فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۷۸، بهار ۱۳۹۵، ۲۷-۱

مکان‌یابی و تعیین ظرفیت عناصر زنجیره تأمین حلقه بسته

سعید کرباسیان* سید مصطفی رضوی**

حسین صفری***

دریافت: ۹٤/۱۱/۷ پذیرش: ۹٤/۱۲/۲۵

زنجیره تأمین حلقه بسته / صنعت باتری خودرو / برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه فازی

چکیده

در دنیای کنونی، بحث بازآوری و استفاده مجدد محصولات مصرفی اهمیت خاصی یافته است؛ از این‌رو، مقاله حاضر به بررسی مدیریت زنجیره‌تأمین حلقه بسته می‌پردازد. از آن‌جاکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته نه‌تنها جریان رو به جلو را در برمی‌گیرد، بلکه شامل جریان معکوس نیز می‌شود؛ لذا، شرکت‌هایی در ارتباط با زنجیره‌تأمین حلقه بسته خود موفق هستند که بین زنجیره معکوس و زنجیره رو به جلو هماهنگی و یکپارچگی به‌وجود آورند. در تحقیق حاضر پس از بررسی ادبیات موضوع، مدل جامع‌تری نسبت به کارهای گذشته ارائه شده است، زیرا مدل‌های قبلی در ارتباط با در نظر گرفتن محدود اعضا و اهداف ضعیف بودند. همچنین، مدل‌های اندکی با توجه به فضای عدم قطعیت ارائه شده‌اند. مدل ارائه‌شده تمام جریان‌های مرتبط با جریان قطعات، مجموعه‌ها، محصول برگشتی را دربرگرفته و همچنین، با در نظر گرفتن چهار هدف فازی که در آن موارد کمّی و کیفی حضور دارند، می‌کوشد اختیارات تصمیم‌گیرنده را افزایش دهد. از دیگر تمایزهای مدل حاضر آن است که تمام حالت‌های برگشتی از مشتریان در نظر گرفته شده است. در پایان، برای بررسی مدل، بازیافت باتری

*. دانشجوی دکترای مدیریت تولید و عملیات، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، ایران Karbasian@ut.ac.ir
**. دانشیار گروه مدیریت صنعتی دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. Mrazavi@ut.ac.ir
***. استاد گروه مدیریت صنعتی دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. Hsafari@ut.ac.ir
■ سعید کرباسیان، مسئول مکاتبات.

خودرو جهت احداث مراکز زنجیره تأمین حلقه بسته در دوره زمانی ۱۰ ساله به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شده که نتایج آن، به دلیل توجه همزمان به تمام اهداف سودآوری، اثرات محیط‌زیست، انتخاب مراکز برتر و زمان تحویل، مورد تأیید خبرگان قرار گرفته است.

طبقه‌بندی JEL: C61, L11

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقدمه

کنترل جریان اقلام در زنجیره‌تأمین حلقه بسته با توجه به فضای عدم قطعیت، اهمیت زیادی داشته و نیازمند برنامه‌ریزی کارا و مؤثری است[1]. پس از آن، تعیین ظرفیت و مکان‌یابی اعضا از جمله موارد مرتبط با طراحی زنجیره‌تأمین حلقه بسته است[2]. مدل ارائه‌شده می‌کوشد با تعیین همزمان مکان و ظرفیت تمام عناصر زنجیره‌تأمین در حالت فازی، برنامه‌ریزی اقلام را در حالت چنددوره‌ای، چندسطحی مشخص کند. از آنجاکه برای تصمیم‌گیری باید اهداف مختلف و گاهی متناقضی مورد توجه قرار گیرد، سعی شده توابع هدف بیش‌تری درنظر گرفته شود. این اهداف شامل حداکثرسازی سودآوری، به‌حداقل‌رساندن اثرات زیست‌محیطی، انتخاب بهترین مراکز با بیشینه‌سازی نمره وزنی حاصل از مقایسات زوجی (مرتبط با معیارهای کیفی) و کمینه‌سازی زمان تحویل سفارش است.

۱. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در طراحی شبکه حلقه بسته، به‌دنبال پاسخ به سؤال‌های زیر هستیم:

- نحوه گسترش عناصر زنجیره رو به جلو که در حال حاضر وجود دارند، باید چگونه باشد تا عناصر زنجیره معکوس در موقعیت‌های صحیح قرار گیرند؟
- چگونه باید جریان رو به جلو و معکوس با یکدیگر هماهنگ باشند؟[3]

در دنیای کنونی، با توجه به محدودیت منابع، احیاء و بازآوری اهمیت دوچندان یافته است، به‌گونه‌ای‌که تمرکز صنایع بر این امر معطوف شده تا جوابگوی میزان مصرف و افزایش جمعیت باشد[4]. تمرکز لجستیک معکوس بر برنامه‌ریزی و کنترل جریان از نقطه مصرف تا نقطه مبدأ به سمت جمع‌آوری و احیاء است. در ارتباط با زنجیره تأمین حلقه بسته، دونوع جریان وجود دارد: جریان سنتی رو به جلو از سازنده به مشتری و جریان معکوس از مشتری به سازنده و تأمین‌کنندگان. در ارتباط با طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته این موضوع

1. Guide (2003).
2. Amin(2013).
3. Uster (2007).
4. Fleischmann (2001).

اهمیت دارد که مراکز گردآوری[1]، ارزیابی[2] و بازسازی[3] و توزیع مجدد اقلام احیا شده [4] در زنجیره تأمین اضافه شود. از این‌رو، در ارتباط با طراحی مجدد یک زنجیره برای ایجاد زنجیره تأمین حلقه بسته باید نکات زیر در نظر گرفته شود:

الف) در نظر گرفتن موقعیت مراکز برگشتی‌ها، باید با بررسی تمرکز و یا تمرکززدایی[5] شبکه همراه باشد. هرچند، نزدیکی مراکز به یکدیگر هزینه حمل‌ونقل را کاهش می‌دهد اما، هزینه احداث با تعدد مراکز افزایش می‌یابد. در حال حاضر فناوری اطلاعات، می‌تواند کمک شایانی برای رفع این ایراد محسوب شود.

ب) عدم قطعیت جنبه دیگری است که زنجیره‌تأمین حلقه بسته با آن مواجه است. در جریان معکوس، نوسانات جریان میان اعضا بر هزینه کلی و میزان سودآوری مؤثر است.

پ) یکپارچگی و همکاری شبکه‌های رو به جلو و معکوس تعیین‌کننده میزان مدیریت بر زنجیره تأمین حلقه بسته بوده[6] و تصمیم‌گیری درباره یکپارچگی شبکه رو به جلو و عقب، به انسجام تصمیمات استراتژیک با تصمیمات تاکتیکی و عملیاتی ختم می‌شود[7].

یکی از بزرگ‌ترین نواقصی که در مقالات ابتدایی محققان گذشته دیده می‌شود، در نظر گرفتن قطعی میزان تقاضا و محصول برگشتی است؛ زیرا طراحی شبکه‌های زنجیره‌تأمین به‌عنوان تصمیمی استراتژیک تحت‌تأثیر پارامترهای محیط رقابتی قرار داشته و میزان و موقعیت عناصر براساس نوسانات تقاضای مشتری حالت عدم ثبات دارد. از این‌رو، پارامترهای مهمی همانند تقاضا ماهیت غیرقطعی دارد، به‌خصوص آن‌که این ویژگی در ارتباط با کیفیت و کمیت محصولات برگشتی تشدید می‌شود. بنابراین، در طراحی شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته، باید پارامترها به‌صورت غیرقطعی در نظر گرفته شود[8].

1. Acquisition and Collection.
2. Testing and Grading.
3. Reprocessing.
4. Re-distribution.
5. Centralization-Decentralization.
6. Fleischmann (2005).
7. Shen (2007).
8. Pishvaee (2009).

۱ـ۱. مدل‌های ارائه شده زنجیره‌تأمین حلقه بسته

هرچند مقالات متعددی در این حوزه ارائه شده است، اما باز هم فضای تحقیقاتی خوبی در این زمینه وجود دارد. برای مثال، نبود چارچوب مفهومی جامع یکی از مشکلات این حوزه است که این مقاله با ارائه چارچوبی یکپارچه می‌کوشد بستر مناسبی برای حل این معضل بیابد.

