهش می‌یابد.

از این‌رو هدف از پژوهش حاضر، ارائه مدلی ترکیبی از این دو روش برای انتخاب مناسب‌ترین استراتژی نگهداری و تعمیرات و بررسی نتایج آن‌ها در صنعت نورد فولاد می‌باشد. ساختار مقاله حاضر بدین صورت می‌باشد که در ادامه، مروری بر بخشی از پژوهش‌های صورت گرفته در انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات توسط تکنیک تاپسیس فازی و برخی از پژوهش‌های صورت گرفته توسط طراحی بدیهی فازی ارائه می‌شود. سپس شکاف تحقیقاتی و مبانی نظری شرح داده می‌شود. در بخش روش تحقیق مسئله، تکنیک‌های طراحی بدیهی فازی سلسله مراتبی در حالت رتبه بندی و تاپسیس فازی سلسله مراتبی ارائه می‌شود و سپس در بخش ۴ مدل‌های پیشنهادی در صعنت نورد فولاد برای انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات ، مورد تحلیل قرار گرفته و نتایج دو روش مذکور با یکدیگر مقایسه می‌گردد و در آخر نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی ارائه می‌شود.

پیشینه تحقیق

مسئله انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات از سال‌های گذشته مورد توجه بسیاری از محققان بوده و در سال‌های اخیر مطالعاتی در این زمینه صورت گرفته است.

در سال ۲۰۰۸، شیجیث[1] و همکاران در مقاله‌ای تحت عنوان روش‌شناسی و تئوری رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات در صنایع نساجی را با هدف به‌کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس برای انتخاب استراتژی بهینه در صنایع نساجی بررسی کردند. در این تحقیق از استراتژی‌های نت پیش‌بینانه، پیشگیرانه[2]، مبتنی بر قابلیت اطمینان[3] و مبتنی بر شرایط، به‌عنوان رویکردهای رایج استفاده شده است. شرایط

1 - Shygith
2- Preventive Maintenance(PM)
3- Reliability Centered Maintenance(RCM)

محیطی، نقص اجرا،کارآموزی مورد نیاز، انعطاف پذیری به‌عنوان معیارهای مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است(شیجیث و همکاران، ۲۰۰۸).

در سال ۲۰۱۱، مومنی و همکاران روش تاپسیس فازی را برای تعیین کارآمد ترین استراتژی نگهداری و تعمیرات برای شرکت الکتروفن استفاده کردند. در این تحقیق از استراتژی‌های نت پیش‌بینانه، پیشگیرانه، فرصت طلبانه، اصلاحی و مبتنی بر شرایط، به‌عنوان رویکردهای رایج استفاده شده است. جهت انتخاب استراتژی بهینه از معیارهای ارزش‌افزوده، ایمنی، هزینه و امکان‌پذیری استفاده شده است. در پایان براساس نتایج به‌دست آمده استراتژی پیشگیرانه به‌عنوان استراتژی برتر انتخاب شد(مومنی و همکاران، ۲۰۱۱).

دینگ و کامارودین[1] در سال ۲۰۱۲ به طور عملی مفاهیم تاپسیس فازی در تعیین استراتژی بهینه نگهداری برای یک سیستم فشار پیچ در صنعت استخراج روغن نخل نشان دادند. از استراتژی‌های نت پیشگیرانه، پیشگویانه، اصلاحی، نت خودگردان و معیارهای هزینه، ایمنی، قابلیت اطمینان و امکان سنجی جهت انتخاب استراتژی بهینه استفاده شد(دینگ و کامارودین، ۲۰۱۲).

در سال ۲۰۱۲، صادقی و البرزی منش استفاده از روش فرایند شبکه تحلیلی فازی گروهی را برای ارزیابی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات در شرکت فولاد مبارکه اصفهان پیشنهاد کردند. در این مقاله از پنج معیار و ۱۲ زیر معیار استفاده شد. در پایان استراتژی نگهداری و تعمیرات سطح جهانی به عنوان استراتژی برتر برای تجهیزات حمل و نقل فولاد مبارکه اصفهان انتخاب گردید(صادقی و البرزی منش، ۲۰۱۲).

در سال ۲۰۱۳، پورجواد و همکاران یک مدل پیشنهادی بر اساس فرایند شبکه تحلیلی و تاپسیس برای انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات برای تجهیزات در صنعت معدن ارائه دادند(پورجواد و همکاران، ۲۰۱۳).

در سال ۲۰۱۴، گورن و کولاک یک رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره فازی را برای انتخاب تامین کنندگان با استفاده از طراحی بدیهی فازی سلسله مراتبی با درنظر گیری ریسک پیشنهاد نمودند. در این مقاله از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی[2] برای محاسبه وزن معیارهای ارزیابی

1 - Ding and Kamaruddin
2 - Fuzzy analytical hierarchy proces

و از روش طراحی بدیهی فازی سلسله مراتبی با درنظرگیری ریسک برای رتبه‌بندی تامین کنندگان استفاده کردند(گورن و کولاک، ۲۰۱۴).

دینگ و کامارودین در سال ۲۰۱۵ در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی روش تصمیم‌گیری چندمعیاره گروهی مبتنی بر فاصله از دیدگاه استراتژی نگهداری و تعمیرات به بررسی استفاده از روش تاپسیس فازی و قطعی در حل مشکلاتی که تصمیم‌گیری استراتژی نگهداری و تعمیرات را احاطه کرده پرداخته اند. در این مقاله از استراتژی‌های نت پیشگیرانه، پیشگویانه، اصلاحی، طراحی نگهداری و تعمیرات، نت خودگردان و معیارهای ایمنی، تشخیص خطا، شرایط محیطی، هزینه، قابلیت نگهداری و تعمیرات و امکان‌پذیری استفاده کردند(دینگ و کامارودین، ۲۰۱۵).

ایلانگ کوماران[1] و همکاران در سال ۲۰۱۶ یک رویکرد تصمیم گیری برای انتخاب استراتژی نگهداری با استفاده از تحلیل ساسه مراتبی فازی و تاپسیس- تحلیل رابطه خاکستری[2] در صنعت کاغذ پیشنهاد کردند. روش تحلیل سلسله مراتبی فازی برای محاسبه وزن معیارهای ارزیابی و تاپسیس- تحلیل رابطه خاکستری برای رتبه‌بندی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مورد استفاده قرار گرفت. در این مقاله استراتژی‌های نت اصلاحی، نت مبتنی بر زمان، نت مبتنی بر شرایط و نت پیشگیرانه مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت انتخاب استراتژی بهینه از معیارهای ارزش‌افزوده، ایمنی، هزینه و امکان‌پذیری استفاده شده است(ایلانگ کوماران و همکاران، ۲۰۱۶).

در سال ۲۰۱۷، صیتی و همکاران یک مدل پیشنهادی برای رتبه بندی حالات خرابی در حالت فازی با استفاده از روش طراحی بدیهی در صنعت اتومبیل ارائه دادند(صیتی و همکاران، ۲۰۱۷).

در سال ۲۰۱۷، اوزکان و همکاران در مقاله‌ای از روش ترکیبی روش برنامه‌ریزی آرمانی و تحلیل سلسله مراتبی متکی بر تاپسیس برای انتخاب استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات در نیروگاه‌های برق آبی استفاده کردند.

1 - Ilangkumaran
2- Grey relational analysis(GRA)

استراتژی‌های مورد بررسی عبارتند از: نگهداری و تعمیر پیشگویانه، نگهداری و تعمیر اصلاحی، نگهداری و تعمیر پیشگیرانه، نگهداری و تعمیر رویژن. در این تحقیق ابتدا با استفاده از روش ترکیبی تاپسیس - تحلیل سلسله مراتبی مهم‌ترین تجهیزات انتخاب گردیدند و سپس برای تعیین مناسب‌ترین استراتژی نگهداری و تعمیرات برای بحرانی‌ترین تجهیزات الکتریکی در نیروگاه برق آبی از روش ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی – برنامه ریزی آرمانی[1] استفاده کردند(اوزکان و همکاران، ۲۰۱۷).

در سال ۲۰۱۷، ایگراوه و اکی در مقاله‌ای از روش ترکیبی طراحی بدیهی فازی و تاپسیس فازی برای انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات پایدار در شرکت سیمان استفاده کردند. در این مقاله برای وزن‌دهی معیارها از روش وزن‌دهی آنتروپی فازی استفاده شده است(ایگراوه و اکی، ۲۰۱۷).

شکاف تحقیقاتی

با توجه به مطالعات انجام شده(ایگراه و اکی؛ ۲۰۱۷، اوزکان و همکاران؛ ۲۰۱۷، ایلانگ کوماران و همکاران؛ ۲۰۱۶، گرن وکولاک؛ ۲۰۱۴ و ...) می‌توان نتیجه گرفت پژوهش‌های بسیار اندکی با استفاده جداگانه و یا همزمان از تکنیک طراحی بدیهی و تاپسیس فازی در مسائل تصمیم‌گیری نت در صنعت فولاد صورت گرفته است. بنابراین توسعه وکاربرد این مدل‌ها همچنان در این حوزه احساس می‌شود. از این‌رو در بخش ۳، دو مدل پیشنهادی از روش طراحی بدیهی فازی سلسله مراتبی[2] و تاپسیس فازی سلسله مراتبی[3] در صنایع فولادی، تولیدتحت نورد سرد ارائه شده و نتایج آن‌ها با یکدیگر مقایسه شده است.

استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات مورد استفاده در این تحقیق

- نگهداری وتعمیرات مبتنی بروضعیت[4]

دراین روش با انجام پایش‌های منظم از پارامترهای مربوط به عملکرد و وضعیت ماشین‌آلات مانند ارتعاش، فشار، درجه حرارت و روغن و... تلاش می‌شود که

1- Goal programming
2 - Hierarchical Fuzzy Axiomatic Design
3 - HFTOPSIS
4 - Condition Based Maintenance

خرابی‌های در شرف وقوع را پیش‌بینی کرده و اقدامات تعمیراتی لازم را صورت دهند(ایموون و همکاران، ۲۰۱۶).

- نگهداری وتعمیر ات مبتنی بر زمان[1]

این روش براین دیدگاه استوار است که ماشین آلات پس ازمدتی کارکرد، دچار استهلاک شده و می‌بایست با انجام فعالیت تعمیراتی به وضعیت"مانند نو" برگردانده شوند. در این روش براساس دوره‌های زمانی از پیش تعریف شده، تجهیزات و ماشین‌آلات مورد بازرسی قرار می‌گیرند و در صورت نیاز تعویض یا اقدامات اصلاحی صورت می‌پذیرد(جی و همکاران، ۲۰۱۷).

- نگهداری وتعمیر ات اصلاحی[2]

از ویژگی‌های اصلی نت اصلاحی این است که اقدامات فقط بعد از خرابی اعمال می‌گردند و هیچ مداخله‌ای تا قبل از زمان وقوع خرابی صورت نمی‌گیرد(تجدد و همکاران، ۲۰۱۶).

- نگهداری وتعمیر ات از کارافتادگی[3]

در این روش، فعالیت‌های تعمیراتی، بعد از وقوع خرابی‌ها رخ می‌دهند ولی آمادگی قبلی در مورد عیب، علت، اقدامات اصلاحی مورد نیاز، دستورالعمل‌های تعمیراتی، ابزار، قطعات و سایر ملزومات مورد نیاز صورت پذیرفته‌اند(عرب شمالی، ۱۳۹۲).

- نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر[4]

نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر و یا نگهداری و تعمیرات اثربخش جامع، یک نوع سیاست نگهداری و تعمیرات است، که با هدف حداکثر کردن بهره‌وری و اثربخشی کلی تجهیزات، از طریق یک سیستم فراگیر نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه، برای کل طول عمر تجهیزات می‌باشد(حاج شیرمحمدی، ۱۳۹۰).

1 - Time-Based Maintenance
2 - Corrective Maintenance
3 - Break Down Maintenance
4 - Total *Productive* Maintenance

معیارهای انتخاب استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات

با بررسی مقالات مرتبط با استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات و همچنین با استفاده از نظرات کارشناسان در شرکت مورد بررسی معیارها و زیرمعیارهای موثر شناسایی شدند و در جدول(۱) آمده است.

جدول ۱: معیارها و زیرمعیارهای انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات

ردیف	معیار	زیر معیار	پیشینه معیارها و زیر معیارها
۱	ارزش افزوده	ذخیره موجودی	ایلانگ کوماران و همکاران (۲۰۱۵)، دینگ و کامارودین (۲۰۱۵)، مومنی و همکاران (۲۰۱۱) ، وانگ و همکاران (۲۰۰۷)، آقایی و فضلی (۲۰۱۱)، دینگ و کامارودین (۲۰۱۲)،چن و یانگ (۲۰۱۳)، آران راج و مایتی (۲۰۱۰)،بویلاکوآ و بارگیلا (۲۰۰۰)
		کیفیت تولیدات	
		بازدهی تجهیزات و کارکنان	
۲	ایمنی	صدمات کارکنان	
		امنیت تجهیزات	
		اثرات محیط	
۳	هزینه	سخت‌افزار	
		نرم افزار	
		آموزش کارکنان	
۴	امکان‌پذیری	پذیرش از سوی کارکنان	
		تکنولوژی‌های لازم	
		تجهیزات	
۵	خسارت	ضایعات تولید ناشی از دستگاه	
		ضایعات تولید ناشی از نیروی انسانی	
		ضایعات ناشی از برنامه‌ریزی (مستقیم و غیر مستقیم)	
		ضایعات محیطی (داخلی و خارجی)	
		تولید از دست رفته	
۶	کارایی	-	
۷	قابلیت اطمینان	-	
۸	زمان	-	

روش تحقیق

روش طراحی بدیهی

طراحی بدیهی در سال ۱۹۹۰ توسط آقای سو[1] پیشنهاد شد. هدف اصلی رویکرد بدیهی این است که مبنایی علمی برای شاخه طراحی ایجاد کند تا پایه‌ای اساسی برای خلق محصولات، فرآیندها، سیستم‌ها، نرم‌افزارها و سازمان‌ها ایجاد شود. مفاهیم اساسی در طراحی بدیهی به صورت زیر است:

نیازمندی‌های عملکردی[2]

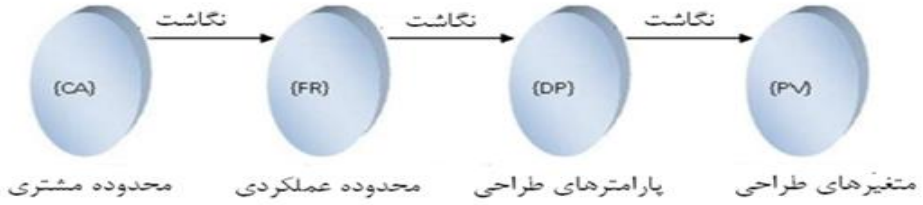
طراحی شامل فعل و انفعالات پیوسته بین آنچه ما می‌خواهیم به آن برسیم و چگونگی رسیدن به آن است. برای شروع باید اهداف طراحی را با تعریف آن‌ها در قالب نیازمندی‌های عملکردی خوانده می‌شوند، مشخص نماییم. نیازمندی‌های عملکردی ویژگی‌هایی هستند که از محصول طراحی شده انتظار می‌رود در واقع هدف طراحی برآورده نمودن نیازمندی‌های عملکردی است که همان بیان علمی و فنی نیازهای مشتری است. از دیدگاه تئوری طراحی بدیهی نیازمندی عملکردی باید دو ویژگی داشته باشند: اول اینکه از یکدیگر مستقل باشند و دوم تا حد امکان تعداد آن‌ها کم باشد یعنی آنچه که در قلمرو مشتری تعریف شده است با حداقل نیازمندی‌های عملکردی ممکن بیان شود، نیازمندی‌های عملکردی معمولا با کلماتی مانند کاهش، کنترل، ایجاد کردن و ... همراه است(سو، ۱۹۹۰).

پارامترهای طراحی

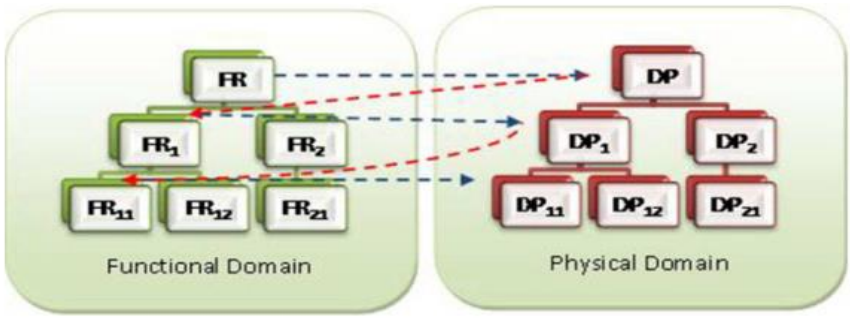
پارامترهای طراحی المان‌ها یا ابزارهایی در دنیای فیزیکی و واقعی هستند که جهت برآورده ساختن نیازمندی‌های عملکردی ایجاد می‌شوند .

1 -Suh
2- Functional Requirement(FR)

طراحی را می‌توان به‌صورت خلق راه‌حل‌هایی به شکل محصولات، فرآیندها یا سیستم که نیازهای مورد نظر را از طریق ایجاد ارتباط بین نیازمندی‌های عملکردی در محیط عملکردی و پارامترهای طراحی در محدوده فیزیکی ارضا می‌کنند (با گزینش و پارامترهای طراحی مناسب به‌صورتی‌که نیازمندی‌های عملکردی را ارضا کنند)، تعریف نمود. این فرآیند طراحی شامل نگاشت بین نیازمندی‌های عملکردی در محیط عملکردی و پارامترهای طراحی[1] در محیط فیزیکی است. (شکل ۱) بعد از این نگاشت اگر بدیهی استقلال ارضا نشد، طرح قابل قبول نخواهد بود. به عبارت دیگر هر نیازمندی عملکردی می‌بایست فقط توسط یک پارامتر طراحی ارضا شود (شکل ۲)؛ یعنی اگر این موضوع اتفاق افتاد طرح بد است و یا خوب کار نخواهد کرد. اگرچه بعضی از طرح‌ها قابل قبول هستند، با اینکه بدیهی استقلال را نیز ارضا نمی‌کنند.



شکل ۱: قلمروهای موجود در طراحی بدیهی (کولاک و همکاران، ۲۰۱۰)



شکل ۲: ساختار سلسله مراتبی و نحوه حرکت زیگزاگی بین قلمروها .

