

بالانس خط دمونتاز مبتنی بر مدل کانو و روش های تصمیم گیری چند معیاره فازی (مورد مطالعه: خط بازیافت ضایعات الکترونیکی)

مینا ریاحی*، مصطفی زندیه**

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۲۰ - تاریخ پذیرش: ۹۵/۷/۹

چکیده:

خط دمونتاز قطعات گزینه مناسبی برای برای کاهش مشکلات زیست محیطی ناشی از ضایعات تولید شده است. هدف مسئله بالانس خط دمونتاز قطعات، هماهنگ کردن فعالیت های خط دمونتاز است به نحوی که کل زمان لازم در هر یک از ایستگاه های کاری تقریباً یکسان باشد. هدف اصلی فرآیند دمونتاز قطعات استفاده مجدد از اجزا و کاهش اثرهای نامطلوب روی محیط زیست است. این مقاله از رویکردی مبتنی بر مدل کانو، تحلیل سلسله مراتبی فازی، تاپسیس اصلاح شده، پرومیتی استفاده کرده و همچنین با بکارگیری روابط تقدمی AND/OR توالی وظایف را بدست می آورد. وظیفه ها بر اساس اولویت و روابط تقدمی به ایستگاه ها واگذار می شوند. مورد مطالعه خط بازیافت با استفاده از هر دو روش تاپسیس اصلاح شده و پرومیتی مورد بررسی قرار گرفته است. هر دو روش نتایج یکسان (کاهش دو ثانیه ای در چرخه) را نشان داده اند. با این وجود روش پرومیتی نسبت به روش تاپسیس اصلاح شده، رویه آسان تر ولی فرایند طولانی تری دارد.

کلمات کلیدی: بالانس خط دمونتاز، روابط تقدمی، مدل کانو، تحلیل سلسله مراتبی فازی، تاپسیس اصلاح شده و پرومیتی.

* کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، گروه مدیریت صنایع، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

** دانشیار، گروه مدیریت صنایع، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران (نویسنده مسئول)

مقدمه

در دنیای امروز متوسط طول عمر محصولات مصرفی به صورت پیوسته رو به کاهش است. دفع اصولی مواد خطرناک، استفاده مجدد از قطعات یا اجزای ارزشمند و بازیافت مواد خام به نگرانی‌های اصلی فرآیند دمونتاز قطعات تبدیل شده است. در فرآیند بازیافت یا تولید مجدد صنعتی، یک محصول به قطعات تشکیل دهنده‌اش تجزیه شده و قسمت‌های قابل استفاده آن جدا می‌شوند. اهمیت این فرآیند به خاطر فشارهای اقتصادی و زیست‌محیطی رو به افزایش است. خطوط دمونتاز قطعات گزینه‌ای مناسب برای جداسازی خودکار به حساب می‌آیند و به همین دلیل طراحی و توازن کار در آنها با هدف افزایش کارایی اهمیت بیشتری پیدا کرده است (لمبرت، ۲۰۰۳؛ مک گاورن^۱ و گوپتا^۲، ۲۰۰۳).

هدف اصلی بازیابی محصول کاهش مقدار ضایعاتی است که به محل‌های دفن فرستاده می‌شوند. این کار را می‌توان با بازیابی مواد و قطعات محصولات قدیمی و استفاده مجدد، بازیافت یا تولید مجدد آنها انجام داد. کیفیت بازیابی محصول به ویژگی‌های کالای مورد استفاده شامل سادگی جداسازی، پیمانه‌ای بودن، نوع مواد مورد استفاده و سازگاری آنها، شناسایی نوع مواد مورد استفاده و قابلیت استفاده مجدد از قطعات یا مواد در صنایع مختلف بستگی دارد. دمونتاز یکی از حیاتی‌ترین گام‌های بازیابی محصول است (مک گاورن و گوپتا، ۲۰۰۳).

دمونتاز امکان انتخاب قطعات و مواد مطلوب را فراهم می‌کند و به همین دلیل نقش مهمی در بازیابی محصولات و مواد دارد (گوپتا، ۲۰۱۰). می‌توان دمونتاز را استخراج اصولی قطعات/ زیرمجموعه‌ها و مواد ارزشمند از محصولات دور انداخته شده دانست که از طریق مجموعه‌ای از عملیات‌ها صورت می‌گیرد. قطعات/زیرمجموعه‌ها و مواد به دست آمده از دمونتاز تمیز، بازسازی، آزمایش و در انبار ذخیره می‌شوند تا زمانی که برای تولید مجدد استفاده شوند. مواد دوستدار محیط زیست می‌توانند به تأمین کنندگان مواد خام فروخته شوند و ضایعات باقی مانده

1. McGovern

2. Gupta

به محل دفع ارسال می‌شوند (مک گاورن و گوپتا، ۲۰۰۷). مسئله اصلی بالانس خط دمونتاز^۱ را می‌توان به صورت تخصیص ایستگاه‌های کاری به وظایف دمونتاز دارای روابط تقدمی دانست به گونه‌ای که معیاری بهینه شود.

پیشینه

گانگور و گوپتا (۱۹۹۹؛ ۲۰۰۲) نخستین طرح مسئله بالانس خط دمونتاز قطعات را ارائه نموده است. گانگور و گوپتا (۲۰۰۱) با استفاده از الگوریتم شاخه و حد روشی برای تولید خودکار برنامه‌های بازیافت و تولید مجدد محصول ارائه نموده‌اند. آنها همچنین مسئله بالانس خط دمونتاز را تحت شرایط دمونتاز کامل مورد بررسی قرار داده‌اند. تیواری و همکاران^۲ (۲۰۰۱) روشی مبتنی بر شبکه پتری ارائه کرده‌اند که راهبرد بهینه دمونتاز قطعات یک محصول را به دست می‌آورد.

مک گاورن و گوپتا (۲۰۰۳) راه حلی برای دمونتاز قطعات ارائه نموده‌اند که ابتدا از مدلی خاکستری استفاده می‌کند و در ادامه با کمک یک روش ابتکاری آنرا بهبود می‌دهد. همچنین مک گاورن و گوپتا (۲۰۱۰) با به کارگیری روش‌های بهینه‌سازی ترکیبی مسئله توالی دمونتاز را حل کرده‌اند. گوپتا و لمبرت^۳ (۲۰۰۸) راه‌حلی اکتشافی برای مسئله بالانس خط دمونتاز ارائه کرده‌اند که هزینه‌های دمونتاز قطعات با توجه به توالی آنها را در نظر می‌گیرد. تانگ و ژو^۴ (۲۰۰۶) رویکردی مبتنی بر شبکه پتری برای طراحی خط دمونتاز ارائه کرده‌اند که می‌تواند سفارش‌های متغیر برای چند قطعه استفاده‌شده با تاریخ‌های تحویل متفاوت را آماده کند.

مک گاورن و گوپتا (۲۰۰۷) تحلیل بهینه‌سازی ترکیبی روی مسئله بالانس خط دمونتاز انجام داده‌اند. همچنین آنها روشی مبتنی بر اجتماع مورچه‌ها برای بهینه‌سازی توالی دمونتاز با چند

1. Disassembly line balancing problem (DLBP)

2. Tiwari et al.

3. Lambert

4. Tang and Zhou

هدف پیشنهاد کرده‌اند. آگروال^۱ و تیواری (۲۰۰۸) یک الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع مورچگان برای بالانس خط دمونتاز U شکل با مدل ترکیبی تصادفی پیشنهاد کرده‌اند. دینگ و همکاران^۲ (۲۰۱۰) از الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع مورچه‌ها برای حل مسئله بالانس خط دمونتاز با چند تابع هدف استفاده نموده‌اند.

آلتکین و همکاران^۳ (۲۰۰۸) برای حل مسئله بالانس خط دمونتاز مبتنی بر سود یک الگوریتم برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه کرده‌اند. کاک و همکاران^۴ (۲۰۰۹) با ایجاد نمودارهای تقدم وظایف و استفاده از گراف AND/OR، دو فرموله‌سازی دقیق برای مسئله بالانس خط دمونتاز ارائه کرده‌اند. رانکی و همکاران^۵ (۲۰۰۳) رویکردی پویا برای توازن خط دمونتاز ارائه نموده‌اند که هدفش روان‌سازی خط است. ایگلین^۶ و گوپتا (۲۰۱۰) مقایسه‌ای بین مزایای اقتصادی محصولات دارای حسگر و محصولات سنتی در یک خط دمونتاز چندمحصولی انجام داده‌اند. مسئله بالانس خط دمونتاز چند هدفی توسط گانگور و گوپتا (۲۰۰۷) ارائه شده و NP-کامل بودن آن به صورت ریاضی توسط مک‌گاورن و گوپتا به اثبات رسیده است. به این ترتیب، رسیدن به راه حل بهینه هزینه محاسباتی زیادی دارد. علیرغم اینکه برخی محققان از روش‌های ریاضی برای فرمولی کردن مسئله بالانس خط دمونتاز استفاده کرده‌اند (ایگلین و گوپتا، ۲۰۰۹؛ کوک، ۲۰۰۹؛ آلتکین و آکان، ۲۰۱۱)، ماهیت ترکیبی مسئله باعث می‌شود که نتوان در شرایط واقعی از این روش‌ها استفاده کرد. به همین دلیل نیاز به استفاده از روش‌های فرا ابتکاری مثل الگوریتم ژنتیک (مک‌گاورن و گوپتا، ۲۰۰۵؛ کالای^۷ و گوپتا، ۲۰۱۱)، بهینه‌سازی اجتماع مورچگان (آگروال و تیواری، ۲۰۰۸؛ دینگ و همکاران، ۲۰۱۰)، شبیه‌سازی تبرید (کالای، ۲۰۱۱)، جستجوی ممنوع و اجتماع زنبورها (کالای و گوپتا، ۲۰۱۱) رو به افزایش است.