تابع هدف بیش‌تر مدل‌های ارائه‌شده، بر هزینه معطوف است. محمودی[1] در سال ۲۰۱۴ مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته لجستیک معکوس را در حالت چند سطحی ارائه کرد که هدف آن، کاهش هزینه جریان میان اعضای دمونتاژ، بازیافت، بازسازی و مراکز توزیع بود. همان‌طورکه اشاره شد، مدل‌های زنجیره تأمین حلقه بسته در فضای عدم قطعیت قرار دارد، بنابراین، این عدم قطعیت در بیش‌تر مقالات مبتنی بر سناریو یا فازی درنظر گرفته شده است. دیمرل[2] مدل چندسطحی، چندمحصولی زنجیره‌تأمین حلقه بسته را در حالتی‌که سناریوهای مختلف مرتبط با میزان برگشتی با مقادیر کم، متوسط و زیاد است، ارائه داد تا تصمیم‌گیرنده بتواند بهترین تصمیم را اتخاذ کند. مدل امین[3] مشتمل بر عناصر مشتری، تأمین‌کننده، پیمانکاران بازسازی و مراکز نوسازی است. در این مدلِ سه‌مرحله‌ای، عوامل ارزیابی، ساختاربندی، انتخاب و تخصیص سفارش درنظرگرفته شده است. در گام نخست، مراکز تأمین‌کنندگان و پیمانکاران بازسازی و نوسازی بر پایه مدل توسعه عملکردهای کیفیت انتخاب شده و این مدل نیازمندی‌های مشتری، قطعات و فرآیند را دربرمی‌گیرد. علاوه بر آن، از تئوری فازی برای غلبه بر عدم اطمینان جهت تصمیم‌گیری استفاده شده است. در گام دوم ساختاربندی، مدل توسط برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح فرموله شده و در نهایت، در سومین گام، به تأمین‌کنندگان و پیمانکاران سفارش تخصیص داده می‌شود و در پایان، مدل برنامه‌ریزی آمیخته چندهدفه ارائه شده است. نوآوری مدل در انتخاب و تقاضای احتمالی و تصمیم‌گیری در شرایط عدم‌اطمینان است. همچنین، اشفاری[4] مدل برنامه‌ریزی خطی آمیخته احتمالی در راستای تعیین موقعیت و تعداد تسهیلات و مراکز سرویس‌دهی در

1. Mahmoudi (2014).
2. Demirel (2014).
3. Amin (2013).
4. Ashfari (2014).

شرایط عدم قطعیت را ارائه داد که هدفش به حداقل رساندن هزینه‌های احداث، حمل‌ونقل، هزینه‌های مدیریت موجودی همراه با کسب رضایت مشتری است. این مدل، برای خدمات پس از فروش و در حالت چندهدفه، چنددوره‌ای ارائه شده و با روش الگوریتم ژنتیک حل می‌شود. گیری[1] مدلی ارائه داد که در آن، اعضای حلقه بسته مشتمل بر تأمین‌کننده موادخام، سازنده، خرده‌فروش و جمع‌آوری‌کننده محصول‌اند. تقاضای خرده‌فروش توسط سازنده و بازسازی‌کننده تأمین می‌شود و فرآیند مونتاژ به‌صورتی است که امکان تولید در سطوح مختلف کیفیت وجود دارد و مرکز جمع‌آوری‌کننده براساس سطوح مختلف کیفیت به جمع‌آوری می‌پردازد. همچنین، دو مدل ریاضی به‌کاررفته در این روش عبارتند از مدل تک‌دوره‌ای و مدل چنددوره‌ای شامل سازنده و بازسازی‌کننده.

مدل‌های چندهدفه ارائه‌شده تنها به درنظرگرفتن یک سری تأثیرات زیست‌محیطی (همانند تصاعد گازهای گلخانه‌ای) معطوف شده‌اند. داس[2] مدل زنجیره‌تأمین حلقه بسته خود را با توجه به برنامه‌ریزی و عوامل محیطی ارائه داد. این مدل شامل مونتاژ، دمونتاژ، بازسازی، نوسازی، تعمیر، استفاده مجدد، مسیرهای حمل‌ونقل و توزیع با درنظرگرفتن حداقل‌سازی مصرف انرژی و تصاعد گاز دی‌اکسیدکربن است. در این مدل، طرح‌های تشویقی برای جمع‌آوری از مشتریان و احیا در نظر گرفته شده و در ارتباط با تأمین‌کنندگان شخص ثالث نیز سرویس‌دهی برای خدمات نوسازی، احیا و تعمیر بررسی شده است. وانگ[3] مدل دوهدفه مربوط به زنجیره‌تأمین سبز را ارائه داد، که در آن بر توازن میان دو تابع هدف هزینه و تأثیر محیطی تأکید شده و از تکنیک پارتو برای حل مدل آن استفاده شده است. در انتهای مقاله پیشنهاد شده است که در ارتباط با عدم قطعیت تقاضا و نحوه حمل‌ونقل، مدل گسترش داده شود. در بعضی موارد، مدل‌های چندهدفه ارائه‌شده، به جنبه‌های دیگری پرداخته‌اند؛ برای مثال، یانگ[4] مدل دوهدفه در حالت عدم قطعیت تقاضا مشتری و هزینه‌های حمل‌ونقل را ارائه داد که براساس سیاست ریسک خنثی و ریسک‌گریزی دو تابع هدف فازی ارائه شده و در آن از داده‌های واقعی برای حل مدل استفاده شده است. مدل چندهدفه

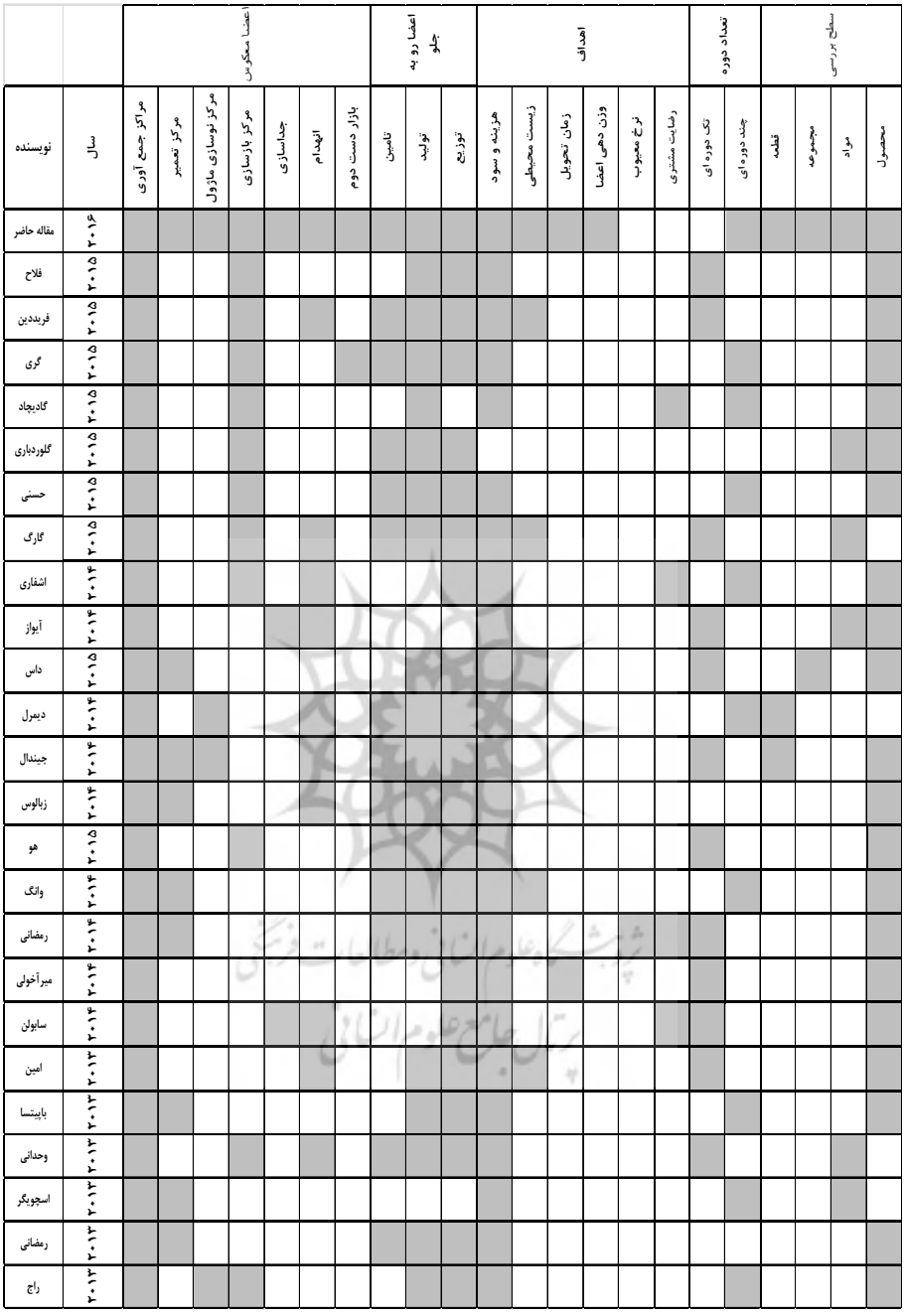
1. Giri (2015).
2. Das (2015).
3. Wang (2011).
4. Yang (2015).

فازی میرآخورلی[1] نیز شامل حداقل‌سازی هزینه و زمان تحویل است و از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل استفاده شده است.

برای آگاهی از مقالاتی که به‌تازگی در این حوزه منتشر شده، به جدول (۱) مراجعه کنید. ستون‌های ابتدایی جدول مذکور، مشخص‌کننده اعضای معکوس و رو به جلو است و همان‌طورکه اشاره شد، متأسفانه در بسیاری از مقالات، اکثریت اعضا به‌خصوص عناصر معکوس را در نظر نگرفته‌اند. در پژوهش حاضر، مطابق مدل مفهومی ارائه‌شده در شکل (۱) تمام اعضای رو به جلو و معکوس وجود دارند. در ستون بعدی اهداف مدل‌های ارائه‌شده، ذکر شده است. این مقاله از یک‌سو، با در نظر گرفتن چهار هدف، بیش‌ترین پوشش را نسبت به مقالات گذشته اختیار کرده و از سوی دیگر، با در نظر گرفتن روش حل کارا (که در ادامه بیان می‌شود) به بهترین جواب برای تصمیم‌گیری نائل شده است.