1 -Design Parameter(DP)

فرآیند طراحی بدیهی توسط دو بدیهی صورت می‌گیرد:

بدیهی اول: بدیهی استقلال[1]

بدیهی اول بیان می‌کند که استقلال نیازمندی‌های عملکردی همیشه می‌بایست حفظ گردد. به بیان دیگر، همانطور که از نیازمندیهای عملکردی در قلمرو عملکردی به پارامترهای طراحی در قلمرو فیزیکی حرکت می‌کنیم، ارتباط بین نیازمندی‌های عملکردی و پارامترهای طراحی باید به‌گونه‌ای باشد که انحرافی کوچک در یک پارامتر طراحی خاص تنها بر نیازمندی عملکردی مربوط به آن تاثیر داشته باشد. بدیهی دوم بیان می‌کند که از بین طرح‌هایی که نیازمندی‌های عملکردی مستقل را ارضا می‌کنند طرحی از همه مناسب‌تر است که کمترین حجم اطلاعاتی ممکن را داشته باشد

بدیهی دوم: بدیهی اطلاعات[2]

بدیهی دوم بیان می‌کند که از بین طرح‌هایی که نیازمندی‌های عملکردی مستقل را ارضا می‌کنند طرحی از همه مناسب‌تر است که کمترین حجم اطلاعاتی ممکن را داشته باشد(کولاک و همکاران، ۲۰۱۰).

بدیهی دوم نیز در یک سری مسائل از تصمیم‌گیری چندمعیاره مورد استفاده قرار گرفته است. همانطور که بیان شد در صورتی که چند طرح، قابلیت برآورده کردن نیازهای عملکردی و بدیهی اول را داشته باشند، از بین آن‌ها طرحی انتخاب می‌شود که دارای کمترین اطلاعات ممکن باشد. منظور از اطلاعات در اینجا، برآورده‌کردن نیازهای عملکردی خواسته شده است. در رویکرد طراحی بدیهی باتوجه به احتمال موفقیت هر گزینه در برآوردن نیازهای عملکردی مطرح در هر معیار، به ارزیابی آن گزینه می‌پردازد و در نهایت گزینه‌ای مطلوب‌تر خواهد بود که بیش‌ترین احتمال موفقیت را در برآوردن نیازهای مربوط به معیارهای گوناگون داشته باشد. با استفاده از رویکرد طراحی بدیهی، تفاوت واحدهای اندازه‌گیری معیارها تحت تاثیر توابع چگالی احتمال و بدون انجام عملیات پیچیده ریاضی از بین می‌رود و چگالی احتمال، واحد اندازه‌گیری یکسان همه معیارها خواهد بود. هم‌چنین قابلیت‌های هر

1- Independence Axiom
2- Information Axiom

گزینه در هر معیار بدون مقایسه با قابلیت‌های گزینه‌های دیگر در آن معیار ارزیابی می‌شود. به این ترتیب امتیازی که از ارزیابی‌های گزینه در همه معیارها حاصل می‌شود، نمایانگر توانایی‌های آن گزینه به صورت مطلق و نه در مقایسه با گزینه‌های دیگر است(سو، ۱۹۹۸).

برخی از مزایای به‌کارگیری طراحی بدیهی به عنوان رویکرد ارزیابی چند معیاره در مقابل سایر رویکردهای ارزیابی چند معیاره به شرح زیر می‌باشد :

۱. عدم توجه به عملکرد گرینه‌های دیگر هنگام ارزیابی یک گزینه. (ارزیابی مطلق هر سیستم در ارضای نیازهای کارکردی مربوط به هر معیار)
۲. یکسان‌سازی ابعاد معیارها با استفاده از تئوری احتمال

اگر اطلاعات مربوط به برآورده‌کردن نیازمندی عملکردی معیار iام $\mathrm{FR_i}$با $\mathrm{I_i}$نمایش داده شود، مقدار آن به‌صورت رابطه (۱) بیان می‌شود که در آن $\mathrm{p_i}$ بیانگر احتمال برآورده کردن نیازمندی عملکردی FR_i است(کولاک و کاهرامان، ۲۰۰۵).

$$\mathrm{I_i} = \log_2(\frac{1}{\mathrm{p_i}}) = -\log_2(\mathrm{p_i}) \qquad (۱)$$

که اگر مجموع آن برای تمامی نیازمندی‌های عملکردی برای یک طرح مشخص در نظر گرفته شود رابطه (۲) به دست می‌آید: (کولاک و کاهرامان، ۲۰۰۵)

$$\mathrm{I_{system}} = \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \log_2 (\frac{1}{\mathrm{p_i}}) = -\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \log_2 (\mathrm{p_i}) \qquad (۲)$$

در این حالت اگر مقدار $\mathrm{I_{system}}$ نا محدود شود سیستم یا طرح مورد نظر هرگز کار نخواهد کرد.

برای محاسبه احتمال موفقیت یک سیستم در برآورده نمودن نیارمندی عملکردی مربوط به یک معیار، دو ویژگی تعریف می‌شود: ۱- بازه سیستم و ۲- بازه طراحی

- بازه طراحی: بازه‌ای که طراح علاقه‌مند است تا سیستم هنگام برآورده نمودن نیازمندی عملکردی مرتبط با یک معیار، در آن بازه عمل کند.
- بازه سیستم: بازه‌ای که سیستم قادر است تحت آن به برآورده نمودن نیازمندی عملکردی مرتبط با یک معیار بپردازد.

هم‌پوشانی بین بازه طراحی و بازه سیستم، احتمال موفقیت یک سیستم در برآورده نمودن نیازمندی عملکردی مربوط به یک معیار را نشان می‌دهد. این احتمال در واقع احتمالی است که سیستم مورد نظر می‌تواند آن چیزی که طراحان به صورت تلرانس قصد رسیدن به آن را دارند (بازه طراحی) برآورده کند. اگر احتمال بازه‌ها یکنواخت فرض شود، بنابراین برای توزیع یکنواخت رابطه (۳) را می‌توان نوشت: (کولاک و همکاران، ۲۰۱۵)

$$p_i = \frac{\text{بازه مشترک}}{\text{بازه سیستم}} \quad (۳)$$

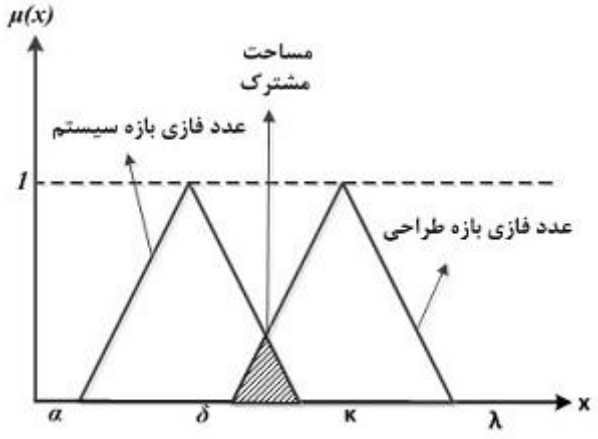
و مقدار حجم اطلاعاتی از رابطه (۴) محاسبه می‌شود: (کولاک و کاهرامان، ۲۰۰۵)

$$I_i = \log_2 \frac{\text{بازه سیستم}}{\text{بازه مشترک}} \quad (۴)$$

روش طراحی بدیهی فازی

در صورتی که اطلاعات درمورد بازه‌های سیستم و طراحی نادقیق باشد، بدیهی دوم به مجموعه‌های فازی تعمیم داده می‌شود. بازه طراحی و سیستم می‌تواند حول یک مقدار، فراتر از یک مقدار و یا بین دو مقدار قرار داشته باشد که اعداد فازی مثلثی و یا ذوزنقه‌ای می‌توانند بیانگر اینگونه اصطلاحات باشند. در این حالت، مقدار اطلاعات با محاسبه لگاریتم بر مبنای دو مساحت عدد مثلثی مربوط به بازه سیستم بخش بر مساحت مشترک عدد مثلثی بازه سیستم و طراحی به دست می‌آید. رابطه (۵) و شکل (۳) نحوه محاسبه را نشان می‌دهد.

$$I = \log_2 \frac{\text{مساحت عدد فازی بازه سیستم}}{\text{مساحت مشترک}} \quad (۵)$$



شکل ۳: اعداد فازی مربوط به بازه سیستم و بازه طراحی (کولاک و کاهرامان، ۲۰۰۵)

روش تصمیم گیری چند معیاره طراحی بدیهی فازی سلسه مراتبی

مراحل استفاده از روش طراحی بدیهی فازی سلسله مراتبی در یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌صورت زیر می‌باشد:

گام ۱: تشکیل ماتریس تصمیم

باتوجه به m گزینه، n معیار و نظر تصمیم‌گیران درباره ارزیابی گزینه‌ها برای معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم به‌صورت رابطه (۶) تشکیل می‌شود.

$$\widetilde{D} = \begin{vmatrix} \tilde{s}_{11} & \tilde{s}_{12} & \cdots & \tilde{s}_{1n} \\ \tilde{s}_{21} & \tilde{s}_{22} & \cdots & \tilde{s}_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \tilde{s}_{m1} & \tilde{s}_{m2} & \cdots & \tilde{s}_{mn} \end{vmatrix} \qquad (۶)$$