1. Agrawal
2. Ding et al.
3. Altekin et al.
4. Kok et al.
5. Ranky
6. Iglin
7. Kalayc

راد و همکاران (۱۳۹۲) یک مدل ریاضی چند هدفه برای ارزیابی و انتخاب استراتژی‌های مناسب جهت بازیافت محصولات الکتریکی و الکترونیکی ارائه کرده‌اند. آویکال و همکاران (۲۰۱۳) روشی ابتکاری مبتنی بر تحلیل سلسله مراتبی^۱ و پرومتی^۲ برای حل مسائل بالانس خط دمونتاز پیشنهاد کرده‌اند. آویکال و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی دیگر، با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و پرومتی، رویکردی ابتکاری برای حل این مسئله در محیط فازی ارائه کرده‌اند. پاکسوی و همکاران^۳ (۲۰۱۳) مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلطی برای مسئله بالانس خط دمونتاز مدل ترکیبی^۴ و مدل برنامه‌ریزی فازی چند هدفی^۵ برای همین مسئله ارائه کرده و اهداف مبهم تصمیم‌گیرندگان را مدنظر قرار می‌دهند.

بن‌طه و همکاران^۶ (۲۰۱۴)، مدل‌هایی برای طراحی خط دمونتاز با مدت زمان غیرقطعی ارائه نموده‌اند. در مقاله اول آنها از مفهوم هزینه منبع برای مدل‌سازی عدم قطعیت استفاده شده است. آنها در تحقیقی دیگر به جای زمان پردازش ایستگاه غیر قطعی از زمان مورد انتظار پردازش در ایستگاه کاری استفاده کرده‌اند. در تحقیق سوم تلفیق مسئله بالانس خط دمونتاز و تعیین توالی مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین در این تحقیق از آزادسازی لاگرانژ برای پیشینه‌سازی سود حاصل از خط دمونتاز استفاده شده است.

لیو و همکاران (۲۰۱۵) در مقاله خود مدل رقابتی قیمت بر مبنای کیفیت را برای بازار بازیافت زباله الکتریکی و تجهیزات الکترونیکی در یک محیط دو بخشی شامل بخش‌های رسمی و غیر رسمی، مورد بررسی قرار دادند. آنها به این نتیجه رسیدند، زمانی که زباله‌های الکترونیکی از کیفیت بالایی برخوردارند، اثر حاشیه‌ای یارانه نقش بسزایی ایفا نمی‌کند و در این موقعیت است که بخش غیر رسمی مزیت رقابتی پیدا می‌کند. این مطالعه مطرح می‌کند که هر دو بخش رسمی و غیر رسمی، محصولات با کیفیت بالا را ترجیح می‌دهند. همچنین نتایج نشان دادند که هیچ یک از دو شبکه، مزیت قیمتی روشنی در تمام سطوح کیفیت ندارند.

-
1. Analytic hierarchy process(AHP)
 2. PROMETHEE
 3. Paksoy
 4. Mixed model disassembly line balancing (MMDLB)
 5. Fuzzy multi-objective programming (FMOP)
 6. Bentaha

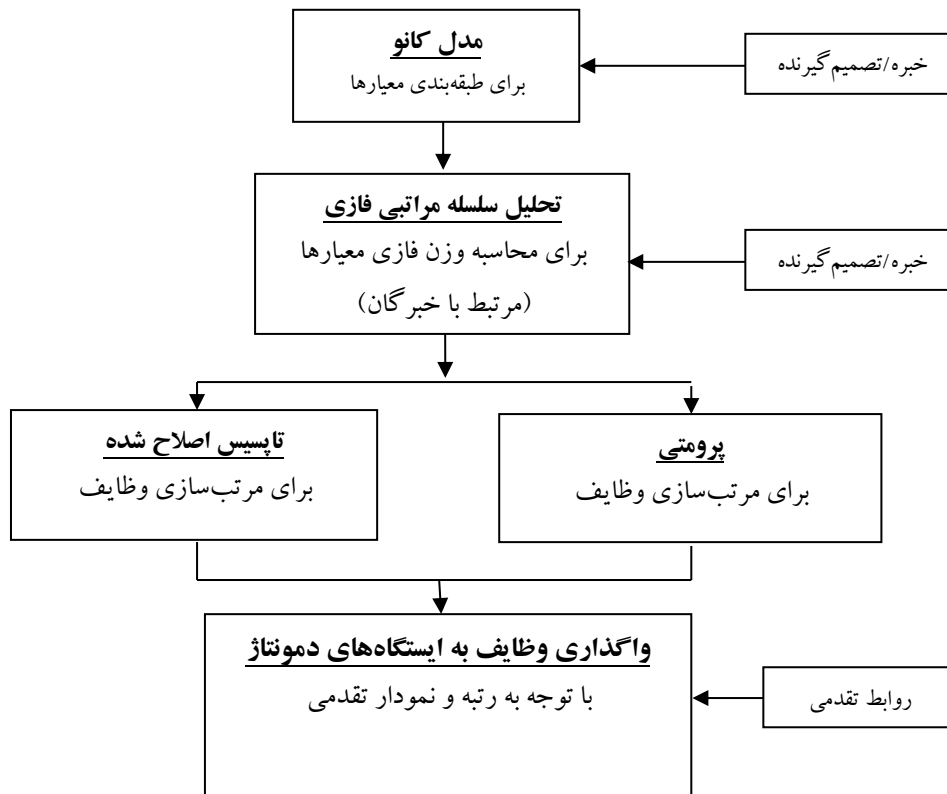
مطالعات زیادی در زمینه بالانس خط دمونتاز با اهدافی شامل توسعه رویکردهای ابتکاری، توسعه مدل‌های ریاضی و سایر روش‌های حل انجام شده‌اند. عواملی مثل تعداد پیروها، درآمد حاصل از جدا کردن قطعات، تقاضا برای قطعات، زمان جدا کردن قطعه، قطعه‌های خطرناک، حالت مواد و شکنندگی در به وجود آمدن این رویکردهای ابتکاری مورد توجه قرار نگرفته‌اند. این مقاله تلاش می‌کند روشی مناسب برای تخصیص وظایف به ایستگاه‌های کاری پیشنهاد دهد که محدودیت‌های تقاضای قطعه، درآمد تولیدشده و محافظت از محیط زیست در زمان دمونتاز را برآورده کند. این هدف مسئله تصمیم‌گیری پیچیده‌ای را به وجود می‌آورد که از جنبه‌های اقتصادی، فنی، زیست محیطی و اجتماعی آثار مهمی دارد. امروزه از تصمیم‌گیری چندمعیاره^۱ در ارزیابی سیاست‌های زیست محیطی استفاده بیشتری می‌شود. دلایل محبوبیت این رویکرد عبارتند از (بروکر و همکاران^۲، ۲۰۰۴: ترکسین و همکاران^۳، ۲۰۱۱):

۱. امکان حل مسائل پیچیده را فراهم می‌کند.
 ۲. معیارهایی را در نظر می‌گیرد که به سادگی قابل تبدیل به واحد پول نیستند.
 ۳. با در نظر گرفتن عوامل ملموس و غیرملموس، دیدی جامع به دست می‌دهد.
 ۴. به ذینفعان اجازه می‌دهد که در تصمیم‌گیری مشارکت کنند.
- بنابراین رویکرد این مقاله ترکیبی از مدل کانو برای انتخاب معیارها، تحلیل سلسله مراتبی فازی برای ارزیابی وزن هر معیار و تاپسیس اصلاح^۴ شده یا پرومتی برای اولویت‌دهی به وظایف واگذار شده به ایستگاه‌های کاری است.

1. Multiple-criteria decision making (MCDM)
 2. Brucker et al.
 3. Turcksin et al.
 4. M-TOPSIS

مبانی نظری تحقیق:

مراحل تحقیق مطالعه پیش رو در یک فلوجارت به صورت جامع در شکل (۱) آمده است:



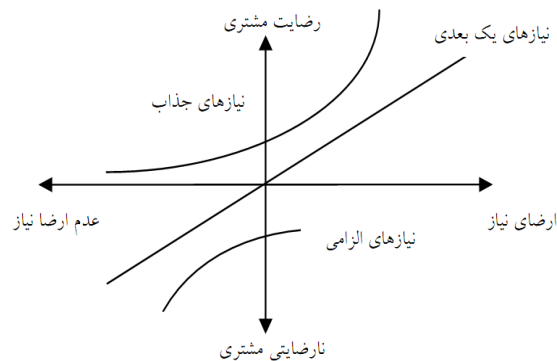
شکل ۱- مراحل تحقیق

دسته‌بندی معیارها با استفاده از مدل کانو

نظریه کیفیت جذاب (مدل کانو)

مشتری معمولاً قادر به بیان ویژگی‌های مطلوب مورد نظر در زمان خرید نمی‌باشد. یک پرسشنامه ساده تنها می‌تواند بخش کوچکی از نیازهای مشتری را شناسایی نماید و به این ترتیب قسمت اعظمی از آنها ناشناخته باقی خواهد ماند (ماتزلر^۱ و هینترهوبر^۲، ۱۹۹۸). مدل کانو مدلی است که توانایی شناسایی نیازهای اساسی را دارد. کانو نظریه کیفیت جذاب را معرفی نموده است. بر اساس زیربنای نظری موجود، مدلی دو بعدی از کیفیت ارائه شده است. به علاوه راهکاری نیز برای استفاده از این روش به صورت عملی ارائه شده است (کانو و همکاران^۳، ۱۹۸۴). نظریه کیفیت جذاب پنج بعد برای کیفیت ادراک شده پیشنهاد می‌کند (که عبارتند از جذابیت، تک بعدی بودن، الزامی بودن، عدم تفاوت و کیفیت معکوس). ولی تحقیقات بعدی، بعد دیگری به نام مشکوک بودن به آن اضافه کرده‌اند که نشان‌دهنده سوء تفاهم، اشتباه یا قضاوت غلط است (چادهاو همکاران^۴، ۲۰۱۱: برگر و همکاران^۵، ۱۹۹۳). این نظریه در دو دهه گذشته توجه محققان و متخصصان در زمینه‌های تفکر راهبردی، برنامه‌ریزی تجاری و توسعه محصول را به خود جلب کرده و در زمینه‌های نوآوری، رقابت‌پذیری و انطباق محصول آنها را راهنمایی کرده است (مارتین^۶ و لارس^۷، ۲۰۰۸). کانو و همکاران دیدی دوبعدی به کیفیت داشته‌اند و شکل (۲) مدل اصلی کانو را نشان می‌دهد.