همان‌طورکه اشاره شده، علاوه بر مکان‌یابی اعضا، برنامه‌ریزی نیز ضرورت دارد. ستون بعدی تعداد دوره‌های برنامه‌ریزی را مشخص می‌کند. بیش‌تر مدل‌ها تک‌دوره‌ای‌اند، اما در مدل ارائه‌شده، علاوه بر در نظر گرفتن حالت چنددوره‌ای، میزان کمبود و موجودی نیز در نظر گرفته شده است که مقالات گذشته کم‌تر به آن پرداخته‌اند. ستون آخر نیز نشانگر انواع جریان است که در بیش‌تر مقالات بر محصول معطوف بوده، و درواقع نقصان بزرگ این مدل‌ها محسوب می‌شود. با توجه به این‌که اساس زنجیره‌تأمین حلقه بسته در نظر گرفتن محصول و تمام اجزا شامل مواد، قطعه و مجموعه است؛ بنابراین، تحقیق اخیر بیش‌ترین پوشش را در اهداف و سطوح زنجیره و آیتم‌ها دارد. مدل چندهدف فازی ارائه شده در این مقاله، در مقایسه با مدل‌های اشاره شده فوق، توانسته همزمان ابعاد کمّی و کیفی، زمان تحویل و اثرات زیست‌محیطی را در چرخه عمر محصول در نظر بگیرد. این مدل از یک‌سو با درنظرگرفتن بیش‌تر پارامترها به‌صورت فازی، می‌تواند جوابگوی فضای عدم قطعیت باشد؛ از سوی دیگر، با در نظرگرفتن روش‌های مختلف جمع‌آوری و تعیین تکلیف به بازآوری منابع جهت کاهش استفاده از منابع طبیعی و اثر زیست‌محیطی منجر شود. بازارهای مختلفی که می‌توانند در زنجیره حلقه بسته وجود داشته باشند (همانند بازار فروش دست دوم، اجزا و ضایعات) به‌عنوان یک نوآوری دیگر در این مقاله در نظر گرفته شده است.

1. Mirakhorli (2014).



جدول ۱ـ مقایسه آخرین تحقیقات زنجیره تأمین حلقه بسته با تحقیق حاضر

۲. توسعه فرضیه‌ها و الگوی مفهومی

نرخ بازگشت یکی از عوامل مهم عدم قطعیت در لجستیک معکوس است و چون بیشتر محققان، شرایط عدم قطعیت در زنجیره‌تأمین حلقه بسته چندهدفه برگشتی‌ها را در نظر نگرفته‌اند، باید حالت مختلف برگشتی در نظر گرفته شود. بنابراین، با توجه به کیفیت اقلام برگشتی برای بازآوری ممکن است پنج عملیات رخ دهد[1]:

الف) تعمیر

هدف از تعمیر، ایجاد امکان بازگشت محصولات استفاده‌شده به‌سوی ارضای تقاضای محصولات دسته دوم است. باید به یاد داشت کیفیت محصولات تعمیرشده کم‌تر از محصولات نو بوده و تعمیر محصول درگیر تعویض مجموعه‌های ریز و مواد است. همچنین، بسیاری از تولیدکنندگان همانند آی بی‌ام، که محصولات با دوام تولید می‌کنند نیز درگیر این فرآیند هستند.

ب) نوسازی (تازه‌کردن مجموعه‌ها)

هدف از نوسازی، بازیابی محصولات به‌واسطه تعویض مجموعه‌ها است. سطح کیفیت محصولات نوسازی‌شده کم‌تر از محصولات جدید بوده و محصول دسته دوم محسوب می‌شود. در این حالت، مجموعه‌های اساسی بازرسی شده و درصورت نیاز تعویض شده و مجموعه‌ها به‌روز می‌شود (همانند موتور لوازم خانگی). مجموعه‌های مربوط به هواپیما و کامپیوتر مثال‌های خوبی از این فعالیت‌اند.

پ) بازسازی

در این حالت تمام قطعات و مجموعه‌های محصول تفکیک و بازرسی شده و قطعات و مجموعه‌های فرسوده با موارد جدید تعویض می‌شود. بازسازی ممکن است در ارتباط با به‌روزآوری تکنولوژی نیز باشد. شرکت بی. ام. و.، مجموعه‌های با ارزش بالا (همانند موتور خودرو) را بازسازی می‌کند.

1. Thierry (1995).

ت) تفکیک و مجزاساختن

سه فعالیت بازآوری قبلی برای بخش بزرگی از محصولات برگشتی استفاده می‌شود. در این حالت، محصول برگشتی به اجزای آن یعنی مواد، قطعه و مجموعه تفکیک شده و در اختیار مونتاژکار و یا بازارهای فروش اجزا قرار می‌گیرد.

ث) بازیافت

هدف از مراحل بازآوری قبلی، استفاده مجدد، همزمان با حفظ عملکرد است؛ اما در مرحله بازیافت، شناسایی عملکرد محصول نادیده گرفته می‌شود. هدف از این مرحله استفاده مجدد ضایعات استفاده‌شده در مجموعه‌ها، قطعات و مواد است که می‌توانند در فرآیند تولید قطعات استفاده شوند. برای مثال، فلز بدنه خودرو (تشکیل‌دهنده ۷۵ درصد اجزای خودرو) می‌تواند بازیافت شود.

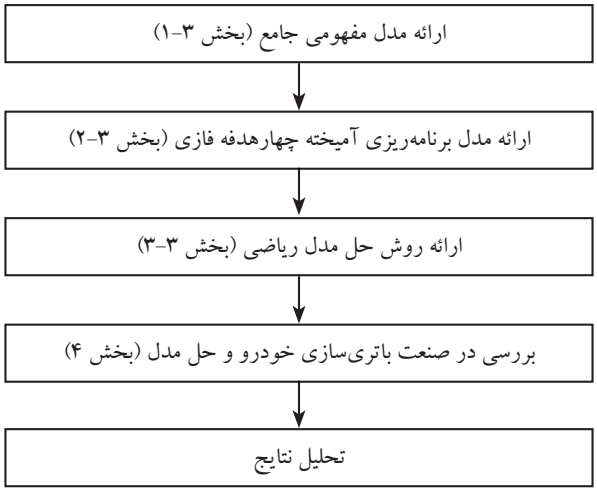
نحوه احیا در هر کدام از مراحل اشاره شده، متفاوت است. تعمیر، نوسازی و بازسازی سطح کیفی را تغییر می‌دهند. تعمیر حداقل و بازسازی در بالاترین سطح انجام می‌شود.

۳. روش‌شناسی پژوهش و مراحل آن

با توجه به این موضوع که پژوهش حاضر بر پایه مطالعات گذشته، می‌کوشد مدل‌های گذشته را تکمیل کند، این پژوهش توسعه‌ای بوده و به دلیل آن‌که صنعت باتری‌سازی را بررسی کرده است، کاربردی نیز محسوب شده و از این‌رو، پژوهشی توسعه‌ای ـ کاربردی است. همچنین، براساس طبقه‌بندی واکر[1]، تحقیق به گروه‌های آماری و ریاضی دسته‌بندی شده و با توجه به طبقه‌بندی واکر تحقیق حاضر از نوع تحلیلی ریاضی است.

مراحل انجام این پژوهش در نمودار (۱) ترسیم شده و در ادامه به شرح هریک پرداخته می‌شود.