گام ۲: تعیین ماتریس وزن معیارها

در این مرحله اهمیت نسبی وزن‌ها می‌تواند به طور مستقیم، توسط تصمیم‌گیران تعیین شود و یا به وسیله مقایسه زوجی توسط کارشناسان صورت بگیرد. ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، به‌صورت رابطه (۷) تعریف می‌شود:

$$\widetilde{W} = [\widetilde{w}_1, \widetilde{w}_2, \dots, \widetilde{w}_n] \quad (۷)$$

گام ۳:

اگر تصمیم‌گیری گروهی باشد برای بدست آوردن وزن اهمیت تجمیع شده[1] هر معیار و ارزیابی گزینه‌ها می‌توان از معادلات (۸) و (۹) استفاده کرد:

$$\tilde{S}_{ij} = \frac{1}{K}\left(\tilde{S}^1{}_{ij} + \tilde{S}^2{}_{ij} + \cdots + \tilde{S}^t{}_{ij} + \cdots + \tilde{S}^k{}_{ij}\right), \quad \tilde{S}^t{}_{ij} = \left(a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}\right) \quad (۸)$$

$$\tilde{w}_i = \frac{1}{K}\left(\tilde{w}^1{}_i + \tilde{w}^2{}_i + \dots + \tilde{w}^t{}_i + \dots + \tilde{w}^k{}_i\right), \quad \tilde{w}^t{}_i = (w_{il}, w_{im}, w_{iu}) \quad (۹)$$

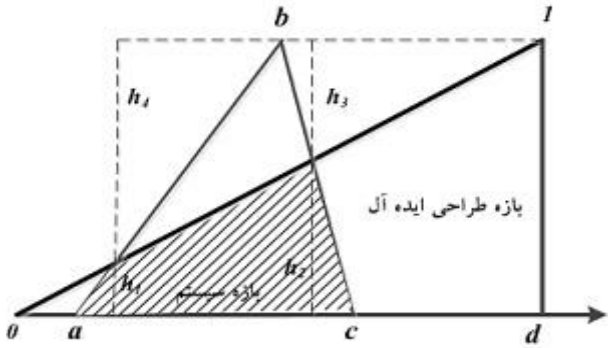
که k نمایانگر تعداد تصمیم گیران، $\tilde{S}_{ij}$ ارزیابی گزینه‌ها می‌باشد و اندیس i و j نمایانگر معیار i و گزینه j می‌باشد.

گام ۴: حجم اطلاعاتی در مساله رتبه بندی

در مسائل رتبه بندی می‌توان معیارها را به دو دسته هزینه و یا سود تقسیم کرده، برای سود یک عدد فازی با $\alpha = 0, \mu(\alpha) = 0$ در نظر گرفته می‌شود و حد بالایی آن $\theta = 1, \mu(\theta) = 1$ که $X_{\max}$ نمایانگر بالاترین حد سود در بین گزینه‌هاست و برای هزینه‌ها نیز $\theta = X_{\max}, \mu(\theta) = 0$ و $\alpha = 0, \mu(\alpha) = 1$ که X_{max} نشان دهنده بزرگترین حد بالای هزینه مربوط به گزینه‌ها می‌باشد. در این حالت با محاسبه حجم اطلاعاتی در ناحیه تصمیم گفته شده و ناحیه هر یک از گزینه‌ها می‌توان بین آن‌ها رتبه‌بندی صورت داد(کاهرامان و سبی[2]، ۲۰۰۹؛ کولاک و کاهرامان، ۲۰۱۰).

در صورتی‌که بازه طراحی و بازه سیستم طبق شکل ۴ در نظر گرفته شود، آنگاه محتوای اطلاعاتی برای شاخصه سود، لگاریتم در مبنای دو حاصل تقسیم مساحت بازه سیستم بخش بر مساحت مشترک است، از رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود:

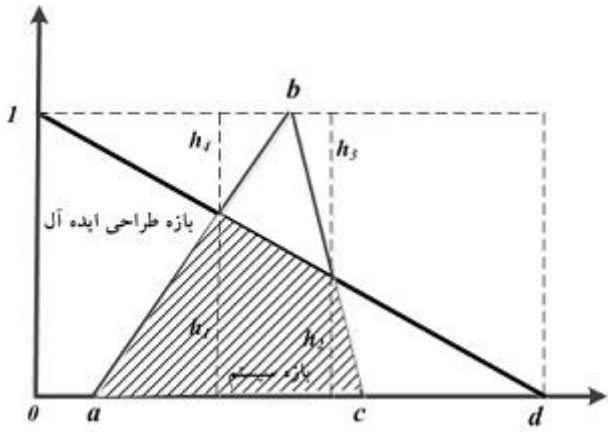
1 -Aggregation of the importance weight
2 - Cebi



شکل ٤: بازه طراحی ایده‌آل و بازه سیستم برای شاخصه سود

$$I = \log_2 \frac{c-a}{\left(\frac{c^2}{d-b+c} - \frac{a^2}{d-b+a}\right)} \qquad (۱۰)$$

در صورتی‌که بازه طراحی و بازه سیستم مطابق شکل (۵) در نظر گرفته شود، آنگاه محتوای اطلاعاتی برای شاخصه هزینه، لگاریتم در مبنای دو حاصل تقسیم مساحت بازه سیستم بخش بر مساحت مشترک است، از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود:



شکل ۵: بازه طراحی ایده‌آل و بازه سیستم برای شاخصه هزینه

$$I = \log_2 \frac{c-a}{\left(\frac{(\mathrm{d}-\mathrm{a})^2}{\mathrm{d}+\mathrm{b}-\mathrm{a}} - \frac{(\mathrm{d}-\mathrm{c})^2}{\mathrm{d}+\mathrm{b}-\mathrm{c}}\right)} \qquad (۱۱)$$

گام ۵:

در این گام محتوای اطلاعاتی برای سطوح معیار که دارای زیر شاخه می‌باشد، با توجه به وزن‌های مربوط به معیارها محاسبه می‌شود، در صورتی که مساله ساختار سلسله مراتبی داشته باشد، روابط (۱۲) و (۱۳) بیانگر محتوای اطلاعاتی این معیارها خواهد بود:

$$I_k = \sum_{i=1}^{n} W_{ki} I_{ki} \quad (۱۲)$$

$$I = \sum_{i=1}^{n} W_i I_i \quad (۱۳)$$

گام ۶:

بعد از محاسبات گزینه‌ای که کمترین حجم اطلاعاتی I را داشته باشد به عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شود.

بکارگیری روش تاپسیس فازی سلسله مراتبی

در روش شباهت به گزینه ایده‌آل کلاسیک، برای تعیین وزن معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها از مقادیر دقیق و معین استفاده می‌شود. در بسیاری از مواقع تفکرات انسان همراه با عدم قطعیت همراه است و این عدم قطعیت در تصمیم‌گیری تاثیرگذار است. به همین دلیل از روش‌های تصمیم فازی استفاده می‌گردد، که یکی از این روش‌ها تاپسیس فازی است. در این حالت عناصر ماتریس تصمیم‌گیری یا وزن معیارها نسبت به یک و یا هر دوی آن‌ها توسط متغیرهای کلامی که توسط اعداد فازی ارائه شده‌اند(عطایی، ۱۳۸۹). مراحل استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی سلسله مراتبی در یک مساله تصمیم‌گیری چندمعیاره با n معیار و m گزینه به شرح زیر می‌باشد:

مرحله ۱: تشکیل ماتریس تصمیم

باتوجه به m گزینه، n معیار و ارزیابی همه گزینه‌ها برای همه معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم به‌صورت رابطه (۱۴) تشکیل می‌شود.

$$\widetilde{D} = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} x_1 & x_2 & \dots & x_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & & & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \end{array} \quad (۱۴)$$

A_i = iامین گزینه مورد نظر و x_{ij}= ارزش عددی i امین گزینه در رابطه با j امین شاخص

مرحله ۲: تعیین ماتریس وزن معیارها

در این مرحله ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، به‌صورت رابطه (۱۵) تعریف می‌شود:

$$\widetilde{W} = [\widetilde{w}_1, \widetilde{w}_2, \dots, \widetilde{w}_n] \quad (۱۵)$$

که در صورتی‌که از اعداد فازی مثلثی استفاده شود، هر یک از مولفه‌های w_j (وزن معیار) به‌صورت

$\widetilde{w}_j = [w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}]$ تعریف خواهد شد.

مرحله ۳: بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم فازی

زمانی‌که x_{ij}ها به‌صورت فازی هستند، مسلما r_{ij}ها نیز فازی خواهند بود. برای بی‌مقیاس کردن به‌جای محاسبات پیچیده در روش شباهت به گزینه ایده‌آل کلاسیک، در این مرحله از تغییر مقیاس خطی برای تبدیل مقیاس معیارهای مختلف به مقیاس قابل مقایسه استفاده می‌شود.

اگر اعداد به‌صورت مثلثی باشند، درایه‌های ماتریس تصمیم بی‌مقیاس برای معیارهای مثبت و منفی به‌ترتیب از روابط (۱۶) و (۱۷) محاسبه می‌شود:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*}\right) \quad (۱۶)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}}\right) \quad (۱۷)$$

که در این روابط:

$$c_j^* = \max_i c_{ij} \quad (۱۸)$$

$$a_j^- = \min_i a_{ij} \quad (۱۹)$$

بنابراین ماتریس تصمیم فازی بی‌مقیاس شده ($\tilde{R}$) به‌صورت رابطه (۲۰) به‌دست می‌آید.