-
1. Matzler
 2. Hinterhuber
 3. Kano et al.
 4. Chaudha et al.
 5. Berger et al.
 6. Martin
 7. Lars



شکل ۲- مدل اصلی کانو

- عناصر مختلف کیفیت در نظریه کیفیت جذاب به شرح زیر هستند (کانو و همکاران، ۱۹۸۴؛ چادها و همکاران، ۲۰۱۱؛ برگر و همکاران، ۱۹۹۳؛ لمبرت، ۱۹۹۹؛ تان^۱ و شن^۲، ۲۰۰۰):
۱. نیازهای الزامی: در صورتی که این ویژگی وجود داشته باشد، مشتری‌ها محصول را خواهند پذیرفت و در غیر این صورت به شدت ناراضی خواهند بود.
 ۲. نیازهای تک‌بعدی: رضایت مشتری رابطه مستقیمی با ویژگی‌هایی عملکردی دارد.
 ۳. نیازهای جذاب: در صورتی که این ویژگی ارائه شود مشتری بسیار راضی خواهد بود ولی در غیر این صورت محصول را بدون نارضایتی خواهد پذیرفت.
 ۴. نیازهای بی‌تفاوتی: رضایت مشتری تحت تأثیر این ویژگی نیست.
 ۵. نیازهای معکوس: اگر این ویژگی وجود داشته باشد، مشتری ناراضی خواهد بود در غیر این صورت راضی خواهد بود.
 ۶. نیازهای مشکوک: حاکی از آن است که پرسش به درستی بیان نشده است یا مشتری آن را به درستی درک نکرده است یا پاسخی غیرمنطقی به آن داده شده است.
- مدل کانو در ابتدا برای توسعه محصول پیشنهاد شد و روشی منحصر به فرد برای شناسایی نیازمندی‌های مشتری به حساب آمد. نیازهای مشتری در دسته‌بندی‌های مختلف قرار می‌گیرند.

پژوهش حاضر نقطه نظر فرد تصمیم گیرنده را به نقطه نظر مشتری و معیارهای بالانس خط دمونتاز را به ابعاد تشبیه می کند (چادها و همکاران، ۲۰۱۱).

گام های دسته بندی معیارها با استفاده از مدل کانو

گام ۱: ابتدا نیازها از طریق مصاحبه های شخصی با تصمیم گیرندگان تعیین می شوند. در گام بعدی مجموعه ای از ویژگی هایی که می تواند این نیازها را برآورده سازند، تعیین شده و پرسشنامه ای شامل سوالات مثبت و منفی مربوط به این ویژگی ها طراحی می گردد. نمونه ای از پرسش های مورد استفاده در این مطالعه در شکل (۳) ارائه شده است.

اگر "زمان دمونتاز" بعنوان معیاری با اولویت در نظر گرفته شود، چه حسی خواهید داشت؟
 ۱. علاقمند ۲. قابل قبول ۳. بی تفاوت ۴. قابل تحمل ۵. بیزار
 اگر "زمان دمونتاز" بعنوان معیاری با اولویت در نظر قرار نشود، چه حسی خواهید داشت؟
 ۱. علاقمند ۲. قابل قبول ۳. بی تفاوت ۴. قابل تحمل ۵. بیزار

شکل ۳- نمونه ای از پرسشنامه بررسی معیارها از نظر مدل کانو

گام ۲: طبق پیشنهاد کانو و همکاران (۱۹۸۴)، پرسشنامه باید بر اساس ترکیبی از پاسخ های سوالات مثبت و منفی برای ارزیابی مصاحبه کننده و دستیابی به یک نتیجه واحد ارائه شود (جدول (۱)).

جدول ۱- جدول ارزیابی اصلاح شده کانو

سوالات مثبت					نیازمندی ها	سوالات منفی
۱. علاقمند	۲. قابل تحمل	۳. بی تفاوت	۴. قابل تحمل	۵. بیزار		
Q	A	A	A	O	۱. علاقمند	
R	(D)Q	I	I	M	۲. قابل قبول	

M	I	I	I	R	۳. بی تفاوت
M	(I)Q	I	I	P	۴. قابل تحمل
Q	R	R	R	R	۵. بیزار
O: تک بعدی A: جذاب M: بایدی I: بی تفاوت R: معکوس Q: مشکوک					

گام ۳: پس از تکمیل جدول ارزیابی، تعداد تکرار هر دسته شمارش شده و داده‌های به دست آمده به جدولی مشابه جدول (۲) منتقل می‌شوند. جدول (۲) تمام نیازها را به همراه تعداد دفعات تکرار هر عنصر و پرتکرارترین دسته نشان می‌دهد.

جدول ۲- مثالی برای جدول فراوانی

مدل کانو	کل	Q	R	I	M	O	A	نیازمندی‌ها
A	۱۰۰	۲	۳	۲۵	۱۰	۱۲	۴۸	معیار ۱
O	۱۰۰	۰	۰	۱۵	۱۵	۵۵	۱۵	معیار ۲

محاسبه اهمیت نسبی معیارها

روش تحلیل سلسله مراتبی روش بردار ویژه نیز نامیده می‌شود. به این معنی که بردار ویژه متناظر با بزرگترین مقدار ویژه، ماتریس مقایسه‌های زوجی اولویت معیارها را ارائه می‌کند. بردار وزن‌های به دست آمده از مقایسه‌های زوجی، عملکرد نسبی معیارهای مختلف را نشان می‌دهد. در تحلیل سلسله مراتبی، اعداد فازی مثلثی برای بهبود سنجش معیارها در ماتریس-های قضاوت و محاسبات بازه‌ای برای حل بردار ویژه فازی به کار رفته‌اند (باکلی^۱، ۱۹۸۵). رویه مورد استفاده برای این کار به شرح زیر است (سینگ^۲ و میشر^۱، ۲۰۰۲: یاداو^۲ و همکاران، ۲۰۱۲):

1. Buckley
2. Singh

گام ۱: ایجاد ماتریس مقایسه فازی: با استفاده از اعداد فازی مثلثی به دست آمده از مقایسه‌های زوجی، ماتریس قضاوت $\tilde{A}(\tilde{a}_{ij})$ ایجاد می‌شود.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \tilde{a}_{13} & \dots & \tilde{a}_{1(n-1)} & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \tilde{a}_{21} & \dots & \tilde{a}_{2(n-1)} & \tilde{a}_{2n} \\ \dots & \dots & 1 & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{a}_{(n-1)1} & \tilde{a}_{(n-1)2} & \tilde{a}_{(n-1)3} & \dots & 1 & \tilde{a}_{(n-1)n} \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \tilde{a}_{n3} & \dots & \tilde{a}_{n(n-1)} & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

که:

$$\tilde{a}_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ \tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}, \tilde{9} \text{ or } \tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{9}^{-1} & i \neq j \end{cases}$$

گام ۲: تخمین درجه خوش‌بینی \tilde{A} : درجه رضایت ماتریس قضاوت \tilde{A} با توجه به شاخص خوش‌بینی تخمین زده می‌شود. هر قدر مقدار μ بیشتر باشد خوش‌بینی بیشتر خواهد بود. شاخص خوش‌بینی یک ترکیب محدب خطی است که به صورت رابطه (۲) تعریف می‌گردد.

$$\tilde{a}_{ij}^{\alpha} = \mu \tilde{a}_{iju}^{\alpha} + (1 - \mu) \tilde{a}_{ijl}^{\alpha}, \quad \forall \mu \in [0, 1] \quad (2)$$

با ثابت بودن α ، ماتریس قضاوت دقیق را طبق رابطه (۳) می‌توان پس از مقدار دادن به شاخص خوش‌بینی μ به دست آورد تا تخمینی از درجه رضایت به ما بدهد.

$$\tilde{A}^{\alpha} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12}^{\alpha} & \tilde{a}_{13}^{\alpha} & \dots & \tilde{a}_{1(n-1)}^{\alpha} & \tilde{a}_{1n}^{\alpha} \\ \tilde{a}_{21}^{\alpha} & 1 & \tilde{a}_{21}^{\alpha} & \dots & \tilde{a}_{2(n-1)}^{\alpha} & \tilde{a}_{2n}^{\alpha} \\ \dots & \dots & 1 & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{a}_{(n-1)1}^{\alpha} & \tilde{a}_{(n-1)2}^{\alpha} & \tilde{a}_{(n-1)3}^{\alpha} & \dots & 1 & \tilde{a}_{(n-1)n}^{\alpha} \\ \tilde{a}_{n1}^{\alpha} & \tilde{a}_{n2}^{\alpha} & \tilde{a}_{n3}^{\alpha} & \dots & \tilde{a}_{n(n-1)}^{\alpha} & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