1. Wacker (1998).

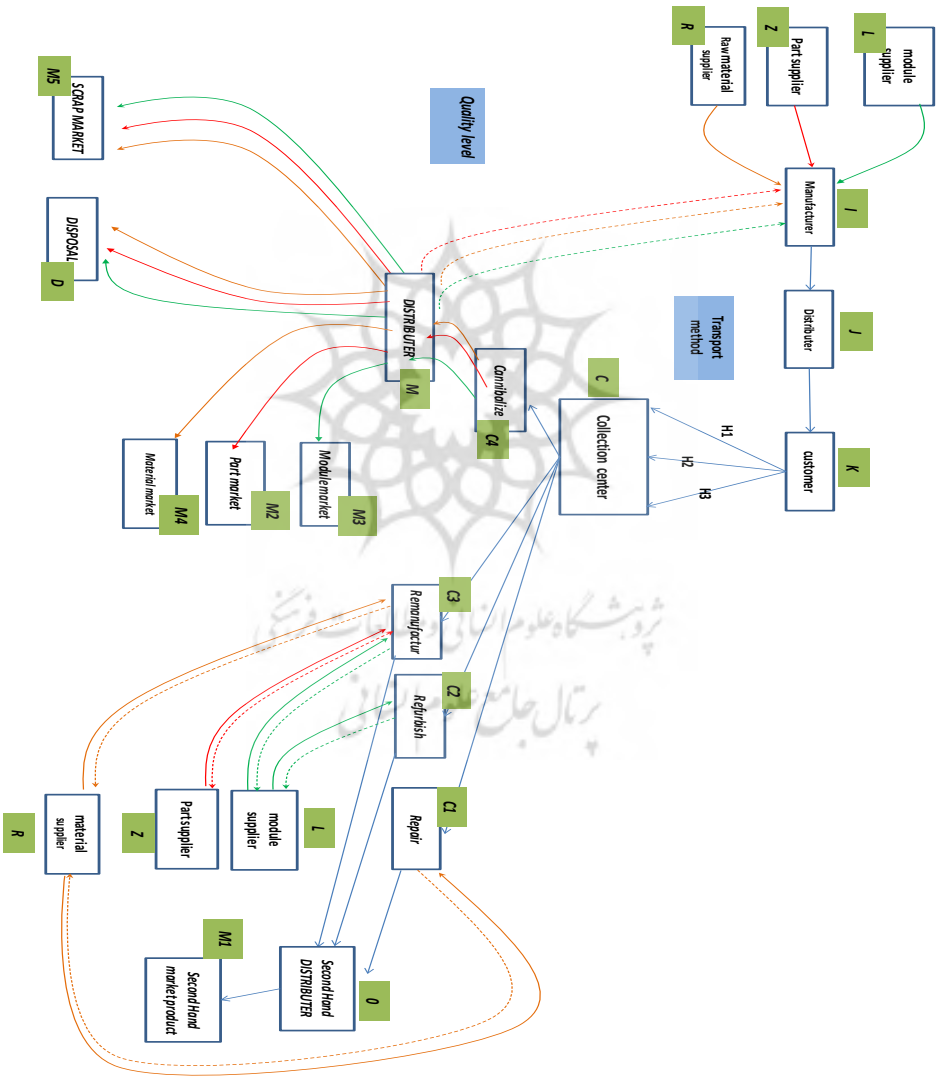


نمودار ۱

۱ـ۳. ارائه مدل مفهومی

بر پایه مطالعات گذشته مدل مفهومی مطابق نمودار (۲) ارائه شده است. بیش‌تر محصولات دارای اجزای زیادی هستند که به‌صورت کلی می‌توان آن‌ها را به سه گروه مجموعه (اندیس X)، قطعات (اندیس P) و مواد (اندیس U) تقسیم کرد. مطابق نمودار، تأمین‌کننده مجموعه با اندیس L، تأمین‌کننده قطعه با اندیس Z و تأمین‌کننده مواد با اندیس R نمایش داده شده است. مونتاژکار پس از تأمین‌کنندگان قرار دارد (اندیس I). توزیع‌کننده (اندیس J) محصول را به مناطق مصرف یعنی مشتریان (اندیس K) می‌فرستد. در بخش معکوس زنجیره‌تأمین حلقه بسته، برگشت از مناطق مشتری به‌سمت مراکز جمع‌آوری جریان دارد؛ مشخص است که این جریان براساس روش جمع‌آوری (اندیس H) می‌تواند در حالت‌های مختلفی رخ دهد. در مرکز جمع‌آوری پس از بررسی سطوح کیفی، محصول برگشتی به یکی از مراکز اصلاح فرستاده می‌شود. مطابق دسته‌بندی عملیات‌های مختلف بازآوری، درصورتی‌که تعمیر جزئی انجام شود (در مرکز C_1)، فقط ممکن است مواد تعویض شوند که پس از دریافت از تأمین‌کننده مواد، داغی آن برای تأمین‌کننده ارسال شده و پس از تعمیر، به بازار M_1 فرستاده می‌شود. اگر به مرکز C_2 فرستاده شود، در این صورت، ماژول‌های حیاتی مربوط به محصول درصورت نیاز تعویض شده و همچنین، داغی مجموعه‌ها نیز به تأمین‌کننده پس داده می‌شود. و چنانچه به مرکز C_3 فرستاده شود، دراین‌صورت، ماژول‌ها و قطعات محصول در صورت خرابی تعویض

شده و داغی مجموعه‌ها و قطعات نیز برای تأمین‌کننده فرستاده می‌شود. در هر دو حالت، محصول دست دوم برای فروش به مرکز توزیع O و از آنجا برای فروش به بازار M_1 ارسال می‌شود. در مرکز C_4 ماژول‌ها، قطعات و مواد تفکیک شده و به بازارهای فروش M_2 (فروش قطعه)، M_3 (فروش مجموعه)، M_4 (فروش مواد) فرستاده می‌شود و یا برای مصرف به سازنده (اندیس I) داده خواهد شد. چنانچه اجزا قابل استفاده نباشد، به‌صورت ضایعات به بازار M_5 و یا برای امحاء به مرکز D ارسال می‌شود. این مدل در T پریود انجام می‌شود.



نمودار ۲ـ مدل زنجیره تأمین حلقه بسته پیشنهادی

۲ـ۳. مدل ریاضی

براساس مدل مفهومی ارائه‌شده، مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی ارائه می‌شود. پارامترها برای درنظرگرفتن عدم قطعیت به‌صورت اعداد فازی مثلثی در نظر گرفته شده و در ادامه توابع اهداف چهارگانه تشریح می‌شود.

۱ـ۲ـ۳. اهداف

الف) تابع هدف اول: بیشینه‌سازی سودآوری

این تابع شامل اختلاف فروش با هزینه‌ها است و آیتم‌های آن عبارتند از:

فروش کل= فروش محصول نو+ فروش محصول دسته دوم + فروش ماژول تفکیک‌شده + فروش قطعه تفکیک‌شده + فروش مواد احیاشده

هزینه‌ها= هزینه راه‌اندازی مراکز اصلاح و توزیع + هزینه تبلیغات مراکز به بازار + هزینه خرید قطعه + هزینه خرید مواد + هزینه عملیاتی سازنده + هزینه خرید ماژول + هزینه عملیاتی مرکز توزیع + هزینه مربوط به عملیات روی محصول برگشتی در چهار روش براساس کیفیت محصول برگشتی + هزینه حمل بین عناصر+ هزینه خرید ماژول، قطعه و مواد در حالت تعویض ماژول و قطعه و مواد + خرید محصول برگشتی در شرایط مختلف + هزینه‌های مربوط به نگهداری و کمبود.

ب) تابع هدف دوم: کمینه‌سازی اثرات زیست‌محیطی

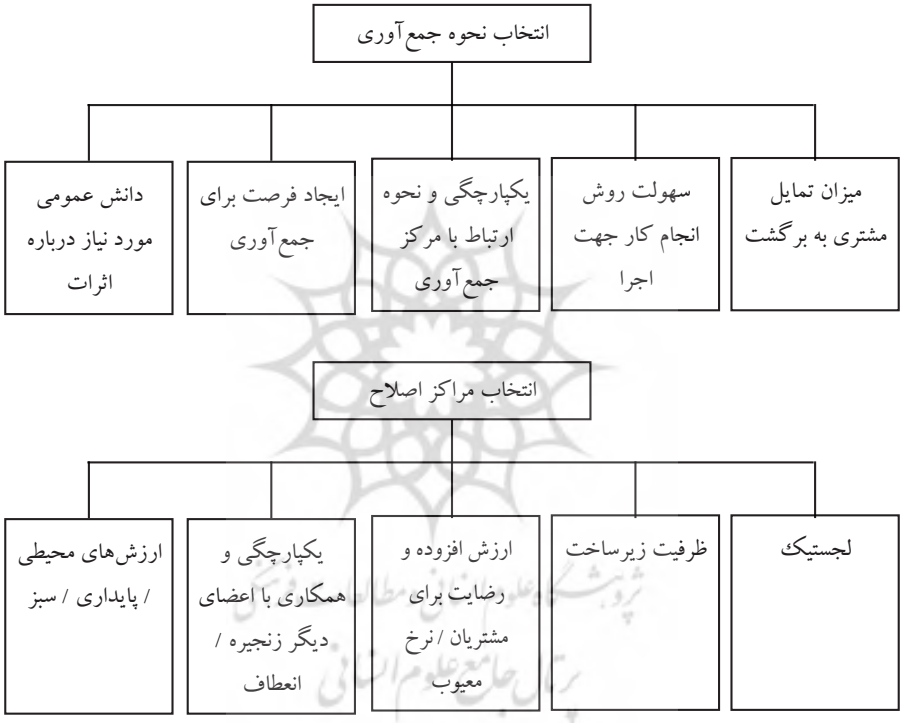
این تابع شامل مجموع اثرات ذیل است:

اثرات زیست‌محیطی خرید و حمل قطعات، مجموعه و مواد از تأمین‌کننده، اثرات زیست‌محیطی تولید و حمل به مرکز توزیع، اثرات زیست‌محیطی توزیع و حمل، اثرات زیست‌محیطی مربوط به مرکز جمع‌آوری و حمل، اثرات مربوط به انجام اصلاح در مراکز چهارگانه و حمل، اثرات زیست‌محیطی مرکز توزیع و حمل، اثرات زیست‌محیطی حمل برای خرید قطعات، مجموعه‌ها و مواد جهت تعمیر، نوسازی و بازسازی، اثرات زیست‌محیطی حمل به بازارها و سازنده‌ها (قطعات، مجموعه و مواد) و نگهداری موجودی، اثرات زیست‌محیطی زباله در محیط‌زیست مربوط به قطعات، مجموعه و مواد.

برای محاسبه نمرات اثرات زیست‌محیطی در طول چرخه عمر از نرم‌افزار SimaPro استفاده می‌شود.

پ) تابع هدف سوم:حداکثرسازی مجموع وزنی کیفی مراکز اصلاح و نحوه جمع‌آوری

وزن‌های نهایی مربوط به مراکز اصلاح ۱ تا ۴ و مراکز جمع‌آوری براساس معیارهای نمودار (۳) است که براساس روش آنالیز سلسه‌مراتب فازی وزن‌گذاری می‌شود.