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m\times n} \qquad \text{i= } 1,2,\ldots,\text{m} \quad \text{j= } 1,2,\ldots,\text{n} \tag{۲۰}$$

مرحله ۴: تعیین ماتریس تصمیم بی‌مقیاس وزنی فازی

باتوجه به وزن معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم وزنی فازی از ضرب کردن ضریب اهمیت مربوط به هر معیار در ماتریس بی‌مقیاس شده فازی و به‌صورت رابطه (۲۱) به‌دست می‌آید:

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \times \tilde{w}_j \times \tilde{w}_{pj} \tag{۲۱}$$

که $\tilde{w}_j$ بیان‌کننده ضریب اهمیت معیار C_j و $\tilde{w}_{pj}$ بیان کننده ضریب اهمیت زیرمعیار p مربوط به معیار j می‌باشد.

بنابراین ماتریس تصمیم فازی زون‌دار به‌صورت رابطه (۲۲) خواهد بود:

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m\times n} \quad \text{i= } 1,2,\ldots,\text{m} \ ; \ \text{j= } 1,2,\ldots,\text{n} \tag{۲۲}$$

اگر اعداد فازی به‌صورت مثلثی باشند، برای معیارهای با جنبه مثبت رابطه (۲۳) و جنبه منفی رابطه (۲۴) داریم:

$$\begin{aligned}\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \times \tilde{w}_{ij} &= \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*}\right) \times (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}) \\ &= \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*} \times w_{j1}, \frac{b_{ij}}{c_j^*} \times w_{j2}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \times w_{j3}\right)\end{aligned} \tag{۲۳}$$

$$\begin{aligned}\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \times \tilde{w}_{ij} &= \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}}\right) \times (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}) \\ &= \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}} \times w_{j1}, \frac{a_j^-}{b_{ij}} \times w_{j2}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \times w_{j3}\right)\end{aligned} \tag{۲۴}$$

مرحله ۵:

در این مرحله مقادیر ایده‌آل مثبت فازی ($FPIS,A^+$)[1] و ایده‌آل منفی فازی ($FNIS,A^-$)[2]

1- Fuzzy Positive Ideal Solution (FPIS)
2- Fuzzy Negative Ideal Solution (FNIS)

معرفی شده توسط چن برای تمام معیارها به‌صورت روابط (۲۵) و (۲۶) تعریف می‌شوند:

$$\tilde{v}_j^* = (1,1,1) \quad (۲۵)$$

$$\tilde{v}_j^- = (0,0,0) \quad (۲۶)$$

که $\tilde{v}_i^*$ بهترین مقدارمعیار i از بین تمام گزینه‌ها و $\tilde{v}_i^-$ بدترین مقدار معیار i از بین تمام گزینه‌ها می‌باشد.

مرحله ۶: محاسبه فاصله از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی فازی

فاصله هر گزینه از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی فازی به‌ترتیب از روابط (۲۷) و (۲۸) به‌دست می‌آیند:

$$S_i^* = \sum_{j=1}^{n} d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*) \quad , \quad i = 1,2,\dots,m \quad (۲۷)$$

$$S_i^- = \sum_{j=1}^{n} d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \quad , \quad i = 1,2,\dots,m \quad (۲۸)$$

اگر اعداد فازی به‌صورت مثلثی باشند فاصله دو عدد مثلثی (a_1, b_1, c_1) و (a_2, b_2, c_2) به‌صورت رابطه (۲۹) به‌دست می‌آید:

$$d(\tilde{M}_1, \tilde{M}_2) = \sqrt{(\frac{1}{3})[(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2]} \quad (۲۹)$$

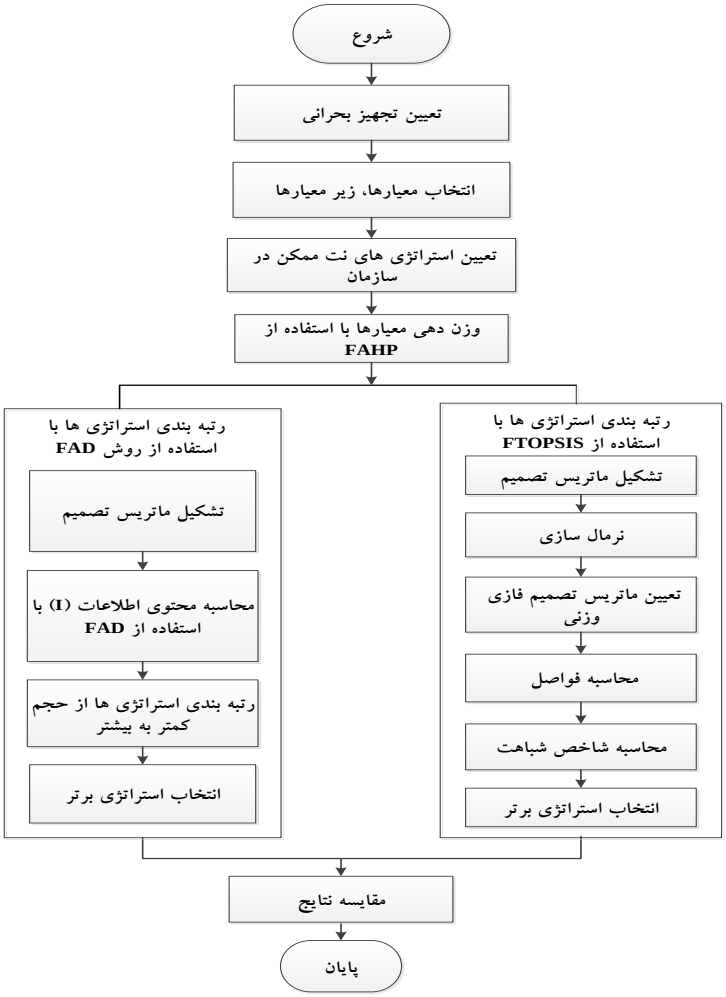
مرحله ۷: محاسبه شاخص شباهت

شاخص شباهت از رابطه (۳۰) محاسبه می‌شود:

$$CC_i = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \quad i = 1,2,\dots,m \quad (۳۰)$$

مرحله ۸: رتبه‌بندی گزینه‌ها

در این مرحله با توجه به میزان شاخص شباهت، گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند به طوری که گزینه‌هایی که شاخص شباهت بیشتری دارند رتبه بالاتری به‌دست می‌آورند. بر اساس ترتیب نزولی می‌توان گزینه‌های موجود از مسأله را رتبه‌بندی نمود. هر گزینه‌ای که CC بزرگتری داشته باشد بهتر است(عطایی، ۱۳۸۹). چارچوب تحقیق در شکل (۶) به صورت نمودار بیان شده است.



شکل ٦ : چارچوب تحقیق

مطالعه موردی

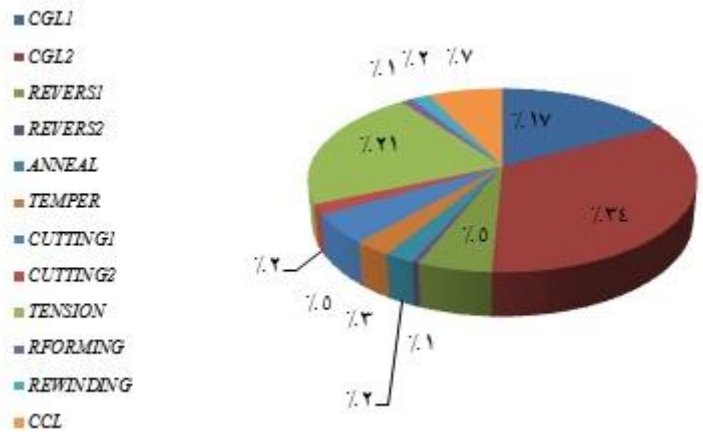
مطالعه موردی در این تحقیق، شرکت صنایع هفت الماس تولید کننده و صادر کننده انواع ورق گالوانیزه و نورد سرد می‌باشد.

برای انتخاب نمونه جهت انجام پژوهش مورد تجهیزی انتخاب شد که این تجهیز شامل بیشترین تکرار خرابی، توقف خط، زمان تعمیر و هزینه می‌باشد(بویلاکوآ و بارگیلا، ۲۰۰۰). مشخصات این تجهیز در جدول (۲) نمایش داده شده است.

جدول۲: مشخصات تجهیز انتخابی

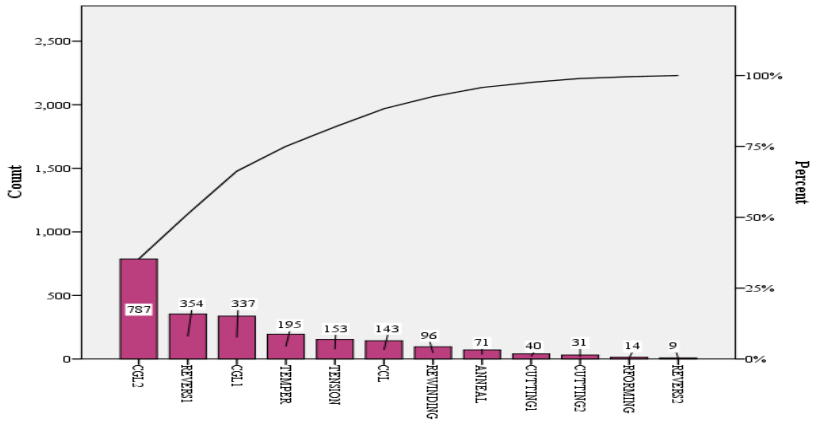
نام تجهیز	ظرفیت اسمی	طول خط	ضخامت ورق قابل تولید	استاندارد محصولات خروجی	حداکثر وزن کویل خروجی
گالوانیزه ۲ (CGL2)	۶۵۰ تن	۲۵۰m	از ۰/۱۸ تا ۱/۲۵mm	ST12, SG340, SG400	۲۵ تن

شکل (۷) درصد زمان تعمیر کلیه تجهیزات را نشان می‌دهد که دستگاه CGL2 بیشترین زمان تعمیر را به خود اختصاص داده است.