گام ۳: حل مقادیر ویژه فازی: یک مقدار ویژه $\tilde{\lambda}$ راه حلی فازی برای رابطه (۴) است.

$$\tilde{A} \tilde{\mathbf{x}} = \tilde{\lambda} \tilde{\mathbf{x}} \quad (4)$$

1. Mishra
2. Yadav

ماتریس $\tilde{A}_{n \times n}$ شامل اعداد \tilde{a}_{ij} و بردار فازی غیرصفر $\tilde{\mathbf{x}}_{n \times 1}$ ، شامل اعداد \tilde{x}_i هستند. برای انجام ضرب و جمع فازی با استفاده از محاسبات بازه‌ای و برش α از رابطه (۵) استفاده می‌شود.

$$\left[a_{ill}^{\alpha} x_{ll}^{\alpha}, a_{ilu}^{\alpha} x_{lu}^{\alpha} \right] \oplus \dots \oplus \left[a_{inl}^{\alpha} x_{nl}^{\alpha}, a_{inu}^{\alpha} x_{nu}^{\alpha} \right] = \left[\lambda x_{il}^{\alpha}, \lambda x_{iu}^{\alpha} \right] \quad (5)$$

که در آن:

$$\tilde{A} = [\tilde{a}_{ij}], \quad \tilde{\mathbf{x}} = (\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n), \quad \tilde{a}_{ij}^{\alpha} = [a_{ijl}^{\alpha}, a_{iju}^{\alpha}], \quad \tilde{x}_i^{\alpha} = [x_{il}^{\alpha}, x_{iu}^{\alpha}], \quad \tilde{\lambda}^{\alpha} = [\lambda_l^{\alpha}, \lambda_u^{\alpha}]$$

به ازای $0 \leq \alpha \leq 1$ و تمام i و j ها، $i = 1, \dots, n$ و $j = 1, \dots, n$.

گام ۴: تعیین وزن ویژگی‌ها: بردار ویژه با ثابت قرار دادن مقدار $|\lambda|$ و شناسایی بیشترین مقدار ویژه محاسبه می‌شود (ساتی^۱، ۱۹۸۰). پس از آن λ_{\max} محاسبه شده و ماتریس مقایسه‌های زوجی و وزن‌ها (وزن‌های تخمین ویژگی‌ها) نرمال‌سازی می‌شوند. به منظور کنترل نتایج روش، نسبت سازگاری هر یک از ماتریس‌ها و عدم سازگاری کلی سلسله مراتب محاسبه می‌شود. انحراف در سازگاری توسط رابطه (۶) محاسبه می‌شوند:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

که در آن CI شاخص سازگاری است. نسبت سازگاری (CR) برای تخمین مستقیم سازگاری مقایسه‌های زوجی استفاده می‌شود که طبق رابطه (۷) محاسبه می‌گردد.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

که در آن RI با توجه به رتبه ماتریس از جدول (۳) انتخاب می‌شود.

جدول ۳- شاخص میانگین برای تولید تصادفی وزن

رتبه ماتریس	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
RI	۰/۰۰	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۵	۱/۴۱	۱/۴۵

مقایسه‌ها در صورتی قابل قبول هستند که $CR < 0.1$ باشد. اگر نتیجه آزمون سازگاری قابل قبول نباشد، مقادیر اصلی ماتریس مقایسه زوجی باید توسط تصمیم‌گیرنده بازبینی شوند.

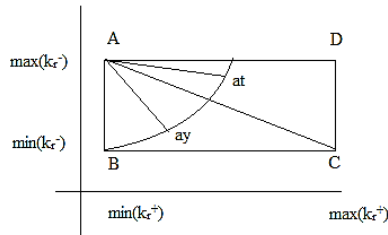
روش تاپسیس اصلاح شده

رن و همکاران^۱ (۲۰۰۷) روش جدیدی به نام تاپسیس اصلاح شده ارائه نموده‌اند که مشکلات تاپسیس مثل معکوس شدن رتبه‌ها و ناتوانی در مقایسه جایگزین‌های متقارن را برطرف می‌کند. تاپسیس اصلاح شده فرآیندی است که فاصله بین گزینه‌ها و نقاط مرجع در صفحه را محاسبه کرده و مقداری برای ارزیابی کیفیت گزینه‌ها به دست می‌آورد. در تاپسیس اصلاح شده ابتدا راه‌حل ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی پیدا می‌شوند و پس از آن صفحه‌ای ایجاد کرده و در نقطه مرجع ایده‌آل بهینه قرار می‌گیرد. در نهایت فاصله نسبی هر گزینه از نقطه مرجع محاسبه می‌شود تا رتبه گزینه‌ها مشخص گردد.

رویه تاپسیس اصلاح شده شامل گام‌های زیر است:

گام‌های ۱ تا ۴: مشابه گام‌های ۱ تا ۴ روش تاپسیس می‌باشد.

گام ۵: صفحه k^+ و k^- را ایجاد کنید که در آن محور x ‌ها و k^- محور y ‌ها است و نقطه (k_r^+, k_r^-) هر یک از گزینه‌ها را نشان می‌دهد ($r=1, 2, \dots, s$). نقطه $A(\min(k^+), \max(k^-))$ مرجع ایده‌آل بهینه شده خواهد بود (شکل (۴)).



شکل ۴- ایده روش تاپسیس اصلاح شده

فاصله هر جایگزین باید از نقطه n محاسبه شود. نزدیکی نسبی به راه حل ایده‌آل طبق رابطه (۸) محاسبه می‌شود.

$$RS_r = \sqrt{[k_r^+ - \min(k_r^+)]^2 + [k_r^- - \max(k_r^-)]^2}, \quad r = 1, \dots, s \quad (۸)$$

گام ۶: براساس ارجحیت مرتب کنید. به ازای رتبه‌بندی a ، باید RS بصورت صعودی مرتب شود. اگر دو جایگزین a_y و a_z به گونه‌ای وجود داشته باشند که $RS_y = RS_z$ ($y \neq z$) (شکل (۴))، آنگاه RS با استفاده از رابطه (۹) محاسبه شده و جایگزینی که مقدار RS کمتری دارد انتخاب می‌شود (ترکسین و همکاران، ۲۰۱۱).

$$RS_r = k_r^+ - \min(k_r^+), \quad r = x, y \quad (۹)$$

گام ۷: ارجحیت طرح‌های جایگزین را براساس نزدیکی نسبی به راه حل ایده‌آل رتبه‌بندی کنید. هر چه مقدار نزدیکی نسبی یک طرح بیشتر باشد رتبه بهتری خواهد داشت و به عنوان جایگزین پیشنهادی انتخاب خواهد شد.

روش پرومتی

روش فرا رتبه‌ای مبتنی بر تابع ارجحیت، نوع ویژه‌ای از ابزارهای تصمیم‌گیری چندمعیاره است که می‌تواند ترتیبی از گزینه‌های تصمیم‌گیری ارائه دهد. روش پرومتی در سال ۱۹۸۵ توسط برانس^۱ و وینکه^۲ توسعه پیدا کرد (آتاوال و چاکرابورتی، ۲۰۱۰). این روش متعلق به

1. Brans
2. Vinke

روش‌های تجمیع جزئی است، و روش فرا رتبه‌ای نیز نامیده می‌شود (ماکاریس^۱ و همکاران، ۲۰۰۴). در مطالعه حاضر، روش پرومتی II برای به دست آوردن رتبه‌بندی کامل وظایف دمونتاز به کار رفته است که باید به ایستگاه‌های کاری واگذار شوند. گام‌های روش پرومتی II بصورت زیر است (دمپوس^۲ و زوپونیدیس^۳، ۲۰۰۴؛ هاکویکز^۴ و همکاران، ۲۰۰۸):

گام ۱: ماتریس تصمیم‌گیری را با استفاده از رابطه (۱۰) نرمال‌سازی کنید:

$$NDM_{ij} = \frac{Z_{ij} - \min(Z_{ij})}{\max(Z_{ij}) - \min(Z_{ij})} \quad (i=1, 2, \dots, n; \quad j=1, 2, \dots, m) \quad (10)$$

که Z_{ij} اندازه عملکرد انتخاب i ام با توجه به معیار j است.

برای معیارهای نامطلوب، رابطه (۱۱) می‌تواند به صورت زیر بازنویسی شود:

$$NDM_{ij} = \frac{\max(Z_{ij}) - Z_{ij}}{\max(Z_{ij}) - \min(Z_{ij})} \quad (11)$$

گام ۲: اختلاف عملکرد انتخاب i ام نسبت به دیگر انتخاب‌ها را محاسبه کنید. این گام شامل محاسبه اختلاف در مقادیر شاخص بین زوج انتخاب‌های متفاوت می‌باشد.

گام ۳: تابع ارجحیت $\rho f_j(i, i')$ را محاسبه کنید.