نمودار ۳ـ معیارهای مقایسات زوجی مراکز اصلاح وجمع‌آوری

ت) تابع هدف چهارم:تحویل به مشتری

این تابع هدف سعی در حداقل‌سازی زمان تحویل به مشتری داشته و برای محاسبه زمان تحویل از فاصله جغرافیایی بین مراکز استفاده می‌شود.

۲ـ۲ـ۳. محدودیت‌ها

محدودیت‌های درنظرگرفته‌شده در مدل، به شرح ذیل بوده و در ارتباط با مواردی همانند توازن جریان بین اعضا و ظرفیت است.

محدودیت توازن مربوط به تأمین‌کنندگان قطعات، مجموعه و مواد، مراکز تفکیک (سمت چپ) و مقادیر تولید توسط مونتاژکار:

$$\sum_{Z=1}^{N_Z} Q_{ZIPT} + \sum_{M=1}^{N_M} Q_{MIPT} = \emptyset P_P \sum_{J=1}^{N_J} Q_{IJT} \quad \forall I, P, T$$

$$\sum_{R=1}^{N_R} QRIU_{RIUT} + \sum_{M=1}^{N_M} Q_{MIUT} = \emptyset U_U \sum_{J=1}^{N_J} Q_{IJT} \quad \forall I, U, T$$

$$\sum_{L=1}^{N_L} Q_{LIXT} + \sum_{M=1}^{N_M} Q_{MIXT} = \emptyset X_X \sum_{J=1}^{N_J} Q_{IJT} \quad \forall I, X, T$$

محدودیت توازن بین مونتاژکار و توزیع‌کننده:

$$\sum_{I=1}^{N_I} Q_{IJT} = \sum_{K=1}^{N_K} Q_{JKT} \forall J, T$$

محدودیت توازن موجودی و کمبود با مقدار تقاضا در ناحیه مشتری:

$$\sum_{J=1}^{N_J} Q_{JKT} + INVK_{K(T-1)} - INVK_{KT} + BK_{KT} = DK_{KT} \quad \forall K, T$$

محدودیت مقدار عرضه برگشتی و مراکز جمع‌آوری

$$\sum_{C=1}^{N_C} QKC_{KCHT} \leq SUPPLY_{KHT} \quad \forall K, H, T$$

$$\sum_{K=1}^{N_K} \sum_{C=1}^{N_C} QKC_{KCHT} \leq YH_{HT}\, BigM \quad \forall H, T$$

$$\sum_{H=1}^{N_H} YH_{HT} = NN_T$$

محدودیت مربوط به حداقل الزام محیطی برای جمع‌آوری در هر ناحیه:

$$\sum_{C=1}^{N_C}\sum_{T=1}^{N_T}\sum_{H=1}^{N_H} QKC_{KCHT} \geq EK_K \quad \forall K$$

محدودیت توازن بین مراکز اصلاح با مراکز جمع‌آوری:

$$\sum_{c1=1}^{\mathrm{N_{C1}}} \mathrm{QCC1_{CC1T}} = \delta_1 \sum_{K=1}^{\mathrm{N_K}}\sum_{\mathrm{H=1}}^{\mathrm{N_H}} QKC_{KCHT}\, \forall C,T \qquad \sum_{\mathrm{C2=1}}^{\mathrm{N_{C2}}} \mathrm{QCC2_{CC2T}} = \delta_2 \sum_{K=1}^{\mathrm{N_K}}\sum_{\mathrm{H=1}}^{\mathrm{N_H}} QKC_{KCHT} \quad \forall C,T$$

$$\sum_{\mathrm{C3=1}}^{\mathrm{N_{C3}}} \mathrm{QCC3_{CC3T}} = \delta_3 \sum_{K=1}^{\mathrm{N_K}}\sum_{\mathrm{H=1}}^{\mathrm{N_H}} QKC_{KCHT}\, \forall C,T \qquad \sum_{\mathrm{C4=1}}^{\mathrm{N_{C4}}} \mathrm{QCC4_{CC4T}} = \delta_4 \sum_{K=1}^{\mathrm{N_K}}\sum_{\mathrm{H=1}}^{\mathrm{N_H}} QKC_{KCHT}\, \forall C,T$$

محدودیت تعداد به‌کارگیری مراکز اصلاح در دوره‌های مختلف:

$$\sum_{O=1}^{\mathrm{N_0}} \mathrm{QC1O_{C1OT}} \leq YC1_{C1T} CAP1_{C1T} \quad \forall C1,T \qquad \text{و} \sum_{C1=1}^{\mathrm{N_{C1}}} YC1_{C1T} \leq \mathrm{NNN}_T \quad \forall T,$$

$$\sum_{O=1}^{\mathrm{N_O}} \mathrm{QC2O_{C2OT}} \leq YC2_{C2T}\, CAP2_{C2T} \quad \forall C2,T \qquad \text{و} \sum_{C2=1}^{\mathrm{N_M}} YC2_{C2T} \leq \mathrm{NNN}_T \quad \forall T,$$

$$\sum_{O=1}^{\mathrm{N_O}} \mathrm{QC3O_{C3OT}} \leq YC3_{C3T}\, CAP3_{C3T} \quad \forall T, \sum_{C3=1}^{\mathrm{N_M}} YC3_{C3\,T} \leq \mathrm{NNN}_T \quad \forall T,$$

$$\sum_{M=1}^{\mathrm{N_M}} \mathrm{QC4MPT_{C4MPT}} \leq YC4P_{C4PT}\, CAP4P_{C4PT} \quad \forall C4,P,T \sum_{C4=1}^{\mathrm{N_{C4}}} YC4P_{C4PT} \leq \mathrm{NNNP}_{PT} \quad \forall P,T$$

$$\sum_{M=1}^{\mathrm{N_M}} \mathrm{QC4MX_{C4MXT}} \leq YC4X_{C4XT}\, CAP4X_{C4XT} \quad \forall C4,X,T \sum_{C4=1}^{\mathrm{N_{C4}}} YC4X_{C4XT} \leq \mathrm{NNNX}_{XT} \quad \forall X,T$$

$$\sum_{M=1}^{\mathrm{N_M}} \mathrm{QC4MU_{C4MUT}} \leq YC4U_{C4UT}\, CAP4U_{C4UT} \quad \forall U,T \sum_{C4=1}^{\mathrm{N_{C4}}} YC4U_{C4UT} \leq \mathrm{NNNU}_{UT} \quad \forall U,T$$

$$\sum_{U=1}^{\mathrm{N}_U} YC4U_{C4UT} + \sum_{X=1}^{\mathrm{N}_X} YC4X_{C4XT} + \sum_{P=1}^{\mathrm{N}_P} YC4P_{C4PT} \leq BigM\, YC4_{C4T} \quad \forall C4,T$$

محدودیت توازن بین مراکز توزیع و بازار:

$$\sum_{c=1}^{\mathrm{N_C}} \mathrm{Q_{CC1T}} = \sum_{O=1}^{\mathrm{N_O}} Q_{C1OT} \quad \forall C1,T$$

$$\sum_{C=1}^{N_C} Q_{CC2T} = \sum_{O=1}^{N_O} Q_{C2OT} \; \forall C2, T$$

$$\sum_{C=1}^{N_C} Q_{CC3T} = \sum_{O=1}^{N_O} Q_{C3OT} \; \forall C3, T$$

$$\sum_{M1}^{N_{M1}} QOM1_{OM1T} = \sum_{C1=1}^{N_{C1}} Q_{C1OT} + \sum_{C2=1}^{N_{C2}} Q_{C2OT} + \sum_{C3=1}^{N_{C3}} Q_{C3OT} \; \forall O, T$$

محدودیت ظرفیت مرکز توزیع محصول دست دوم:

$$PU_U \; \emptyset U_U \sum_{O=1}^{N_O} QC1O_{C1OT} = \sum_{R=1}^{N_R} QRC1U_{RC1UT} \; \forall C1, U, T$$

$$PU_U \emptyset U_U \sum_{O=1}^{N_O} QC2O_{C2OT} = \sum_{R=1}^{N_R} QRC2U_{RC2UT} \; \forall C2, U, T$$

$$PU_U \emptyset U_U \sum_{O=1}^{N_O} QC3O_{C3OT} = \sum_{R=1}^{N_R} QRC3U_{RC3UT} \; \forall C3, U, T$$

محدودیت مقدار ماژول / قطعه / مواد مورد نیاز برای احیای محصول (محصول دست دوم) در سه مرکز تعمیر، نوسازی مجموعه و بازسازی:

$$PX_X \; \emptyset X_X \sum_{O=1}^{N_O} QC2O_{C2OT} = \sum_{L=1}^{N_L} QLC2X_{LC2XT} \; \forall C2, X, T$$

$$PX_X \emptyset X_X \sum_{O=1}^{N_O} QC3O_{C3OT} = \sum_{L=1}^{N_L} QLC3X_{LC3XT} \; \forall C3, X, T$$

$$PP_P \emptyset P_P \sum_{O=1}^{N_O} QC3O_{C3OT} = \sum_{Z=1}^{N_Z} QZC3P_{ZC3PT} \; \forall C3, P, T$$

محدویت مربوط به موجودی در بازار محصول دست دوم و تفکیک ماده، قطعه، مجموعه و ارسال آن به مراکز بازار و ضایعات، دوریز، و معادلات مربوط به موجودی و میزان کمبود.