شکل۷: درصد زمان تعمیر کلیه تجهیزات

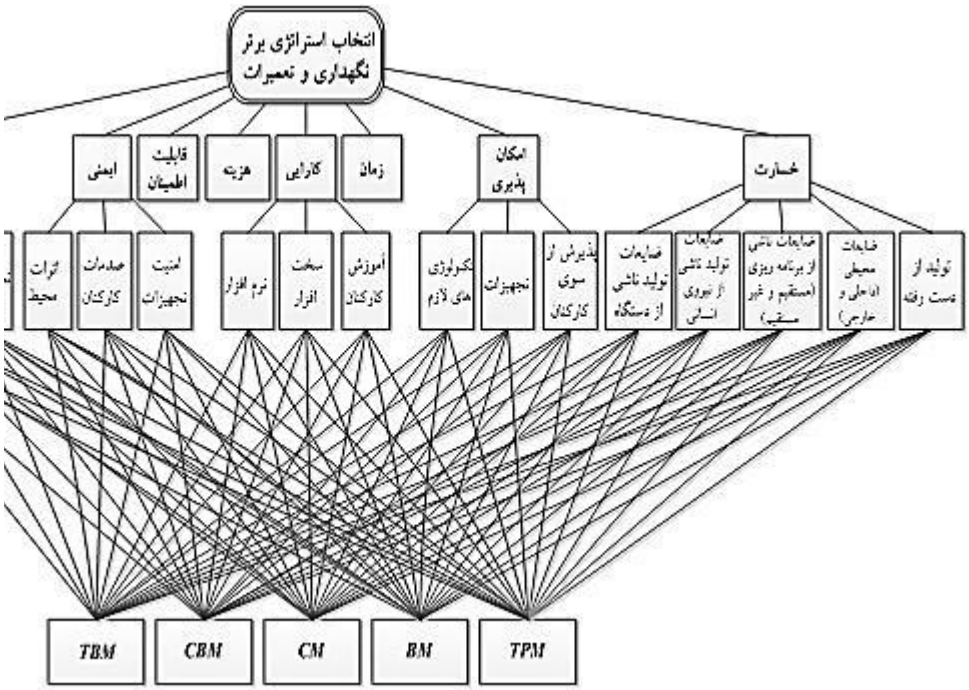
شکل (۸) تعداد خرابی‌های کلیه تجهیزات را نشان می‌دهد.



شکل ۸: تعداد خرابی‌های کلیه تجهیزات

جهت انتخاب جامعه خبرگان ۵ نفر از کارکنان بخش نگهداری و تعمیرات شرکت صنایع هفت الماس که در زمینه پژوهش موردنظر صاحب‌نظر، دارای سابقه کاری بالا و تجربه کافی بودند، به‌عنوان جامعه خبرگان انتخاب شدند.

نمودار سلسله مراتبی حاصل از هدف، معیارها و گزینه‌ها در شکل (۹) نمایش داده شده است.



شکل ۹: نمودار سلسله مراتبی

یافته‌های پژوهش

وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارها

برای تعیین وزن اهمیت معیارها از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شده است(کولاک و گورن، ۲۰۱۴). در این مرحله با استفاده از متغیرهای کلامی نمایش داده شده در جدول (۳) و انجام مقایسات زوجی معیارها و زیرمعیارها توسط کارشناسان، وزن معیارها و زیر معیارها محاسبه گردید.

جدول ۳: متغیرهای کلامی برای مقایسات زوجی معیارها و زیرمعیارها (هسیه و همکاران، ۲۰۰٤)

عدد فازی مثلثی	متغیرهای کلامی
(۱،۱،۳)	اهمیت مساوی
(۱،۳،۵)	اهمیت کمتر
(۳،۵،۷)	اهمیت بیشتر
(۵،۷،۹)	اهمیت خیلی بیشتر
(۷،۹،۹)	اهمیت مطلقا بیشتر

نتایج وزن معیارها و زیرمعیارهای بدست آمده در جدول (۴) آمده است.

جدول ٤: وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها را نسبت به انتخاب استراتژی نت

معیار	وزن نهایی
ارزش افزوده(AD)	**۰/۰۹۸**
ذخیره موجودی (AD_1)	۰/۱۲
کیفیت تولیدات (AD_2)	۰/۴۷
بازدهی تجهیزات و کارکنان (AD_3)	۰/۴۱
ایمنی (S)	**۰/۱۱۳**
صدمات کارکنان (S_1)	۰/۷
امنیت تجهیزات (S_2)	۰/۲۵
اثرات محیط (S_3)	۰/۰۵
هزینه (C)	**۰/۱۰۵**
سخت افزار (C_1)	۰/۶۳
نرم افزار (C_2)	۰/۲۵
آموزش کارکنان (C_3)	۰/۱۲
امکان پذیری (AP)	**۰/۱٦٤**
تکنولوژی‌های لازم (AP_1)	۰/۴

پذیرش از سوی کارکنان (AP_2)	۰/۱
تجهیزات (AP_3)	۰/۵
خسارت (D)	**۰/۱۳٤**
ضایعات تولید ناشی از دستگاه (D_1)	۰/۵۶
ضایعات تولید ناشی از نیروی انسانی (D_2)	۰/۱
ضایعات ناشی از برنامه ریزی (مستقیم و غیر مستقیم) (D_3)	۰/۱۷
ضایعات محیطی (داخلی و خارجی) (D_4)	۰/۰۴
تولید از دست رفته (D_5)	۰/۱۴
کارایی (E)	**۰/۱۵٤**
قابلیت اطمینان (R)	**۰/۱٤۷**
زمان (T)	**۰/۰۸۵**

ارزیابی فازی استراتژی‌های نت با توجه به معیارهای انتخابی

در این مرحله با استفاده از متغیرهای کلامی نمایش داده شده در جدول (۵) ارزیابی فازی هر یک از استراتژی‌های نت باتوجه به زیرمعیارها توسط کارشناسان انجام می‌گردد.

جدول۵: متغیرهای کلامی برای ارزیابی مستقیم فازی

اعداد فازی مثلثی	متغیرهای کلامی
(۰،۱،۳)	خیلی کم
(۱،۳،۵)	کم
(۳،۵،۷)	متوسط
(۵،۷،۹)	زیاد
(۷،۹،۱۰)	خیلی زیاد

ارزیابی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات با استفاده از روش طراحی بدیهی فازی سلسله مراتبی

مراحل پیاده‌سازی روش طراحی بدیهی فازی سلسله مراتبی به شرح زیر می‌باشد:

مرحله ۱: تشکیل ماتریس تصمیم تجمیع شده

ماتریس تصمیم تجمیع شده ۵ کارشناس با توجه به ارزیابی گزینه‌ها از نظر معیارهای مختلف، به‌صورت جدول (۶) آمده است.