عمدتاً شش نوع تابع ارجحیت تعمیم یافته وجود دارد (تورفی^۵ و همکاران، ۲۰۱۰). اما ممکن است تصمیم‌گیرنده به سادگی نتواند تابع ارجحیت مناسب برای هر معیار را انتخاب کند و پارامترهای لازم برای آن را تعیین نماید. آتاوال و چاکرابورتی توابع ارجحیت ساده شده‌ای طبق روابط (۱۲) و (۱۳) پیشنهاد دادند (آتاوال و چاکرابورتی، ۲۰۱۰):

$$\rho f_j(i, i') = 0, \quad \text{if} \quad NDM_{ij} \leq NDM_{i'j} \quad (12)$$

$$\rho f_j(i, i') = (NDM_{ij} - NDM_{i'j}), \quad \text{if} \quad NDM_{ij} \geq NDM_{i'j} \quad (13)$$

-
1. Macharis
 2. Doumpos
 3. Zopounidis
 4. Hajkowitz
 5. Torfi

گام ۴: تابع ارجحیت تجمعی را طبق رابطه (۱۴) محاسبه کنید:

$$A\rho f(i, i') = \frac{\sum_{j=1}^m w_j \times \rho f_j(i, i')}{\sum_{j=1}^m w_j} \quad (14)$$

که w_j اهمیت نسبی (ارجحیت) معیار j ام است.

گام ۵: جریان‌های فرا رتبه‌ای ورودی و خروجی را تعیین کنید.

جریان خروجی (یا مثبت) برای انتخاب i ام طبق رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود:

$$\psi^+(i) = \frac{1}{n-1} \sum_{i'=1}^n A\rho f(i, i') \quad (15)$$

جریان ورودی (یا منفی) برای انتخاب i ام طبق رابطه (۱۶) محاسبه می‌شود:

$$\psi^-(i) = \frac{1}{n-1} \sum_{i'=1}^n A\rho f(i', i) \quad (16)$$

که در آن n تعداد انتخاب‌هاست.

در این جا، هر انتخاب با $(n-1)$ انتخاب دیگر روبه‌روست. جریان ورودی بیان می‌کند یک انتخاب چقدر بر انتخاب‌های دیگر غالب است، در حالی که جریان خروجی نشان می‌دهد که یک انتخاب چقدر تحت تسلط دیگر انتخاب‌هاست. بر اساس این جریان‌های فرا رتبه‌ای، روش پرومتی I می‌تواند ترتیب جزئی انتخاب‌ها را ارائه دهد، در حالی که، روش پرومتی II با استفاده از یک جریان شبکه می‌تواند ترتیب کامل را به دست دهد.

گام ۶: جریان شبکه فرا رتبه‌ای برای هر انتخاب را با رابطه (۱۷) محاسبه کنید.

$$\psi(i) = \psi^+(i) - \psi^-(i) \quad (17)$$

گام ۷: رتبه همه انتخاب‌های موجود را با توجه به مقادیر $\psi(i)$ تعیین کنید.

هرچه مقدار $\psi(i)$ بیش‌تر باشد، انتخاب ارجح‌تر است. بنابراین، بهترین انتخاب آن است که بالاترین مقدار $\psi(i)$ را داشته باشد.

روش پرومیتی و روش‌های فرارته‌ای در کل چند مزیت نسبت به دیگر رویکردها دارند. اول از همه، روش پرومیتی I از بده‌بستان‌های امتیازات مربوط به معیارها پرهیز می‌کند. این اتفاق احتمالا در تحلیل سلسله‌مراتبی نیز رخ می‌دهد. دوم، پرومیتی یک ترکیب را به دست می‌آورد و تنها لازم است ارزیابی‌هایی روی هر یک از گزینه‌ها به ازای هر یک از معیارها انجام شود (تورفی و همکاران، ۲۰۱۰). در نهایت، روش‌های فرارته‌ای نظیر پرومیتی برای تحلیل حساسیت گسترده، مناسب‌تر هستند (ماتزلر و هیترهوبر، ۱۹۹۸).

روابط تقدمی

علاوه بر روابط تقدمی AND/OR، OR و AND/OR پیچیده که توسط گانگور و گوپتا (۲۰۰۱) معرفی شده‌اند، تورفی و همکاران (۲۰۱۰) نیز نوعی رابطه تعریف کرده‌اند که OR Successor نامیده می‌شود. آنها برای نشان دادن انواع دیگر روابط از گراف‌های AND/OR هوم‌دملو^۱ و سندرسون^۲ (۱۹۹۰) و رویکرد گراف دمونتاز لمبرت استفاده نموده‌اند. در فرموله‌سازی حاضر رابطه تقدمی آلتکین و همکاران (۲۰۰۸) به عنوان نقطه مرجع برای واگذاری وظایف دمونتاز به ایستگاه‌های کاری استفاده شده است.

هفت معیار برای مسئله بالانس خط دمونتاز در نظر گرفته شده است که عبارتند از:

تعداد/پروها: قطعاتی که نسبت به قطعات متعددی تقدم دارند باید در اولین فرصت ممکن دمونتاز شوند.

درآمد حاصله: قطعاتی که درآمد بیشتری ایجاد می‌کنند باید در اولین فرصت ممکن جدا شوند.

تقاضا برای قطعات: قطعات پرتقاضا باید در اولین فرصت ممکن جدا شوند.

زمان دمونتاز: قطعاتی که برای جدا شدن به زمان زیادی نیاز دارند به صورتی جدا شوند که بهره‌وری ایستگاه کاری بیشتر شود.

1. Homem de Melloo
2. Sanderson

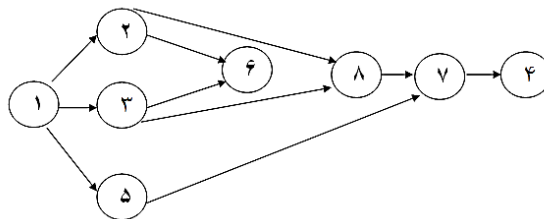
قطعات خطرناک: قطعاتی که حاوی مواد خطرناک هستند باید در اولین زمان ممکن حذف شوند تا احتمال نفوذ آن‌ها به محیط کاهش یابد.

حالت مواد: منظور از حالت ماده حالت فیزیکی آن یعنی جامد، مایع و گاز بودن است. عناصر گازی باید در ابتدای فرآیند دمونتاز جداسازی شوند. پس از آن‌ها قطعات مایع و جامد باید به ترتیب جداسازی خواهند شد.

شکنندگی: این ویژگی به سادگی تجزیه شدن یا تضعیف شدن حالت فیزیکی یک ماده اشاره دارد. اینگونه مواد باید پیش از سایر مواد جداسازی شوند.

مورد مطالعه

کارخانه مورد مطالعه این مقاله (خط بازیافت ضایعات الکترونیکی پارسا)، در سال ۹۲ در جاده ساوه و در ۱۰ کیلومتری کارخانه باتری صبا تاسیس شده است. در فضای بیرونی کارگاه قطعات لوازم الکترونیکی معیوب از یکدیگر جدا شده و به داخل ساختمان جهت ذوب در کوره‌هایی انتقال داده می‌شود که بر اساس درجه ذوب فلزات، فلزات گرانبهایی از قبیل طلا، نقره، مس و ... استخراج می‌گردند. نمودار تقدمی یکی از فعالیت‌های دمونتاز این شرکت که مربوط به دمونتاز کیس کامپیوتر می‌باشد در شکل (۵) آمده است. در اینجا هدف، دمونتاز کامل محصولی است که از ۸ قطعه تشکیل شده و چندین رابطه تقدمی AND/OR دارد.



شکل ۵- نمودار روابط تقدمی دمونتاز کیس کامپیوتر

مسئله و داده‌های متناظر آن برای خط دمونتازی که ۴۰ ثانیه زمان به هر ایستگاه کاری می‌دهد، بررسی خواهد شد. داده‌های دمونتاز در این نمونه کاربردی در جدول (۴) و روابط تقدمی آن در جدول (۵) آورده شده‌اند.

جدول ۴- داده‌های دمونتاز مربوط به دمونتاز کیس کامپیوتر

خط قطعات	زمان دمونتاز	تقاضا قطعات	درآمد حاصله	تعداد پیروها	وظایف	
					معیارها	
۰	۱۷	۱	۱۷	۴	باز کردن درب کیس	۱
۰	۱۰	۰	۰	۲	جداسازی فلاپی درایو	۲
۰	۱۵	۴	۱۴	۲	جداسازی هارد دیسک	۳
۰	۲۱	۳	۱۲	۰	جداسازی صفحه پشتی مدار	۴
۰	۲۵	۱	۱۵	۱	جداسازی کارتهای PCI	۵
۰	۱۸	۲	۸	۱	جداسازی ماژولهای RAM	۶
۱	۲۲	۱	۲۱	۱	جداسازی منبع تغذیه	۷
۰	۲۰	۶	۲۵	۱	جداسازی برد اصلی	۸

جدول ۵- ماتریس روابط تقدمی

وظایف	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۰
۳	۰	۰	۰	۰	۰	-۱	۰	۰
۴	۰	۰	۱	۰	۰	-۱	۰	۰
۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۱
۷	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱
۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰

دسته‌بندی معیارها با استفاده از مدل کانو

برای اینکه میزان اهمیت هر یک از معیارهای بالانس خط دمونتاز در مورد اجزا مصرف شده تعیین گردد، پرسشنامه جامعی ایجاد شد. سوالات مثبت و منفی مرتبط به دمونتاز محصول در این پرسشنامه آورده شدند. از متخصصانی خواسته شد به این پرسشنامه پاسخ دهند. در مجموع ۶ مورد از پاسخها در نظر گرفته شد و نتایج در جدول (۶) آورده شده‌اند.

جدول ۶- دسته بندی معیارهای کانو

مدل کانو	کل	Q	R	I	M	O	A	مدل کانو معیارها
R	۶	۲	۳	۱	۰	۰	۰	۱. تعداد پیروها
M	۶	۱	۱	۱	۲	۱	۰	۲. درآمد حاصله
Q	۶	۳	۰	۰	۲	۱	۰	۳. تقاضای قطعات
M	۶	۱	۱	۱	۲	۰	۱	۴. زمان دمونتاز
Q	۶	۳	۰	۲	۱	۰	۰	۵. قطعه خطرناک
I	۶	۰	۱	۳	۰	۰	۲	۶. حالت مواد
I	۶	۱	۲	۳	۰	۰	۰	۷. شکنندگی

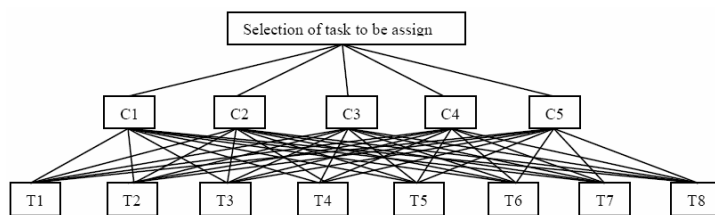
A = جذاب، O = تک بعدی، M = بایدی، I = بی تفاوتی، R = معکوس

نتایج حاکی از آن هستند که تعداد پیروها معیاری معکوس، درآمد و زمان دمونتاز معیاری بایدی، تقاضا برای قطعات معیاری سوال بر انگیز و حالت مواد و شکنندگی معیارهای بی تفاوتی اند. بنابراین معیارهای حالت مواد و شکنندگی در محاسبات بعدی حذف و ۵ معیار دیگر استفاده گردیدند.

محاسبه وزن معیارها با استفاده از نرم افزار Expert Choice

تشکیل سلسله مراتب تصمیم گیری:

پس از تشکیل سلسله مراتب تصمیم گیری، وزن معیارهایی که در فرآیند ارزیابی استفاده خواهند شد (تعداد پیروها، درآمد، زمان دمونتاز، تقاضا برای قطعات) توسط روش AHP فازی محاسبه می گردد. شکل (۶) درخت سلسله مراتب را نشان می دهد.



شکل ۶- سلسله مراتب تصمیم‌گیری انتخاب معیارها برای واگذاری وظایف به ایستگاه‌ها

تشکیل ماتریس مقایسات زوجی

در این مرحله از ۶ متخصص خواسته شد که ماتریس مقایسه‌های زوجی را تشکیل دهند. متخصصین متشکل از افراد متخصص در مراکز آکادمیک و افرادی که بصورت کاربردی در کارگاه‌های دمونتاژ مشغول به فعالیت بوده، می‌باشند. الف) اجماع ماتریس مقایسات زوجی فازی خبرگان ابتدا نتایج پرسشنامه‌ها با اعداد فازی در یک ماتریس تلفیق می‌شود. برای نمونه یکی از مقایسات زوجی برای دو معیار زمان و قطعات خطرناک در جدول (۷) آمده است.

جدول ۷- اجماع جواب‌های فازی پرسشنامه‌ها در رابطه با مقایسه زمان و قطعات خطرناک

۶	۵	۴	۳	۲	۱	پرسشنامه‌ها (فازی) مقایسات زوجی
۵	۶	۶	۶	۶	۶	زمان - قطعات خطرناک

ب) تبدیل اعداد فازی به اعداد طبیعی

تمام ماتریس‌های مقایسه فازی اولیه براساس تابع عضویت مثلثی و برش α فرموله شدند. حد پایین و حد بالای اعداد فازی براساس برش α تعریف می‌شود. مقادیر برش α و شاخص خوش‌بینی در ماتریس AHP فازی دقت اندازه‌گیری کیفیت خدمات را نشان می‌دهد. در این مطالعه مقادیر α و μ برابر ۰/۵ در نظر گرفته شدند. برای محاسبه حد بالا و حد پایین اعداد

فازی از رابطه (۱۸) استفاده می‌شود. نتیجه بکارگیری این رابطه برای دو مورد در جدول (۸) آمده است.

جدول ۸- حد بالا و پایین اعداد فازی $\tilde{\alpha}$ و $\tilde{\alpha}^{-1}$ برای $\alpha = 0/5$

اعداد فازی	رابطه محاسبه حدود بالا و پایین	حدود بالا و پایین اعداد فازی
$\tilde{\alpha}$	$\tilde{\alpha}_{\alpha} = [1+2\alpha, 5-2\alpha]$	$[2 \quad 4]$
$\tilde{\alpha}^{-1}$	$\tilde{\alpha}_{\alpha}^{-1} = \left[\frac{1}{5-2\alpha}, \frac{1}{1+2\alpha} \right]$	$\left[\frac{1}{4} \quad \frac{1}{2} \right]$

$$\begin{aligned}
 \tilde{\alpha}_{\alpha} &= [1, \quad 3-2\alpha], & \tilde{\alpha}_{\alpha}^{-1} &= \left[\frac{1}{3-2\alpha}, \quad 1 \right] \\
 \tilde{\alpha}_{\alpha} &= [1+2\alpha, \quad 5-2\alpha], & \tilde{\alpha}_{\alpha}^{-1} &= \left[\frac{1}{5-2\alpha}, \quad \frac{1}{1+2\alpha} \right] \\
 \tilde{\alpha}_{\alpha} &= [3+2\alpha, \quad 7-2\alpha], & \tilde{\alpha}_{\alpha}^{-1} &= \left[\frac{1}{7-2\alpha}, \quad \frac{1}{3+2\alpha} \right] \\
 \tilde{\alpha}_{\alpha} &= [5+2\alpha, \quad 9-2\alpha], & \tilde{\alpha}_{\alpha}^{-1} &= \left[\frac{1}{9-2\alpha}, \quad \frac{1}{5+2\alpha} \right] \\
 \tilde{\alpha}_{\alpha} &= [7+2\alpha, \quad 11-2\alpha], & \tilde{\alpha}_{\alpha}^{-1} &= \left[\frac{1}{11-2\alpha}, \quad \frac{1}{7+2\alpha} \right]
 \end{aligned} \tag{18}$$

ج) تخمین درجه خوشبینی

درجه رضایت ماتریس قضاوت \tilde{A} با توجه به شاخص خوش‌بینی تخمین زده می‌شود. هر قدر مقدار μ بیشتر باشد خوش‌بینی بیشتر خواهد بود. در این مطالعه مقادیر α و μ برابر ۰/۵ در نظر گرفته شده‌اند.

د) تبدیل اعداد فازی پرسشنامه‌ها به اعداد طبیعی

با توجه به توضیحات فوق و با استفاده از روابط ۲، ۳ و ۱۸ ماتریس مقایسه زوجی فازی (جدول (۷)) به اعداد طبیعی تبدیل شده و نتایج آن در جدول (۹) ارائه شده است.

جدول ۹- تبدیل بازه اعداد فازی به اعداد طبیعی

بازه اعداد فازی	$[-1, 1]$	$[-2, 2]$	$[-3, 3]$	$[-4, 4]$	$[-5, 5]$	$[-6, 6]$	$[-7, 7]$	$[-8, 8]$	$[-9, 9]$
اعداد طبیعی	۱	۳	۵	۷	۹	۱۱	۱۳	۱۵	۱۷
تخمین درجه خوش‌بینی	$\tilde{a}_{ij}^{\alpha} = \mu a_{iju}^{\alpha} + (1-\mu)a_{ijl}^{\alpha}, \quad \forall \mu \in [0,1]$								

ه) ماتریس مقایسات زوجی نهایی

ماتریس ارائه شده در جدول (۱۱) با استفاده از میانگین هندسی ماتریس مقایسات زوجی خبرگان (جدول (۱۰))، به دست می‌آید. اعداد بالای قطر اصلی، میانگین هندسی ماتریس مقایسات زوجی خبرگان و اعداد زیر قطر اصلی معکوس اعداد بالای قطر اصلی است.

جدول ۱۰- اجماع جواب‌های طبیعی پرسشنامه‌ها در رابطه با مقایسه زمان و قطعات خطرناک

مقایسه‌های زوجی	اعداد فازی پرسشنامه‌ها						میانگین هندسی
زمان - قطعات خطرناک	۹	۷	۷	۹	۷	۵	۷/۱۹۶۵۵۸

جدول ۱۱- ماتریس مقایسات زوجی نهایی

معیارها	تعداد پروها	درآمد حاصله	تفاضل برای قطعات	زمان دمونتاز	قطعات خطرناک
تعداد پروها	۱	۰/۱۴۳	۰/۱۷۰	۰/۱۵۷	۰/۷۳۵
درآمد حاصله	۶/۹۶۵	۱	۴/۲۱۷	۴/۵۸۶	۷/۲۹۹
تفاضل قطعات	۵/۸۵۹	۰/۲۳۷	۱	۰/۳۲۹	۲/۹۶۱
زمان دمونتاز	۶/۳۵۸	۰/۲۱۸	۳/۰۳۸۳	۱	۷/۱۹۶
خطر قطعات	۱/۳۵۹	۰/۱۳۶	۰/۳۳۷	۰/۱۳۸	۱

محاسبه وزن معیارها با استفاده از نرم افزار Expert Choice

نرم افزار EXPERT CHOICE، یک ابزار پشتیبان تصمیم گیری چندمعیاره بر اساس روش AHP می باشد. به منظور استفاده از این نرم افزار برای تصمیم گیری، گام های زیر باید طی شوند:

- ۱- استفاده از روش طوفان ذهنی، ایجاد ساختار سلسله مراتبی مدل و وارد کردن مدل در نرم افزار.
- ۲- مقایسه جفتی معیارها و معیارهای فرعی برای به دست آوردن اهمیت آنها در تصمیم گیری.
- ۳- مقایسه جفتی گزینه ها برای به دست آوردن اولویت هر کدام نسبت به معیارها.
- ۴- ترکیب نتایج و تعیین بهترین گزینه.
- ۵- انجام تحلیل حساسیت برای تعیین نحوه تاثیر یک تغییر در اهمیت معیارها در انتخاب گزینه مطلوب.

در این نرم افزار هدف، واگذاری وظایف به ایستگاه های کاری به گونه ای است که زمان کل چرخه به حداقل برسد. زمان کل چرخه در این مسئله ۴۰ ثانیه بوده، بنابراین با استفاده از روش پیشرو، زمان های بیکاری هر ایستگاه محاسبه می گردد. سپس حداقل زمان بیکاری از کل زمان چرخه کم شده تا حداقل زمان کل چرخه محاسبه گردد. ابتدا اعداد ماتریس مقایسات زوجی را در نرم افزار EXPERT CHOICE قرار می دهیم. پس از وارد نمودن اعداد ماتریس

مقایسه زوجی و محاسبه وزن‌ها توسط نرم افزار، به خروجی‌هایی که در جدول (۱۲) نشان داده شده خواهیم رسید.

جدول ۱۲- وزن معیارها یا خروجی نرم افزار

تعداد پروها	درآمد حاصله	تقاضای قطعات	زمان دمونتاز	قطعه خطرناک
۰/۰۳۹	۰/۵۳۰	۰/۱۳۲	۰/۲۵۲	۰/۰۴۷

همانگونه که از شکل (۷) مشخص است، و با توجه به وزن‌های محاسبه شده، اولویت معیارها بترتیب میزان اهمیت عبارتند از: درآمد حاصله، زمان دمونتاز، تقاضای قطعات، خطرناکی قطعات و تعداد پروها.



شکل ۷- مرتب سازی معیارها بر اساس وزن محاسبه شده

واگذاری وظایف به ایستگاه‌ها با استفاده از روش TOPSIS

جهت واگذاری وظایف با استفاده از روش TOPSIS از نرم‌افزار MCDM ENGINE استفاده می‌کنیم. برای قرار دادن جدول (۴) در این نرم‌افزار معیارهای ۱، ۴ و ۵ معیارهای نامطلوبی بوده و با علامت منفی وارد نرم‌افزار شده و معیارهای ۲ و ۳ معیارهای سودمندی بوده که با علامت مثبت وارد نرم‌افزار گردیده، خروجی‌های نرم‌افزار طبق جدول (۱۳) خواهد شد: همانگونه که از تصویر نرم‌افزار مشخص است وظایف به ترتیب زیر مرتب گردیده:

T7 → T8 → T1 → T3 → T5 → T4 → T6 → T2

اما با توجه به روابط تقدمی وظایف به صورتی که در جدول (۱۴) نشان داده شده است، به ایستگاه‌ها واگذار می‌شوند:

جدول ۱۴- نتایج واگذاری وظایف به ایستگاه‌ها با توجه به روابط تقدمی

ایستگاه کاری	شماره وظیفه	زمان وظیفه	زمان کل
۱	۱	۱۷	۸
	۳	۱۵	
۲	۵	۲۵	۵
	۲	۱۰	
۳	۸	۲۰	۲
	۶	۱۸	
۴	۷	۲۲	۱۸
۵	۴	۲۱	۱۹

با توجه به جدول ۱۴ حداقل زمان بیکاری ۲ ثانیه بوده در نتیجه زمان کل ایستگاه را از ۴۰ ثانیه به ۳۸ ثانیه می‌توان کاهش داد.

جدول ۱۳- خروجی نرم افزار Mcdm Engine

گزینه‌ها	باز کردن درب کیس	جداسازی فلاپی درایو	جداسازی هارد دیسک	جداسازی صفحه پشتی مدار	جداسازی کارت‌های PCI	جداسازی ماژول‌های RAM	جداسازی منبع تغذیه	جداسازی برد اصلی
نسبت تشابه	۰/۶۸۲۳	۰/۳۰۰۹	۰/۵۵۱۱	۰/۴۸۶۴	۰/۵۹۱۵	۰/۳۸۳	۰/۷۴۶۸	۰/۷۳۸۳

واگذاری وظایف به ایستگاه‌های کاری با استفاده از روش پرومتی

برای پیاده‌سازی روش پرومتی از نرم افزار VISUAL PROMETHEE استفاده می‌کنیم. پرامتی مخفف عبارت «روش سازماندهی به رتبه‌بندی ترجیحی برای ارزیابی بهتر» است. این روش توسط دو استاد بلژیکی به نام ژاپن پیر برنز و برتراند مارسکال در دهه ۱۹۸۰ ارائه شد. برای افزایش کارایی روش پرومتی از تکنیک GAIA استفاده می‌شود. در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره مهم است که تصمیم‌گیرنده را در مورد تقابل معیارها و تاثیر وزن شاخص‌ها روی نتایج پایانی کمک کنیم. روش مدل سازی ویژه GAIA امکان اینگونه تحلیل‌ها را ایجاد می‌کند. با وارد کردن داده‌ها در جدول و انجام محاسبات توسط نرم افزار به جواب‌های ارائه شده در جدول (۱۵) خواهیم رسید.

جدول ۱۵- خروجی نرم افزار Visual Promethee

گزینه‌ها	ψ^-	ψ^+	ψ
جداسازی منبع تغذیه	۰/۰۴۴۸	۰/۳۷۱۶	۰/۳۲۶۹
جداسازی کارتهای PCI	۰/۰۳۷۳	۰/۳۲۱۳	۰/۲۸۴۰
جداسازی صفحه پشتی مدار	۰/۱۸۵۱	۰/۱۸۶۱	۰/۰۰۱۰
باز کردن درب کیس	۰/۱۷۱۰	۰/۱۶۱۱	-۰/۰۰۹۹
جداسازی ماژولهای RAM	۰/۲۱۸۵	۰/۱۳۹۶	-۰/۰۷۸۹
جداسازی برد اصلی	۰/۲۵۹۰	۰/۱۶۹۳	-۰/۰۸۹۷
جداسازی فلاپی درایو	۰/۳۱۳۷	۰/۱۵۹۰	-۰/۱۵۴۷
جداسازی هارد دیسک	۰/۳۴۹۱	۰/۰۷۵۰	-۰/۲۷۸

جدول ۱۶- نتایج واگذاری وظایف به ایستگاه‌ها با توجه به روابط تقدمی

ایستگاه کاری	شماره وظیفه	زمان وظیفه	زمان کل
۱	۱	۱۷	۸
	۳	۱۵	
۲	۵	۲۵	۵
	۲	۱۰	
۳	۶	۱۸	۲
	۸	۲۰	
۴	۷	۲۲	۱۸
۵	۴	۲۱	۱۹

نتیجه‌گیری

اهمیت بازیافت منابع در سراسر جهان رو به افزایش است دلیل اصلی این امر کمیاب شدن منابع و کاهش ظرفیت دفع است. با افزایش نیاز به تولید مجدد محصولات که به آخر عمر خود رسیده‌اند، صرفه اقتصادی این کار نیز مورد توجه قرار گرفته است. دمونتاز این محصولات فرآیندی مهم است، که امکان استفاده از قطعات یک کالا را در فرآیندهای بازسازی و بازیافت زیادی به وجود می‌آورد. در این مطالعه یکی از خطوط کارخانه پارسا (دمونتاز کیس کامپیوتر) با ۸ معیار (باز کردن درب کیس، جداسازی فلاپی درایو، جداسازی هارد دیسک، جداسازی صفحه پشتی مدار، جداسازی کارتهای PCI، جداسازی ماژولهای RAM، جداسازی منبع تغذیه و جداسازی برد اصلی) مورد مطالعه قرار گرفت. عملکرد روش پیشنهادی از لحاظ مدت چرخه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که این روش مدت چرخه را از ۴۰ ثانیه به ۳۸ ثانیه کاهش می‌دهد. این روش ۵ معیار از ۷ معیار مهم برای دمونتاز را (تعداد پیروها، درآمد، زمان دمونتاز، تقاضا برای قطعات) به همراه عوامل مرتبط آنها در نظر گرفت و نتایج حاکی از برتری روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های گذشته می‌باشد. مشکل اصلی رویه پیشنهادی پیچیدگی محاسباتی روش تاپسیس

اصلاح شده در مقایسه با روش پرومتی است. اما با استفاده از نرم‌افزارهای ذکر شده این مشکل تا حدودی قابل حل است. همچنین اجرای فرآیند دمونتاز بر روی ضایعات الکترونیکی و محصولات غیر قابل استفاده، با حداقل ساختن میزان خرابی و ضایعات انجام می‌گیرد. محدودیت‌هایی که بر سر راه این پژوهش قرار داشت، عدم دسترسی به اطلاعات دقیق کارخانه بازیافت ضایعات الکترونیکی به دلیل بدیع بودن این صنعت در ایران و استخراج فلزات گرانبها از مواد بازیافتی بود. بکارگیری سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و مقایسه با روش‌های مطرح در این مطالعه و نیز پیاده‌سازی این الگو در دیگر صنایع را می‌توان به عنوان پیشنهادات آتی تحقیق مد نظر قرارداد.

منابع

۱. راد، ع؛ منصور، س؛ XU، Y و فاطمی، م. (۱۳۹۲). *بازیابی تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی بر اساس ابعاد محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی توسعه پایدار*. تهران، کنفرانس انرژی و محیط زیست
- Agrawal S., Tiwari M.K. (2008). *A Collaborative Ant Colony Algorithm to Stochastic Mixed-model U-shaped Disassembly Line Balancing and Sequencing Problem*. International Journal of Production Research, 46(6), 1405–1429.
- Altekin F.T., Akkan C. (2011). *Task-failure-driven rebalancing of disassembly lines*. International Journal of Production Research, 46(10), 1-22
- Altekin F.T., Kandiller L., Ozdemirel N.E. (2008). *Profit-oriented disassembly-line balancing*. International Journal of Production Research, 46(10), 2675–2693.
- Athawale V.M., Chakraborty S. (2010). *Facility Location Selection using PROMETHEE II Method*. In *Proceedings of the 2010 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Dhaka, Bangladesh, 78-98.
- Avikal S., Mishra P. K., Jain R. (2013). *An AHP and PROMETHEE methods based environment friendly heuristic for disassembly line balancing problems*. interdisciplinary environmental review, 14(1), 69–85.
- Avikal S., Mishra P.K., Jain R. (2014). *An fuzzy AHP and PROMETHEE methods based heuristic for disassembly line balancing problems*. International Journal of Production Research, 152(5), 1306–1317.
- Bentaha M.L., Battaïa O., Dolgui A. (2014). *A Sample Average Approximation Method for Disassembly Line Balancing Problem under Uncertainty*. Computers and Operations Research, 51(1), 111–122.
- Bentaha M.L., Battaïa O., Dolgui A. (2014). *Disassembly Line Balancing and Sequencing under Uncertainty*. Procedia CIRP 15, 239–244.
- Bentaha M.L., Battaïa O., Dolgui, A. (2014). *Lagrangian Relaxation for Stochastic Disassembly Line Balancing Problem*. Procedia CIRP 17, 56–60.

Berger C., Blauth R., Boger D., Bolster C., Burchill G., DuMouchel W., Pouliot F., Richter R., Rubinoff A., Shen A., Timko M., Walden D. (1993). *Kano's methods for understanding customer-defined quality*, central quality management journal. 2 (4), 2–36.

Brucker K. De, Verbeke A., Macharis C. (2004). *The applicability of multi-criteria analysis to the evaluation of intelligent transport systems (ITS)*, research in transportation economics 8, 151–179.

Buckley J.J. (1985). *Fuzzy Hierarchical Analysis, Fuzzy Set and Systems*. 17, 233–247.

Chaudha A., Jain R., Singh A.R., Mishra P.K. (2011). *Integration of Kano's model into quality function deployment (QFD)*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 53, 689–698.

De Brucker K., Verbeke A., Macharis C. (2004). *The applicability of multicriteria-analysis to the evaluation of intelligent transport systems (ITS)*. Research in transportation economics 8(1), 151–179.

Ding L.P., Feng Y.X., Tan J.R., Gao Y.C. (2010). *A new multi-objective ant colony algorithm for solving the disassembly line balancing problems*, Internati

Ding L.P., Feng Y.X., Tan J.R., Gao Y.C. (2010). *A New Multi-objective Ant Colony Algorithm for Solving the Disassembly Line Balancing Problems*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 48(1), 761–771.

Doumpos M., Zopounidis C. (2004). *A Multi-criteria Classification Approach Based on Pair-wise Comparison*. European Journal of Operational Research, 158(1), 378–389.

Gungor A., Gupta S.M. (1999). *Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey*. Computers and Industrial Engineering, 36(4), 811-853.

Gungor A., Gupta S.M. (2002). *Disassembly line in product recovery*. International Journal of Production Research, 40(11), 2569-258

Gungor. A., Gupta, S.M. (2001). *A solution approach to the disassembly line problem in the presence of task failure*. International Journal of Production Research, 39(7), 1427-1467.

Gupta S.M., Lambert A.J.D. (2008). *Methods for optimum and near optimum disassembly sequencing*, *International Journal of Production Research*, 46 (11) 2845–2865.

Gupta S.M., Taleb K.N. (1996). *An algorithm to disassemble multiple product structures with multiple occurrence of parts*. Proceedings of the International Seminar on Reuse, (pp. 153-162). Eindhoven The Netherlands.

Hajkowicz S., Higgins A. (2008). *A Comparison of Multiple Criteria Analysis Techniques for Water Resource Management*. *European Journal of Operational Research*, 184(1), 255–265.

Homem de Mello, L.S., Sanderson A.C. (1990). *And/or graph representation of assembly plans*, *IEEE transactions on robotics and automation*. 6, 188–199.

Ilgin M.A., Gupta S.M. (2010). *Comparison of economic benefits of sensor embedded products and conventional products in a multi-product disassembly line*, *Computers and Industrial Engineering*, 59 (2010) 748–763.

Ilgin M.A., Gupta, S.M. (2010). *Comparison of economic benefits of sensor embedded products and conventional products in a multi-product disassembly line*, *Computers and Industrial Engineering*, 59, 748–763.

Kalayc C.B., Gupta S.M. (2011). *A hybrid genetic algorithm approach for disassembly line balancing*. *Proceedings of the 42nd Annual Meeting of Decision Science Institute*, Boston, MA, US, 100-111.

Kalayc C.B., Gupta S.M. (2011). *A simulated annealing algorithm for balancing a disassembly line*. *Proceedings of the Seventh International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, Kyoto, Japan, 70-89.

Kalayc, C.B., Gupta, S.M. (2011). *Tabu search for disassembly line balancing with multiple objectives*. 41st International Conference on Computers & Industrial Engineering (CIE41), University of Southern California, Los Angeles, CA, 70-80.

Kano N., Seraku K., Takahashi K., Tshuji S. (1984). *Attractive quality and must be quality*. *japan society for quality control*, 14(2), 39–48.

Koc A., Sabuncuoglu I., Erel E. (2009). *Two Exact Formulations for*

Disassembly Line Balancing Problems with Task Precedence Diagram Construction Using an AND/OR Graph. IIE Transactions on Operation Engineering, 39(1), 866–881.

Lambert A.D. (1999). *Linear programming in disassembly/clustering sequence generation*. *Computers and Industrial Engineering*, 36(1), 723–738.

Lambert J. D. (2003). *Disassembly sequencing: a survey*. *International Journal of Production Research*, 41(1), 3721–3759.

Macharis C., Verbeke A., De Brucker K. (2004). *The Strategic Evaluation of New Technologies through Multicriteria Analysis: The Advisors Case*. *Research in Transportation Economics*, 443–462.

Martin L., Lars W. (2008). *Two decades of using Kano's theory of attractive quality: a literature review*. *Quality management journal*, 15(1), 59–78.

Matzler K., Hinterhuber H.H. (1998). *How to make product development projects more successful by integrating Kano's model of the customer satisfaction into quality function deployment*. *Technovation*, 18(1), 25–38.

McGovern S. M., Gupta S.M. (2003). *2-opt Heuristic for the Disassembly Line Balancing Problem*. *Proceedings of the SPIE International Conference on Environmentally Conscious Manufacturing III*, (pp. 71–84). Providence, Rhode Island.

McGovern S.M., Gupta S.M. (2006). *Ant Colony Optimization for Disassembly Sequencing with Multiple Objectives*. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 8(1), 481–496.

McGovern S.M., Gupta S.M. (2007). *Combinatorial Optimization Analysis of the Unary NP-complete Disassembly Line Balancing Problem*. *International Journal of Production Research*, 45(18-19), 4485–4511.

Paksoy T., Güngör A., Özceylan E., Hancılar A. (2013). *Mixed Model Disassembly Line Balancing Problem with Fuzzy Goals*. *International Journal of Production Research*, 51(20), 6082–6096.

Ranky R.J., Subramanyam M., Caudill R.J., Limaye K., Alli N. (2003). *Dynamic scheduling and line balancing methods, and software tools for lean and reconfigurable disassembly cells and lines*, in:

Proceedings of the IEEE International Symposium on Electronics and Environment, Boston, MA, 234–239.

Ren L., Zhang Y., Wang Y., Sun Z. (2007). *Comparative analysis of a novel M-TOPSIS method and TOPSIS*, applied mathematics research express, Article ID abm005, 10 pages.

Saaty T.L. (1980). *Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.

Singh A.R., Mishra P.K., Rajeev Jain M.K. (2002). *Robust strategies for mitigating operational and disruption risks: a fuzzy AHP approach*. international journal multi criteria decision, 2(1), 1–28.

Tan K.C., Shen X.X., Integrating Kano's model in the planning matrix of Quality Function Deployment, Total Quality Management. 11 (8) (2000) 1141–115.

Tang Y., Zhou M.C. (2006) . *A systematic approach to design and operation of disassembly lines*, IEEE transactions on automation science and engineering 3 (3) 324–329.

Tiwari M.K., Sinha N., Kumar S., Rai R., Mukhopadhyay S.K. (2001). *A Petri Net based approach to determine strategy of a product*, International Journal of Production Research, 40 (5) 1113–1129. Journal of Advanced Manufacturing Technology, 48, 761–771.

Torfi F., Farahani R.Z., Rezapour S. (2010). *Fuzzy AHP to determine the relative weightsof evaluation criteria and fuzzy TOPSIS to rank the alternatives*. Applied Soft Computing, 10(1), 520–528.

Turcksin L., Bernardini A., Macharis C. (2011). *A Combined AHP-PROMETHEE Approach for Selecting the Most Appropriate Policy Scenario to Stimulate a Clean Vehicle Flee*. Procardia Social and Behavioral Sciences, 954–965.

Yadav H.C., Jain R., Singh A.R., Mishra P.K. (2012). *Robust design approach with fuzzy-AHP for product design to enhance aesthetic quality*. international journal design engineering, 5(1), 65–90.