$$\sum_{M1}^{N_{M1}} QOM1_{OM1T} + INVM1_{M1(t-1)} - INVM1_{M1T} + BM1_{M1T} = DM1_{M1T} \; \forall M1, T$$

$$\sum_{M1}^{N_{M1}} QOM1_{OM1T} \leq YM1_{M1T} BM1_{M1T} \; \forall M1, T$$

$$\sum_{M1=1}^{N_{M1}} QMM1_{MM1UT} \leq YM1_{M1}CAPU_{UT} \quad \forall U,T$$

$$\theta 1U_U \emptyset U_U \sum_{C=1}^{N_C}\sum_{C4=1}^{N_{C4}} QCC4_{CC4T} - \sum_{M=1}^{N_M}\sum_{M4=1}^{N_{M4}} QMM4U_{MM4UT} \quad \forall U,T$$

$$\sum_{M1=1}^{N_{M1}} QMM1U_{MM1UT} + INVM1U_{M1U(T-1)} - INVM1U_{M1UT} + BM1U_{M1UT} = DM1U_{M1UT} \quad \forall M1,U,T$$

$$\sum_{M1=1}^{N_{M1}} QMM1U_{MM1UT} \leq YM1U_{M1UT} DM1U_{M1UT} \quad \forall M1,U,T$$

$$\theta 1D_D \emptyset D_D \sum_{C=1}^{N_C}\sum_{C4=1}^{N_{C4}} QCC4_{CC4T} - \sum_{M=1}^{N_M}\sum_{M4=1}^{N_{M4}} QMM4D_{MM4DT} \quad \forall M,D,T$$

$$(1-\theta 1U_U-\theta 2U_U)\ \emptyset U_U \sum_{C=1}^{N_C}\sum_{C4=1}^{N_{C4}} QCC4_{CC4T} - \sum_{M=1}^{N_M}\sum_{M4=1}^{N_{M4}} QMM4U_{MM4UT} + \sum_{M=1}^{N_M}\sum_{I=1}^{N_I} QMIU_{MIUT} \quad \forall U,T$$

$$\sum_{M=1}^{N_M} QMM4U_{MM4UT} + INVM4U_{M4U(T-1)} - INVM4U_{M4UT} + BM4U_{M4UT} = DM4U_{M4UT} \quad \forall M4,U,T$$

$$\sum_{M=1}^{N_M} QMM4U_{MM4UT} \leq YM4U_{M4UT} DM4U_{M4UT} \quad \forall M4,U,T$$

$$\theta 1X_X \ \emptyset X_X \sum_{C=1}^{N_C}\sum_{C4=1}^{N_{C4}} QCC4_{CC4T} = \sum_{M=1}^{N_M}\sum_{M5=1}^{N_{M5}} QMM5X_{MM5XT} \quad \forall X,T$$

$$\sum_{M=1}^{N_M} QMM5X_{MM5XT} + INVM5X_{M5X(T-1)} - INVM5X_{M5XT} + BM5X_{M5XT} = DM5X_{M5XT} \quad \forall M5,X,T$$

$$\sum_{M=1}^{N_M} QMM5X_{MM5XT} \leq YM5X_{M5XT} DM5X_{M5XT} \quad \forall M5,X,T$$

$$\theta 2X_X \ \emptyset X_X \sum_{C=1}^{N_C}\sum_{C4=1}^{N_{C4}} QCC4_{CC4T} = \sum_{M=1}^{N_M}\sum_{D=1}^{N_D} QMDX_{MDXT} \quad \forall X,T$$

$$(1-\theta 1X_X-\theta 2X_X)\ \emptyset X_X \sum_{C=1}^{N_C}\sum_{C4=1}^{N_{C4}} QCC4_{CC4T} = \sum_{M=1}^{N_M}\sum_{M3=1}^{N_M} QMM3X_{MM3XT} + \sum_{M=1}^{N_M}\sum_{I=1}^{N_I} QMIX_{MIXT} \quad \forall X,T$$

$$\sum_{M=1}^{N_M} QMM3X_{MM3XT} + INVM3X_{M3X(T-1)} - INVM3X_{M3XT} + BM3X_{M3XT} = DM3X_{M3XT} \quad \forall M3,X,T$$

$$\sum_{M=1}^{N_M} QMM3X_{MM3XT} \leq YM3X_{M3XT} DM3X_{M3XT} \quad \forall M3,X,T$$

$$\theta 1P_P \ \emptyset P_P \sum_{C=1}^{N_C}\sum_{C4=1}^{N_{C4}} QCC4_{CC4T} = \sum_{M=1}^{N_M}\sum_{M5=1}^{N_M} QMM5P_{MM5PT} \quad \forall P,T$$

$$\sum_{M=1}^{N_M} QMM5P_{MM5PT} + INVM5P_{M5P(T-1)} - INVM5P_{M5PT} + BM5P_{M5PT} = DM5P_{M5PT} \quad \forall M5,P,T$$

$$\sum_{M=1}^{N_M} QMM5P_{MM5PT} \le YM5P_{M5PT} DM5P_{M5PT} \quad \forall M5,P,T$$

$$\theta 2P_P \ \emptyset P_P \sum_{C=1}^{N_C} \sum_{C4=1}^{N_{C4}} QCC4_{CC4T} = \sum_{M=1}^{N_M} \sum_{D=1}^{N_D} QMDP_{MDPT} \ \forall P,T$$

$$(1 - \theta 1P_P - \theta 2P_P) \ \emptyset P_P \sum_{C=1}^{N_C} \sum_{C4=1}^{N_{C4}} QCC4_{CC4T} = \sum_{M=1}^{N_M} \sum_{M2=1}^{N_M} QMM2P_{MM2PT} + \sum_{M=1}^{N_M} \sum_{I=1}^{N_I} QMIP_{MIPT} \quad \forall P,T$$

$$\sum_{M=1}^{N_M} QMM2P_{MM2PT} + INVM2P_{MM2P(T-1)} - INVM2P_{MM2PT} + BM2P_{M2PT} = DM2P_{M2PT} \quad \forall M2,P,T$$

$$\sum_{M=1}^{N_M} QMM2P_{MM2PT} \le YM2P_{M2PT} DM2P_{M2PT} \quad \forall M2,P,T$$

$$\sum_{M4=1}^{N_{M4}} \sum_{U=1}^{N_U} QMM4U_{MM4UT} + \sum_{M2=1}^{N_{M2}} \sum_{U=1}^{N_U} QMM2P_{MM2PT} + \sum_{X=1}^{N_X} \sum_{M5=1}^{N_{M5}} QMM5X_{MM5XT} + \sum_{P=1}^{N_P} \sum_{I=1}^{N_I} QMIP_{MIPT} + \sum_{U=1}^{N_U} \sum_{I=1}^{N_I} QMIU_{MIUT} + \sum_{X=1}^{N_X} \sum_{I=1}^{N_I} QMIX_{MIXT}$$

$$\le YM_{MT} CAPM_{MT} \quad \forall M,T$$

محدودیت ظرفیت مربوط به مراکز توزیع محصول دسته دوم، تأمین‌کننده‌های مواد قطعه و مجموعه، مونتاژکار و توزیع‌کننده:

$$\sum_{Z=1}^{N_Z} QZIP_{ZIPT} + \sum_{C3=1}^{N_{C3}} QZC3P_{ZC3PT} \le YZ_{ZPT} CAPZ_{ZPT} \quad \forall Z,P,T$$

$$\sum_{I=1}^{N_I} QRIU_{RIUT} + \sum_{C1=1}^{N_{C1}} QRC1X_{RC1UT} + \sum_{C2=1}^{N_{C2}} QRC2X_{RC2UT} + \sum_{C3=1}^{N_{C3}} QRC3X_{RC3UT} \le YR_{RUT} CAPR_{RUT} \quad \forall R,U,T$$

$$\sum_{I=1}^{N_I} QLIX_{LIXT} + \sum_{C2=1}^{N_{C2}} QLC2X_{LC2XT} + \sum_{C3=1}^{N_{C3}} QLC3X_{LC3XT} \le YL_{LXT} CAPL_{LXT} \quad \forall L,X,T$$

$$\sum_{J=1}^{N_J} Q_{IJT} \le CAPI_{IT} \quad \forall I,T \qquad \text{و} \sum_{I=1}^{N_I} Q_{IJT} \le CAPJ_{JT} \quad \forall J,T$$

$$\sum_{K=1}^{N_K} \sum_{H=1}^{N_H} QKC_{KCHT} \le YC_{CT} \, CAPC_{CT} \quad \forall C,T$$

۳ـ۳. روش حل مدل ریاضی

روش‌های مختلفی برای حل مدل ارائه‌شده، وجود دارد و روش ترابی[1] (که در ادامه تشریح می‌شود) یکی از بهترین روش‌هایی است که در حال حاضر برای مدل‌های فازی چندهدفه به‌کار می‌رود.