جدول ٦: ماتریس تصمیم تجمیع شده

معیار	زیرمعیار	TBM	CBM	CM	BM	TPM
AD	AD_1	(۳/۴، ۵/۴، ۷/۴)	(۳/۸، ۵/۸، ۷/۸)	(۴/۲، ۵/۸، ۷/۴)	(۵/۴، ۷/۴، ۸/۶)	(۵/۸، ۷/۸، ۹)
	AD_2	(۳/۴، ۵/۴، ۷/۴)	(۴/۲، ۶/۲، ۸/۲)	(۳/۴، ۵/۴، ۷/۴)	(۵/۴، ۷/۴، ۸/۶)	(۶/۶، ۸/۶، ۹)
	AD_3	(۴/۲، ۶/۲، ۸/۲)	(۴/۶، ۶/۶، ۸/۶)	(۳/۸، ۵/۸، ۷/۸)	(۵/۸، ۷/۸، ۹)	(۶/۶، ۸/۶، ۹)
S	S_1	(۴/۲، ۶/۲، ۸/۲)	(۴/۶، ۶/۶، ۸/۶)	(۴/۲، ۶/۲، ۷/۴)	(۵/۸، ۷/۸، ۹)	(۵/۴، ۷/۴، ۹)
	S_2	(۴/۶، ۶/۶، ۸/۶)	(۵، ۷، ۸/۶)	(۴/۲، ۶/۲، ۸/۲)	(۵/۸، ۷/۸، ۸/۶)	(۵/۸، ۷/۸، ۹)
	S_3	(۲/۲، ۴/۲، ۶/۲)	(۳، ۵، ۷)	(۲/۲، ۳/۸، ۵/۸)	(۳/۸، ۵/۸، ۷/۴)	(۴/۶، ۶/۶، ۸/۲)
C	C_1	(۵، ۷، ۸/۲)	(۵، ۷، ۸/۲)	(۳/۸، ۵/۸، ۷/۸)	(۳/۸، ۵/۸، ۷/۴)	(۴/۶، ۶/۶، ۸/۲)
	C_2	(۳/۸، ۵/۸، ۷/۸)	(۳/۴، ۵/۴، ۷/۴)	(۳، ۵، ۷)	(۳/۴، ۵/۴، ۷/۴)	(۳/۸، ۵/۸، ۷/۸)
	C_3	(۳/۸، ۵/۸، ۷/۸)	(۴/۲، ۶/۲، ۸/۲)	(۲/۶، ۴/۶، ۶/۶)	(۲/۶، ۴/۶، ۶/۶)	(۵/۸، ۷/۸، ۹)
AP	AP_1	(۵، ۷، ۹)	(۵/۸، ۷/۸، ۹)	(۳/۴، ۵/۴، ۷/۴)	(۳/۴، ۵/۴، ۷/۴)	(۵، ۷، ۹)
	AP_2	(۳/۸، ۵/۸، ۷/۸)	(۴/۲، ۶/۲، ۸/۲)	(۳/۸، ۵/۸، ۷/۸)	(۲/۶، ۴/۶، ۶/۶)	(۵/۴، ۷/۴، ۹)
	AP_3	(۵، ۷، ۸/۶)	(۴/۲، ۶/۲، ۸/۲)	(۳/۴، ۵/۴، ۷/۴)	(۳، ۵، ۷)	(۴/۶، ۶/۶، ۸/۶)
D	D_1	(۴/۶، ۶/۶، ۸/۶)	(۵/۴، ۷/۴، ۸/۶)	(۴/۲، ۶/۲، ۷/۸)	(۵/۴، ۷/۴، ۸/۲)	(۵/۸، ۷/۸، ۹)
	D_2	(۱/۸، ۳/۸، ۵/۸)	(۲/۶، ۴/۶، ۶/۶)	(۱/۸، ۳/۸، ۵/۸)	(۴/۲، ۵/۸، ۷/۴)	(۴/۲، ۶/۲، ۷/۸)
	D_3	(۱، ۲/۶، ۴/۶)	(۱/۸، ۳/۸، ۵/۸)	(۱/۴، ۳/۴، ۵/۴)	(۲/۲، ۳/۸، ۵/۸)	(۲/۶، ۴/۶، ۶/۶)
	D_4	(۱/۸، ۳، ۵)	(۲/۲، ۳/۸، ۵/۸)	(۱/۴، ۲/۶، ۴/۶)	(۱/۸، ۳/۴، ۵/۴)	(۱/۸، ۳/۴، ۵/۴)
	D_5	(۳/۸، ۵/۸، ۷/۸)	(۴/۲، ۶/۲، ۷/۸)	(۳، ۵، ۷)	(۵/۸، ۷/۸، ۹)	(۴/۶، ۶/۶، ۸/۲)
E	-	(۴/۶، ۶/۶، ۸/۶)	(۵، ۷، ۸/۶)	(۳/۴، ۵/۴، ۷/۴)	(۵، ۷، ۹)	(۵/۴، ۷/۴، ۹)
R	-	(۵، ۷، ۸/۶)	(۶/۲، ۸/۲، ۹)	(۳/۴، ۵/۴، ۷/۴)	(۴/۶، ۶/۶، ۸/۶)	(۶/۶، ۸/۶، ۹)
T	-	(۴/۶، ۶/۶، ۸/۲)	(۵/۸، ۷/۸، ۹)	(۳/۸، ۵/۸، ۷/۸)	(۴/۶، ۶/۶، ۸/۶)	(۶/۲، ۸/۲، ۹)

مرحله ۲: محاسبه محتوای اطلاعاتی (I)

در این گام محتوای اطلاعاتی با توجه به وزن‌های مربوط به معیارها و زیرمعیارها جدول (۴) محاسبه می‌شود، در جدول (۷) می‌توان نتایج را مشاهده نمود.

جدول۷: محتوای اطلاعاتی

گزینه / معیار	TBM	CBM	CM	BM	TPM
AD	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
S	۰/۰۰۹	۰/۰۱۰	۰/۰۰۸	۰/۰۱۴	۰/۰۱۳
C	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۹
AP	۰/۰۲۶	۰/۰۲۵	۰/۰۱۴	۰/۰۱۳	۰/۰۲۵
D	۰/۰۱۱	۰/۰۱۴	۰/۰۰۹	۰/۰۱۵	۰/۰۱۷
E	۰/۰۲۹	۰/۰۲۳	۰/۰۵۵	۰/۰۲۲	۰/۰۱۷
R	۰/۰۲۲	۰/۰۰۸	۰/۰۵۳	۰/۰۲۷	۰/۰۰۵
T	۰/۰۱۶	۰/۰۰۷	۰/۰۲۵	۰/۰۱۶	۰/۰۰۵

مرحله ۳: رتبه بندی استراتژی‌ها از حجم کمتر به بیشتر

در این مرحله با توجه به میزان محتوای اطلاعاتی، گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند. گزینه‌ای که کمترین حجم اطلاعاتی I را داشته باشد به عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شود. نتایج در جدول (۸) آورده شده است.

جدول۸: رتبه‌بندی استراتژی‌های نت

ردیف	گزینه	محتوای اطلاعاتی	رتبه
۱	TBM	۰/۱۲	۴
۲	CBM	۰/۱۰	۲
۳	CM	۰/۱۷	۵
۴	BM	۰/۱۱	۳
۵	TPM	۰/۰۹	۱

باتوجه به جدول (۸)، استراتژی نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر از اولویت برتری نسبت به سایر استراتژی‌ها برخوردار است.

۵-۳- ارزیابی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات با استفاده از روش تاپسیس فازی سلسله مراتبی

گام ۱: تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری

نتایج حاصل از ارزیابی گزینه‌ها براساس معیارها طبق اعداد فازی مطابق جدول (۶) می‌باشد.

گام ۲: تعیین ماتریس وزن معیار

این ماتریس در جدول (۴) نشان داده شده است.

گام ۳: یافتن ایده‌آل مثبت فازی ($FPIS,A^+$) و حل ایده‌آل منفی فازی ($FNIS,A^-$)

در این گام از مقادیر ایده‌آل مثبت فازی ($FPIS,A^+$) و ایده‌آل منفی فازی ($FNIS,A^-$) معرفی شده توسط چن برای تمام معیارها استفاده شده است. این مقادیر عبارتند از:

$\tilde{v}_j^* = (1,1,1)$

$\tilde{v}_j^- = (0,0,0)$

گام ۴: فاصله از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی فازی

نتایج محاسبه فاصله از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی فازی در جدول (۹) نشان داده شده است.

جدول ۹: محاسبه فاصله از ایده آل مثبت و فاصله ازایده آل منفی

ردیف	گزینه	فاصله از ایده آل منفی	فاصله از ایده آل مثبت
۱	TBM	۵/۹۲	۰/۳۴
۲	CBM	۵/۹۰	۰/۳۷
۳	CM	۵/۹۵	۰/۳۰
۴	BM	۵/۹۱	۰/۳۵
۵	TPM	۵/۸۹	۰/۳۸

گام ۵: رتبه‌بندی گزینه‌ها

در این مرحله با توجه به میزان شاخص شباهت، گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند. بر اساس ترتیب نزولی می‌توان گزینه‌های موجود از مسأله را رتبه‌بندی نمود. هر گزینه‌ای که شاخص شباهت بزرگتری داشته باشد بهتر است. نتایج در جدول (۱۰) آورده شده است.

جدول ۱۰: رتبه بندی گزینه‌ها

ردیف	گزینه	شاخص شباهت	رتبه
۱	TBM	۰/۰۵۵	۴
۲	CBM	۰/۰۵۹	۲
۳	CM	۰/۰۴۸	۵
۴	BM	۰/۰۵۶	۳
۵	TPM	۰/۰۶۱	۱

باتوجه به جدول (۱۰)، استراتژی نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر از اولویت برتری نسبت به سایر استراتژی‌ها برخوردار است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این پژوهش دو مدل تصمیم‌گیری برای انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات در شرکت هفت الماس پیشنهاد و نتایج با هم مقایسه گردیدند. در هر دو مدل برای تعیین وزن اهمیت معیارها از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شده است. با استفاده از متغیرهای زبانی و مقایسات زوجی معیارها و زیرمعیارها توسط کارشناسان انجام گردید و سپس وزن معیارها و زیر معیارها محاسبه گردید و برای ارزیابی فازی استراتژی‌های نت با توجه به معیارهای انتخابی با استفاده از متغیرهای زبانی ارزیابی، توسط کارشناسان انجام گردید و سپس با پیاده‌سازی مدل‌های ارائه شده استراتژی‌های نت رتبه‌بندی شدند. در ادامه نتایج دو روش تاپسیس فازی و طراحی بدیهی فازی برای انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات مقایسه

شدند، که نتایج مقایسه حاکی از یکسان بودن جواب‌های این دو روش بود، در حالیکه روش طراحی بدیهی کارایی بهتری از لحاظ حجم محاسبات داشت. بررسی نتایج حاکی از این است که استراتژی نگهداری و تعمیرات بهره‌ور فراگیر از اولویت بیشتری نسبت به سایر استراتژی‌ها برخوردار است. با مقایسه روش طراحی بدیهی رتبه‌بندی فازی با تاپسیس فازی مشخص می‌شود که با استفاده از روش طراحی بدیهی فازی نیاز به استفاده از روابط فاصله فازی مورد استفاده در تاپسیس فازی نبوده و محاسبات به طرز قابل توجه به دلیل استفاده از روابط (۱۰) و (۱۱)کاهش و دقت افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است دو روش طراحی بدیهی فازی و تاپسیس فازی به دلیل داشتن روش حل متفاوت الزاما دارای جواب‌های یکسانی نیستند ولی در بعضی موارد استفاده از دو روش می‌تواند منجر به نتایج یکسان گردد. در حالت کلی ازآنجایی که منطق دو روش یکسان است روش طراحی بدیهی فازی در حالت رتبه بندی می‌تواند به عنوان بدیل تاپسیس فازی بکار رود. از آنجایی‌که انتخاب استراتژی نگهداری و تعمیرات از مسائل مهم تصمیم گیری در سازمان است که با بهروری در سازمان رابطه مستقیم سازمان دارد. استفاده همزمان دو روش و مقایسه آن‌ها در صورت مغایرت جواب‌ها منجر به تصمیم‌گیری دقیق‌تر و مطمئن‌تر می‌شود. با توجه به نتایج و یافته‌های بدست آمده از این تحقیق، می‌توان پیشنهاداتی را برای تحقیقات آتی ارائه نمود. در دنیای واقعی عوامل مختلفی باعث تغییر مقدار واقعی ارزیابی‌ها می‌شود همانند تغییر قیمت، تحریم، عوامل انسانی سازمانی بنابراین در تحقیقات آتی، تعیین میزان این عوامل مخاطره و وارد نمودن آن‌ها در مساله می‌تواند به عنوان پژوهش آتی معرفی گردد.

منابع

آقایی، م.، و فضلی، ص. (۱۳۹۱). ***به‌کارگیری روش ترکیبی DEMATEL و ANP برای*** *انتخاب استراتژی تعمیرات و نگهداری*. چشم‌انداز مدیریت صنعتی. شماره ٦، صفحات ۱۰۷-۸۹.

حاج شیرمحمدی، ع. (۱۳۹۰). *برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات (مدیریت فنی در صنایع)*. چاپ هجدهم. اصفهان: ارکان دانش، ۵۱۶ صفحه.

عرب شمالی، ا. (۱۳۹۲). *مقدمه‌ای بر نگهداری قابلیت اطمینان / پایایی محور (مبتنی بر قابلیت اطمینان)*. دوره آموزشی کارکنان واحد نت شرکت پالایش گاز بید بلند.

عطایی، م. (۱۳۸۹). *تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی*. دانشگاه صنعتی شاهرود.

نایینی، ح. (۱۳۸۷) ، *الگویی برای تغییر فرهنگ سازمانی متناسب با ارتقای سیستم نگهداری و تعمیرات*، تدبیر، شماره ۲۰۰.

Arunraj, N.S., & Maiti, J. (2010). *Risk-based maintenance policy selection using AHP and Goal Programming*. Safety Science, 48, PP. 238-247.

Bowersox, D., & Closs, D. (1996). *Logistical management: the integrated Supply chain management*. Mc Graw – Hill. New York, 10, PP. 283–286.

Bevilacqua, M., & Braglia, M. (2000). *The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection*. Reliability Engineering and System Safety, 70, PP. 71–83.

Chen, Y., & Yang, B. (2013). *Research on the maintenance decision model for marine equipment based on analytic network process*. Journal of Convergence Information Technology (JCIT), 8, PP. 850-856.

Chen, C.T. (2000). *Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment*. Fuzzy Sets and Systems, 114, pp. 1-9.

Ding, S.H., & Kamaruddin, S.H. (2012). *Selection of optimal maintenance policy by using fuzzy multi criteria decision making method*. Proceedings of international conference on industrial engineering and operations management, July 3–6, Istanbul, Turkey.

Ding, S.H. & Kamaruddin, S.H. (2015). *Assessment of distance-based multi-attribute group decision making methods from a maintenance strategy perspective*. Journal of Industrial Engineering International, 11, PP. 73–85.

Emovon, I., Norman, R.A., & Murphy, A.J. (2016). *Elements of maintenance systems and tools for implementation within the framework of reliability centered maintenance - a review*. Journal of Mechanical Engineering and Technology, 8, pp. 1-34

Güner, H., & Kulak, O. (2014). *A new fuzzy multi-criteria decision making approach: extended hierarchical fuzzy axiomatic design approach with risk factors.* Springer International Publishing Switzerland, 184, PP. 141–156.

Güner, H., Mutlu, O., & Kulak, O. (2005). *Supplier selection in fuzzy environment*. 35th Computers and Industrial Engineering. June 19-22, Turkey, Istanbul, 35, PP. 839–844.

Ge, Y., Xiao, M., Yang, Z.h., Zhang, L., Hu, Z., & Feng, D. (2017). *An integrated logarithmic fuzzy preference programming based methodology for optimum maintenance strategies selection*. Soft Computing, 60, pp. 591-601.

Hsieh, T.Y., Lu, S.T., & Tzeng, G.T. (2004). *Fuzzy MCDM approach for planning and design tenders selection in public office buildings*. International Journal of Project Management, 22, PP. 573–584.

Ighravwe, D.E., & Oke, S. (2017). *Ranking maintenance strategies for sustainable maintenance plan in manufacturing systems using fuzzy axiomatic design principle and Fuzzy-TOPSIS*. Journal of Manufacturing Technology Management.

Ilangkumaran, M., & Kirubakaran, B. (2016). *Selection of optimum maintenance strategy based on FAHP integrated with GRA–TOPSIS*. Annals of Operations Research. PP. 1-29.

Kulak, O., Çebi, S., & Kahraman, C. (2010). *Applications of axiomatic design principles: A literature review*. Expert Syst, 37, PP. 6705–6717.

Kahraman, C., & Çebi, S. (2009). *A new multi-attribute decision making method: hierarchical fuzzy axiomatic design*. Expert System, 36, PP. 4848–4861.

Kulak, O., & Kahraman, C. (2005). *Fuzzy multi-attribute selection among transportation companies using axiomatic design and analytic hierarchy process*. Information Sciences. 170, PP. 191–210.

Kulak, O., Kahraman, C., Oztysi, B., & Tanyas, M. (2005). *Multi attribute information technology project selection using fuzzy axiomatic design*. The Journal of Enterprise Information Management, 18, PP. 275-288.

Kulak, O., Goren, H.G., & Supciller, A.A. (2015). *A new multi criteria decision making approach for medical imaging systems considering risk factors*. Applied Soft Computing, 35, PP. 931–941.

Momeni, M., Fathi, M.R., Zarchi, M.K., & Azizollahi, S. (2011). *A fuzzy TOPSIS-based approach to maintenance strategy selection: a case study*. Middle-East Journal of Scientific Research, 8, PP. 699–706.

Mahdavi, I., Mahdavi-Amiri, N., Heidarzade, A., & Nourifar, R. (2008). *Designing a model of fuzzy TOPSIS in multiple criteria decision making*. Mathematics and Computation, 206, PP. 607-617.

Moubray, J. (1997). *Reliability-Centered Maintenance.* Oxford. Butterworth Heinemann.

Özcana, E., Ünlüsoyb, S., & Erenb, T. (2017). *A combined goal programming – AHP approach supported with TOPSIS for maintenance strategy selection in hydroelectric power plants.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 78, pp. 1410–1423.

Pourjavad, E., Shirouyehzad, H., & Shahin, A. (2013). *Selecting maintenance strategy in mining industry by analytic network process and TOPSIS*. International Journal of Industrial and Systems Engineering, 15, PP. 171-192.

Suh, N.P. (1990). *Axiomatic design theory for systems*. Journal of Research in Engineering Design, 10, PP. 189-209.

Suh, N.P. (1998). *Axiomatic design theory for systems.* Journal of Research in Engineering Design, 10, PP. 210-225.

Shygith, K., Ilangkumaran, M., & Kumanan, S. (2008). *Multi-criteria decision making approach to evaluate optimum maintenance strategy in textile industry*. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 14, PP. 375-386.

Saghafian, S., & Hejazi, S.R. (2005). *Multi-criteria group decision making using a modified fuzzy TOPSIS procedure*. Proceedings of the International Conference on Computational Intelligence for Modeling, Control and Automation, and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce. 2, PP. 215-221.

Sadeghi, A., & Alborzi Manesh, R. (2012). *The application of fuzzy group Analytic Network Process to selection of best maintenance strategy- A case study in Mobarakeh steel company, Iran*. Social and Behavioral Sciences, 62, PP. 1378 – 1383

Seiti, H.R., Behnampour, A., Imani, D.M., & Houshmand, M. (2017). *Failure Modes and Effects Analysis under Fuzzy Environment Using Fuzzy Axiomatic Design Approach*. Int. J. Res. Ind. Eng, 4, PP. 51-68.

Tajadod, M., Abedini, M., Rategari, A., & Mobin, M.S. (2016). *A Comparison of Multi-Criteria Decision Making Approaches for Maintenance Strategy Selection A Case Study*. International Journal of Strategic Decision Sciences, 7, pp. 51-69.

Wang, L., Chua, J., & Wu, J. (2007). *Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process*. International Journal of Production Economics, 107, PP. 151-163.