روش جدیدی که ترابی برای حل چندهدفه فازی ارائه داد، نواقص روش‌های قبلی را برطرف کرده است. مدل ارائه‌شده با عنوان TH معرفی گردیدکه در واقع ترکیبی موفق از روش‌های قبلی است.کارایی روش فوق در مقاله اشاره شده ثابت شده است. این رویکرد درواقع به‌عنوان ترکیب محدبی از حداقل درجه رضایت توابع هدف فازی (λ_0) و مجموع وزنی درجه نائل شدن ($\mu_h(v)$) بوده و مدل ارائه‌شده به شرح ذیل است:

$$MAX\ \lambda(v) = \gamma\lambda_0 + (1-\gamma)\sum_h \theta_h\,\mu_h(v)$$

$$s.t. \lambda_0 \leq \mu_h(v) \quad h=1,2,\ldots$$

$$v \epsilon F(v)$$

$$\lambda_0, \gamma \epsilon [0,1]$$

که در آن، F(v) فضای جواب برای مسأله بوده و مقدار با حل مدل به‌دست می‌آید. همچنین، θ_h نشانگر مقدار اولویت هدف فازی است. این وزن براساس اهمیتی تـــعیین می‌شود که تصمیم‌گیرنده برای اهداف فازی در نظر دارد ($\Sigma_h\theta_h=1;\ \theta_h>0$). ضریب γ به‌عنوان مقایسه میان میزان حداقل رضایت و مجموعات ترجیحات تصمیم‌گیرنده است. مقادیر بزرگ‌تر γ نشانگر توجه به مقادیر γ_0 و توجه به ایجاد یک حل ترکیبی است (درواقع تعادل بیش‌تری بین جواب‌های توابع هدف فازی وجود دارد). برعکس، مقدار کم‌تر γ نشانگر توجه به درنظرگرفتن درجه بالای اهمیت توابع، بدون درنظرگرفتن حداقل رضایت اهداف فازی است (درواقع، تعادل کم‌تری بین جواب‌های توابع هدف فازی وجود دارد).

۴. بررسی صنعت باتری‌سازی خودرو و حل مدل

باتری پس از پایان عمر مفیدش، به زباله خطرناکی تبدیل می‌شود که سرب و اسید در

1. Torabi (2009).

محیط‌زیست می‌پراکند. به‌طور معمول، اجزای سربی حدود ۷۰ درصد، الکترولیت حدود ۲۰ درصد و پلاستیک حدود ۱۰ درصد وزن یک باتری را تشکیل داده و همگی با روش‌های ساده‌ای قابل بازیافتند. همچنین، به‌دلیل ارزش بالای سرب و ارزانی نسبی بازیافت آن از زباله‌های باتری، کارخانه‌های بازیافت باتری در سراسر جهان فعال بوده و برای جلوگیری از خطر پراکندگی آلودگی باید شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته برای آن طراحی شود. هم‌اکنون، بازیافت باتری‌های سرب ـ اسید در ایران عموماً در کارخانه فجر باتری‌سازی نیرو متمرکز شده که تأسیسات اختصاصی برای بازیافت دارد و در کنار آن، کارخانه سرب زنجان و بازیافت‌کنندگان سنتی نیز در ابعاد محدودی به این کار اشتغال دارند. آمار واردات و صادرات باتری‌های نو و مستعمل و نیز آمار موجودی باتری در کشور و پیش‌بینی رشد در صنعت مذکور نشان می‌دهد ظرفیت‌های فعلی به مرز اشباع رسیده و در آینده قابل پیش‌بینی با بحران زباله‌های باتری مواجه خواهیم بود. با توجه به انگیزه‌های قوی مالی نهفته در تجارت و بازیافت باتری‌های مستعمل و عدم وجود ضوابط و سازماندهی مناسب برای کنترل چرخه تولید و بازیافت باتری سرب ـ اسید به روش سالم، این تحقیق با تخمین مقادیر زباله باتری و در نظرگرفتن خطرات ناشی از پراکنش این زباله‌ها و سرانجام با توجه به تعهدات حقوقی ایران نسبت به کنوانسیون‌های بین‌المللی حفظ محیط‌زیست ــ به‌ویژه کنوانسیون بازل (۱۹۸۹) ــ راهکار مناسبی برای مدیریت و ساماندهی امور تولید و بازیافت باتری‌های سرب ـ اسید پیشنهاد می‌دهد.

۱ـ۴. حل مدل جهت مطالعه موردی

این مدل برای انتخاب اعضای زنجیره‌تأمین برگشتی باتری خودرو در ۱۰ استان کشور بررسی شد که این مراکز عبارتند از: مناطق جمع‌آوری، مراکز تعمیر، نوسازی مجموعه، بازسازی، تفکیک محصول، بازارهای محصول دسته دوم، قطعات، مجموعه، مواد، ضایعات باتری خودرو. همچنین، در این مدل به‌صورت همزمان چهار تابع هدف سود، اثر زیست‌محیط، اوزان کیفی و زمان تحویل نیز در نظر گرفته شده است. این مدل برای ۱۰ دوره اجرا شده و برای تخمین تقاضا از روش میانگین متحرک استفاده شده که در نهایت، با استفاده از روش ترابی و به‌کارگیری نظرات خبرگان جهت تعیین ضرایب، جواب بهینه ذیل با استفاده از نرم‌افزار گمز به‌دست آمد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این مدل

همزمان با بیشینه‌سازی سودآوری، تأثیرات زیست‌محیطی و زمان تحویل هم کم شده و مراکز با بیش‌ترین وزن حاصل از مقایسات زوجی انتخاب می‌شوند. مقادیر توابع هدف در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲ـ نتایج مطالعه موردی

مقدار تابع هدف اول (میزان سودآوری براساس واحد تومان)	1.85E+12
مقدار تابع هدف دوم (میزان اثر زیست‌محیطی براساس امتیاز نرم‌افزار سیما پرو برای محاسبه اثر زیست‌محیطی)	133532
جمع وزنی مراکز انتخاب شده حاصل از مقایسات زوجی	245
جمع وزنی زمان انتقال به مشتریان (براساس ساعت)	3.9E+06

با فرض $\theta_4=0.25$ $\theta_3=0.1$ $\theta_2=0.2$ $\theta_1=0.45$ $\gamma=0.1$

خروجی مدل انتخاب چهار استان از ده استان بوده و اولویت تصمیم‌گیرندگان مدل در رتبه‌بندی توابع هدف به‌ترتیب عبارت است از: سودآوری، اثر زیست‌محیطی، زمان تحویل سفارش و نمره مقایسه زوجی. به‌هرحال، این نتیجه به دلیل توجه همزمان به اهداف مختلف و متناقض، مورد استقبال خبرگان قرار گرفت.

جمع‌بندی و ملاحظات

در پژوهش حاضر، مدل یکپارچه زنجیره‌تأمین حلقه بسته چندسطحی، چنددوره‌ای، چندهدفه در حالت فازی ارائه شد. در این زنجیره، انواع بازار شامل محصولات نو، دسته دوم و اجزاء وجود دارد که برنامه‌ریزی برای پاسخ به تقاضای این بازارها نیز درنظر گرفته شده است. همچنین، مدل ارائه‌شده محصول و تمام اجزای آن شامل مجموعه، قطعه و مواد را نیز دربرمی‌گیرد. در این مدل، چهار تابع هدف مطرح در زنجیره تأمین حلقه بسته شامل سود، زیست‌محیطی، وزن‌دهی اعضا و زمان تحویل نیز در نظر گرفته شده و محدودیت‌های مرتبط به مدل ریاضی اضافه شده و در ادامه نتایج مدل فازی چندهدفه برای بازیافت باتری خودرو در افق زمان‌بندی ده سال بیان گردید. همچنین، برای حل مدل از روش چندهدفه ترابی استفاده شده و نتایج با در نظرگرفتن شرایط عدم قطعیت مورد توجه و تأیید خبرگان

این صنعت قرار گرفت. مدل حاضر از یک سو به‌علت درنظرگرفتن بیش‌تر پارامترها به‌صورت فازی می‌تواند پاسخگوی فضای عدم قطعیت در صنعت باشد و از سوی دیگر، با درنظرگرفتن انواع روش‌های جمع‌آوری و اصلاح به کاهش استفاده از منابع طبیعی و اثر زیست‌محیطی منجر می‌شود و توازن میان توابع هدف نیز به رونق پایدار اقتصادی صنایع ختم می‌شود. همچنین، تعهدات بین‌المللی مانند بازل، دولت‌ها را مجبور به اجرای زنجیره‌تأمین حلقه بسته کرده است. بر این اساس، حمل‌ونقل ضایعات واردات و صادرات آن‌ها به هر کشور عضو کنوانسیون بازل به‌عنوان یکی از پسماندهای خطرناک مشمول این کنوانسیون مبتنی بر مفاد آن انجام گرفته و این امر منوط به وجود مدیریت صحیح زیست‌محیطی این‌گونه پسماند در کشور و تأیید این مدیریت توسط مرجع ذی‌صلاح آن کشور و به تبع آن، ارائه مجوز از سوی آن مرجع است. زنجیره‌تأمین حلقه بسته به‌عنوان سیاست و یکی از استراتژی‌های نوین می‌تواند برای بیش‌تر صنایع (به‌خصوص خودروسازی) مطرح باشد.

همان‌طورکه در مدل ریاضی و مطالعه موردی بیان شد، با تشکیل حلقه معکوس، جهت زنجیره‌های تأمین رو به جلو، می‌توان منافع تمام ذینفعان (همانند سهامداران، محیط‌زیست، مشتریان) را تأمین کرد. علاوه بر آن، مدل مذکور می‌تواند عدم قطعیت را نیز کاهش دهد. البته تشکیل زنجیره تأمین حلقه بسته همان‌طورکه اشاره شد، تمام مراحل تأمین، تولید و توزیع و همچنین چرخه عمر محصولات را نیز دربرمی‌گیرد. البته یکی از موارد مهم بازطراحی محصولات به‌صورتی است که امکان بازیافت وجود داشته باشد؛ علاوه بر این، فرهنگ‌سازی مصرف برای عودت کالاهای مصرف‌شده بسیار مؤثر است.

در پایان، برای مطالعات آتی موارد ذیل پیشنهاد می‌شود:

- درنظرگرفتن سایر اجزای خودرو با توجه اهمیت زیست‌محیطی، کمبود منابع و سودآوری.
- استفاده از سایر روش‌ها متاهیوریستیک و همچنین، شبیه‌سازی و تئوری صف.
- درنظرگرفتن نرخ بهره.
- تعمیم پارامترها و متغیرها.
- افزودن اهداف و محدودیت‌های بیش‌تر.

منابع

Amin, S. H., & Zhang, G. (2013); "A Multi-objective Facility Location Model for Closed-loop Supply Chain Network under Uncertain Demand and Return", *Applied Mathematical Modeling*, no. 37(6), pp. 4165-4176.

Ashfari, H., Sharifi, M., ElMekkawy, T. Y., &Peng, Q. (2014); "Facility Location Decisions within Integrated Forward/Reverse Logistics under Uncertainty", *Procedia CIRP*, no.17, pp. 606-610.

Ayvaz, B., & Bolat, B. (2014); "Proposal of a Stochastic Programming Model for Reverse Logistics Network Design under Uncertainties", *International Journal of Supply Chain Management*, no. 3(3), pp. 33-42.

Baptista, S., Gomes, M. I., & Barbosa-Póvoa, A. P. (2013); "A Stochastic Model for A Multi-period Multi-product Closed Loop Supply Chain", *XVI Congresso*. no. 16, pp. 27-36.

Das, K., Lashkari, R. S., & Mehta, M. (2015); "Designing a Resilient Supply Management System for a Supply Chain.In IIE Annual Conference", *Proceedings* , pp. 301-310

Demirel, N., Özceylan, E., Paksoy, T., &Gökçen, H. (2014); "A Genetic Algorithm Approach for Optimizing a Closed-loop Supply Chain Network with Crisp and Fuzzy Objectives", *International Journal of Production Research*, no. 52 (12), pp. 3637-3664.

Fallah, H., Eskandari, H., & Pishvaee, M. S. (2015); "Competitive Closed-loop Supply Chain Network Design under Uncertainty", *Journal of Manufacturing Systems*, no. 37(3), pp. 649-661.

Fareeduddin, M., Hassan, A., Syed, M. N., &Selim, S. Z. (2015); "The Impact of Carbon Policies on Closed-loop Supply Chain Network Design", *Procedia CIRP*, 26, 335-340.

Fleischmann, M. Beullens, P. Bloemhof-ruwaard, J. M. & Wassenhohve, V., (2001); "The Impact of Product Recovery on Logistics Network Design", *Production and Operations Management*, no. 10, pp. 156-73.

Fleischmann, M., van Nunen, J., Gräve, B., &Gapp, R. (2005); *Reverse Logistics Capturing Value in the Extended Supply Chain*, pp. 167-186.

Garg, K., Kannan, D., Diabat, A., &Jha, P. C. (2015); "A Multi-criteria Optimization Approach to Manage Environmental Issues in Closed Loop Supply Chain Network Design", *Journal of Cleaner Production*, no. 100, pp. 297-314.

Giri, B. C., & Sharma, S. (2015); "Optimizing a Closed-loop Supply Chain

with Manufacturing Defects and Quality Dependent Return Rate", *Journal of Manufacturing Systems*, no. 35, pp. 92-111.

Godichaud, M., & Amodeo, L. (2015); "Efficient Multi-objective Optimization of Supply Chain with Returned Products", *Journal of Manufacturing Systems*, no. 37(3), no. 683–691.

Golroudbary, S. R., & Zahraee, S. M. (2015); "System Dynamics Model for Optimizing the Recycling and Collection of Waste Material in a Closed-loop Supply Chain", *Simulation Modelling Practice and Theory*, no. 53, pp. 88-102.

Guide , V. D. R., Jayaraman, V., & Linton, J. D. (2003); "Building Contingency Planning for Closed-loop Supply Chains with Product Recovery", *Journal of Operations Management*, no. 21(3), pp. 259-279.

Hasani, A., Zegordi, S. H., & Nikbakhsh, E. (2015); "Robust Closed-loop Global Supply Chain Network Design under Uncertainty: The Case of the Medical Device Industry", *International Journal of Production Research*, no. 53(5), pp. 1596-1624.

Hatefi, S. M., Jolai, F., Torabi, S. A., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2015); Reliable Design of an Integrated Forward-revere Logistics Network under Uncertainty and Facility Disruptions: A Fuzzy Possibilistic Programing Model", *KSCE Journal of Civil Engineering*, no.19(4), pp. 1117-1128.

Jindal, A., & Sangwan, K. S. (2014); "Closed Loop Supply Chain Network Design and Optimisation Using Fuzzy Mixed Integer Linear Programming Model", *International Journal of Production Research*, no. 52(14), pp. 4156-4173.

Mahmoudi, H., & Fazlollahtabar, H. (2014); "An Integer Linear Programming for a Comprehensive Reverse Supply Chain", *Cogent Engineering*, no. 1, pp. 1-14.

Mirakhorli, A. (2014); "Fuzzy Multi-objective Optimization for Closed Loop Logistics Network Design in Bread-producing Industries", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, no. 70 (1-4), pp. 349-362.

Pishvaee, M. S., Jolai, F., & Razmi, J. (2009); "A Stochastic Optimization Model for Integrated Forward/Reverse Logistics Network Design", *Journal of Manufacturing Systems*, no. 28(4), pp. 107-114.

Pochampally, K. K., Gupta, S. M., & Kamarthi, S. V. (2004); "Evaluation of Production Facilities in a Closed-loop Supply Chain: A Fuzzy TOPSIS Approach", *In Photonics Technologies for Robotics, Automation, and*

Manufacturing ,pp. 125-138.

Ramezani, M., Bashiri, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2013); "A Robust Design for a Closed-loop Supply Chain Network under an Uncertain Environment", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, no. 66(5), pp. 825-843.

Ramezani, M., Kimiagari, A. M., & Karimi, B. (2014); "Closed-loop Supply Chain Network Design: A Financial Approach", *Applied Mathematical Modelling*, no. 38(15), pp. 4099-4119.

Schweiger, K., &Sahamie, R. (2013); "A Hybrid Tabu Search Approach for the Design of a Paper Recycling Network", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, no. 50, pp. 98-119.

Shen, Z. (2007); "Integrated Supply Chain Design Models: A Survey and Future Research Directions", *Journal of Industrial and Management Optimization*, no. 3(1), pp. 1-27.

Subulan, K., Taşan, A. S., & Baykasoğlu, A. (2014); "A Fuzzy Goal Programming Model to Strategic Planning Problem of a Lead/Acid Battery Closed-loop Supply Chain", *Journal of Manufacturing Systems*, no. 37(1), pp. 243–264.

Sundar Raj, T., Lakshminarayanan, S., & Forbes, J. F. (2013); "Divide and Conquer Optimization for Closed Loop Supply Chains", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, no. 52(46), pp. 16267-16283.

Thierry, M., Salomon, M., Van Nunen, J., & Van Wassenhove, L. (1995); Strategic Issues in Product Recovery Management", *California Management Review*, no. 37(2), pp. 114-135.

Torabi, S. A., &Hassini, E. (2009); "Multi-site Production Planning Integrating Procurement and Distribution Plans in Multi-echelon Supply Chains: An Interactive Fuzzy Goal Programming Approach", *International Journal of Production Research*, no. 47(19), pp. 5475-5499.

Üster, H., Easwaran, G., Akçali, E., & Cetinkaya, S. (2007); "Benders Decomposition with Alternative Multiple Cuts for a Multi-Product Closed-Loop Supply Chain Network Design Model", *Naval Research Logistics* (NRL), no. 54(8), pp. 890-907.

Wacker, J. G. (1998); "A Definition of Theory: Research Guidelines for Different Theory-building Research Methods in Operations Management", *Journal of Operations Management*, no. 16(4), pp. 361-385.

Wang, F., Lai, X., & Shi, N. (2011); "A Multi-objective Optimization for Green Supply Chain Network Design", *Decision Support Systems*, no.

51(2), pp. 262-269.

Wang, H. F., & Hsu, C. F. (2014); *Optimal Reutilization of the Leased Products in a Closed Loop Supply Chain. In Logistics Operations, Supply Chain Management and Sustainability*, Springer International Publishing.

Yang, G. Q., Liu, Y. K., & Yang, K. (2015); "Multi-objective Biogeography-Based Optimization for Supply Chain Network Design under Uncertainty", *Computers & Industrial Engineering*, no. 85, pp. 145-156.

Zeballos, L. J., Méndez, C. A., Barbosa-Povoa, A. P., & Novais, A. Q. (2014); "Multi-period Design and Planning of Closed-Loop Supply Chains with Uncertain Supply and Demand", *Computers & Chemical Engineering*, no. 66, pp. 151-164.

Zimmermann, H. J. (1978); "Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions", *Fuzzy Sets and Systems*, no. 1(1), pp. 45-55.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی