



دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها

طراحی شبکه زنجیره تامین بازیافت آلومینیوم در شرایط عدم اطمینان

پایاننامه یا رساله برای دریافت درجه

در رشته مهندسی گرایش

نام دانشجو

استاد راهنما:

دکتر

اساتید مشاور:

دکتر

دکتر

..... ماه ۱۴۰۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تأییدی هیأت داوران جلسه‌ی دفاع از پایان‌نامه / رساله

نام دانشکده:

نام دانشجو:

عنوان پایان‌نامه یا رساله:

تاریخ دفاع:

رشته:

گرایش:

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضا
۱	استاد راهنما				
۲	استاد راهنما				
۳	استاد مشاور				
۴	استاد مشاور				
۵	استاد مدعو خارجی				
۶	استاد مدعو خارجی				
۷	استاد مدعو داخلی				
۸	استاد مدعو داخلی				

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

باسمه تعالی

اینجانب به شماره دانشجویی دانشجوی رشته مقطع تحصیلی تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه/رساله حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری‌شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض در خصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسئولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذیصلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی:

امضا و تاریخ:

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما:

تاریخ:

امضا:

تقديم به: (اختياري)

.....

تشکر و قدردانی: (اختیاری)

.....

چکیده

بازیافت آلومینیوم مزایای محیط زیستی و اقتصادی زیادی دارد و در کشورهای مختلف بیشترین توجه را به خود جلب نموده است. از این رو توجه به شکل پارامترها در فرایندهای مختلف امری مهم تلقی شده که به بررسی پارامترهای مختلف این صنعت شامل مراکز جمع آوری، هزینه های فرایند بازیافت، قیمت بازار و بسیاری از پارامترهای دیگر پرداخته شده و میزان عدم اطمینان در این بخش ها بررسی شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. بنابراین جهت بررسی این موضوع عدم قطعیت در این بخش ها بررسی و جنبه های مختلف آن بررسی شده که تصمیمات مربوط به سرمایه گذاری در حوزه بازیافت فلزات که بازیافت آلومینیوم نیز از جمله آن است، از آن تاثیر می پذیرد. برای این اساس در پژوهش حاضر هدف اصلی طراحی بهینه زنجیره تامین معکوس حلقه بسته برای بازیافت آلومینیوم جهت حداکثرسازی سود سالانه با توجه به عدم اطمینان در قیمت بازار جمع آوری آلومینیوم، مواد بازیافتی و هزینه های لجستیک وابسته به آن است. برای این اساس پژوهش حاضر در مجموعه بازیافت آلومینیوم در استان تهران به عنوان مطالعه موردی اجرا شده است. روند جریانی بازیافت آلومینیوم در تسهیل مختلف بر اساس متد زنجیره تامین مورد مدلسازی قرار گرفته و حجم مسیر جریان حرکتی آلومینیوم بازیافتی از کالاهای مصرفی دارای آلومینیوم به مرکز بازیافت، از مرکز بازیافت به تولید ورق آلومینیوم، از ورق سازی به شمش سازی و از شمش سازی که در نهایت به بخش خرده فروشی می رسد، بطوری است سود حاصل از کل روند حداکثر شود. که به این منظور می باید محدودیت هایی در زمینه ابعاد انبار ذخیره سازی در مساله مدنظر قرار گیرد. همچنین، براساس اهداف تعریف شده و محدودیت های آن، مدل ارائه شده پیشنهاد احداث مرکز جدید در حوزه بازیافت را می دهد. بنابراین نتایج پژوهش حاضر بیان می کند؛ ساخت یک مرکز جدید برای بازیافت آلومینیوم موجب بهبود سطح تولید و افزایش سطح پاسخگویی به تقاضاهای موجود می شود. که براساس هزینه های مربوط به بخش های مختلف نظیر: حمل و نقل، نگهداری و تولید و خرید میزان محصول موجود و کمبودهای مربوط به آنها تعیین می گردد. که در انتهای پژوهش تحلیل حساسیتی بر روی خروجی های حاصل از پارامترهای مدل پیشنهادی صورت گرفته است.

واژه های کلیدی: بازیافت آلومینیوم، زنجیره تامین، عدم اطمینان، هزینه

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- بیان مساله	۳
۱-۳- ضرورت تحقیق	۴
۱-۴- فرضیات تحقیق	۵
۱-۵- اهداف تحقیق	۶
۱-۶- نوآوری تحقیق	۶
۱-۷- روش تحقیق	۷
۱-۸- مراحل تحقیق	۷
۱-۹- ساختار تحقیق	۷
فصل ۲: مروری بر ادبیات موضوع	۹
۲-۱- مقدمه	۱۰
۲-۲- زنجیره تامین	۱۱
۲-۲-۱- اجزای زنجیره تامین	۱۲
۲-۲-۲- مزایای زنجیره تامین	۱۳
2-2-3- سطوح تصمیم‌گیری زنجیره تامین	۱۳
۲-۲-۴- مدیریت زنجیره تامین	۱۴
۲-۲-۵- فرآیندهای اصلی مدیریت زنجیره تامین	۱۵
۲-۳- مدیریت لجستیک	۱۶
۲-۴- انواع شبکه‌های لجستیک و زنجیره تامین	۱۷
۲-۴-۱- لجستیک روبه جلو	۱۸
۲-۴-۲- لجستیک معکوس	۱۹
۲-۴-۳- لجستیک معکوس و ضرورت آن در زنجیره تأمین	۲۰
۲-۴-۴- استراتژی‌های لجستیک معکوس	۲۱
۲-۴-۵- ابعاد لجستیک معکوس	۲۲
۲-۴-۶- هدف لجستیک معکوس	۲۳
۲-۴-۷- لجستیک معکوس و راه حل بهبود مستمر	۲۴
۲-۴-۸- موانع اجرایی لجستیک معکوس	۲۵
۲-۵- عدم قطعیت در زنجیره تامین	۲۶
۲-۵-۱- عدم قطعیت در طراحی زنجیره تامین	۲۶
۲-۵-۲- عدم قطعیت محیطی و سیستمی	۲۷
۲-۵-۳- عدم قطعیت ناشی از اختلالات	۲۷
۲-۵-۴- نحوه نمایش عدم قطعیت	۲۷

۲۸	۲-۶- پیشینه تحقیق
۲۸	۲-۶-۱- مطالعات داخلی
۳۰	۲-۶-۲- مطالعات خارجی
۳۸	۲-۷- شکاف تحقیقاتی
۳۸	۲-۸- جمع بندی

فصل ۳: روش تحقیق ۴۰

۴۱	۳-۱- مقدمه
۴۲	۳-۲- تعریف مساله
۴۳	۳-۳- مدلسازی و دلایل انتخاب این روش
۴۵	۳-۳-۱- فرضیات مدل
۴۶	۳-۳-۲- اندیس ها و پارامترها و متغیرها
۴۹	۳-۳-۳- فرمول بندی
۵۱	۳-۳-۴- محدودیت
۵۴	۳-۳-۵- مدلسازی تحت شرایط عدم قطعیت
۵۴	۳-۳-۶- رویکرد بهینه سازی استوار

فصل ۴: نتایج و تفسیر آنها ۵۸

۵۹	۴-۱- مقدمه
۵۹	۴-۲- برآورد پارامترهای مدل
۶۰	۴-۲-۱- هزینه ها
۶۱	۴-۲-۲- ظرفیت
۶۳	۴-۲-۳- تقاضا
۶۳	۴-۲-۴- موجودی
۶۴	۴-۳- تحلیل و بررسی نتایج
۶۴	۴-۳-۱- نتایج حاصل از حل مدل
۶۶	۴-۴- نتایج حساسیت
۶۹	۴-۴-۱- نتایج حاصل از حل مدل بهینه سازی استوار
	۴-۵- مقایسه شبکه فعلی با شبکه پیشنهادی

Error! Bookmark not defined.

فصل ۵: جمع بندی و پیشنهادها ۷۵

۷۶	۵-۱- مقدمه
۷۶	۵-۲- جمع بندی
۷۷	۵-۳- پیشنهادات کاربردی
۷۷	۵-۴- پیشنهادات تحقیقات آتی

مراجع ۷۹

فهرست اشکال

۱۲	شکل (۲-۱). زنجیره تامین
۱۸	شکل (۲-۲). مدل‌های شبکه لجستیک و زنجیره تأمین
۲۶	شکل (۲-۳). موانع اجرایی لجستیک معکوس
۶۷	شکل (۴-۱). تاثیر تغییرات تقاضا بر تولید محصول
۶۸	شکل (۴-۲). تاثیر تغییرات تقاضا بر کمبود
۶۸	شکل (۴-۳). تاثیر تغییرات تقاضا بر سودآوری شبکه
۷۳	شکل (۴-۴). مقدار متوسط سود در مدل مبتنی بر سناریو در مقایسه با همتای استوار
۷۴	شکل (۴-۵). بررسی شبکه پیشنهادی و در حال حاضر در حالت موجودی و کمبود

فهرست جداول

- جدول (۴-۱). هزینه خرید فلزات بازیافتی از مصرف کنندگان و شمش سازان ($\times 104$) ۶۰
- جدول (۴-۲). حداکثر مقدار خرید مواد اولیه از هر تسهیل ۶۱
- جدول (۴-۳). حداکثر مقدار خرید مواد اولیه از هر تسهیل ۶۲
- جدول (۴-۴). مقادیر تقاضای هر خرده فروش در هر دوره ۶۳
- جدول (۴-۵). مقادیر بهینه تصمیمات شبکه مورد بررسی در حالت قطعی ۶۴
- جدول (۴-۶). مقدار فلز بازیافتی خریداری شده توسط مراکز بازیافت ۶۵
- جدول (۴-۷). مقدار مواد اولیه منتقل شده به ورق سازی از منابع مختلف در حالت قطعی ۶۵
- جدول (۴-۸). مقدار ورق منتقل شده به کارخانه های شمش سازی در حالت قطعی ۶۶
- جدول (۴-۹). مقادیر بهینه تصمیمات شبکه مورد بررسی در حالت غیر قطعی ۷۱
- جدول (۴-۱۰). مقدار مواد اولیه منتقل شده به ورق سازی ها از منابع مختلف در حالت غیرقطعی ۷۱
- جدول (۴-۱۱). تعامل بین وزن کمبود و w ۷۳

فصل ۱:

مقدمه

۱-۱- مقدمه

با توجه گسترش پدیده شهرنشینی و به تبع آن افزایش جمعیت، پدیده تولید ضایعات و دفع آن به یکی از مسائل اساسی جوامع امروزی بدل گشته است. انسان اولیه در صورتی که با محل زندگی کثیف و آلوده مواجه شده است آن را ترک نموده و به محل زندگی جدیدی نقل مکان کرده است. امروزه ماهیت فعالیت های انسانی بقدری پیچیده شده است که نمی توان جهت از بین بردن ضایعات حاصل از این فعالیت ها که فلز آلومینیوم نیز بخش بزرگی از آن را تشکیل می دهد؛ تنها از روش دفع استفاده نمود، بلکه می باید از روش های گوناگون دیگری نظیر: بازیافت و بازفرآوری پسماندها نیز استفاده نمود؛ که بی شک نقش بسزایی در چرخه بازیافت دارد. از الزامات اساسی جهت بازیافت مواد جامد نظیر: آلومینیوم توجه به زنجیره " لجستیک معکوس"^۱ است؛ که نیازمند دانش مدیریت زنجیره تامین است که طراحی و پیاده سازی آن به شکلی کارآمد امری ضروری است. (عربی و رضا غلامیان، ۲۰۲۳) امروزه در جوامع مختلف صنایع فعال در حوزه مدیریت پسماند و بازیابی مواد زائد از قوانین و مقررات دقیق در حوزه بازیابی مواد زائد، دفع زباله و کاهش تولید پسماند تبعیت می نمایند؛ که این توانسته است شکاف توسعه ای ایجاد شده در این حوزه را تا حد بسیار زیادی کاهش دهد. از این رو رویکردی تازه پیرامون این حوزه تحت عنوان لجستیک معکوس ایجاد شد. این رویکرد که گرایش جدیدی از مدیریت لجستیک است؛ کلیه فعالیت ها از تهیه مواد اولیه تا تولید محصول نهایی را دربر می گیرد و به مدیریت دقیق و برنامه ریزی و نظارت بر آن می پردازد. براساس این روش در محصولات در پایان عمر مفید خود، پس از خریداری از مصرف کننده نهایی مجدد پس از بازیابی در قالب محصولات بازیابی شده مورد استفاده قرار می گیرند. بنابراین با توجه به آنچه که بیان شد، تمرکز پژوهش حاضر بر روی طراحی مدلی بهینه جهت بیشینه کردن سود حاصل از بازیافت آلومینیوم جمع آوری شده به عنوان مواد بازیافتی در شرایط عدم قطعیت براساس قیمت بازار مواد بازیافتی، مواد زائد اولیه جمع آوری شده و هزینه های لجستیک و همچنین کنترل کمبود تقاضای برآورد نشده مواد بازیافتی می باشد. برای مقابله با عدم قطعیت از برنامه ریزی عدد صحیح مختلط با دو رویکرد برنامه ریزی تصادفی استفاده شده است. (ولی زاده و اشتهازدیان، ۱۳۹۸)

در ادامه در فصل حاضر ابتدا به بیان مساله، ضرورت و اهداف تحقیق پرداخته می شود؛ سپس در فصل دوم پس از بررسی مبانی نظری پژوهش در خصوص لجستیک معکوس و روش های حل مساله و سپس پیشینه

^۱Reverse Logistic: RL

تحقیق مرتبط با موضوع و شکاف تحقیقاتی بیان می شود. سپس در فصل روش شناسی به تشریح مدل و روش تحقیق به کار گرفته شده پرداخته می شود. و در فصل چهارم، به تجزیه تحلیل و بیان یافته های تحقیق در مورد موضوع ذکر شده پرداخته شده و در آخر در فصل پنجم نتیجه گیری تحقیق و پیشنهادها بیان می گردد.

۲-۱- بیان مساله

در پژوهش حاضر، مساله اصلی بررسی شبکه بازیافت فلز آلومینیوم و ارائه یک مدل زنجیره تامین بازیافتی معکوس شده حلقه بسته در صنعت بازیافت آلومینیوم می باشد. در این پژوهش جهت معکوس و رو به جلو بطور همزمان در مسیر تبدیل ماده اولیه به محصول نهایی در شبکه بازیافت مدنظر قرار می گیرد؛ که با کمک جریان معکوس محصولات و مواد غیرقابل استفاده از مشتری جمع آوری شده و پس از انجام اقدامات مناسب بر روی آن با استفاده از بازیابی و فرآوری مجدد، می توان در تولید مورد استفاده قرار داد. بطور کلی لجستیک معکوس با حلقه بسته با کاهش آلودگی موجب بهبود وضعیتی پایدار در محیط زیست شده و فرایند روبه جلو جریان مواد بازیافتی علاوه بر رشد تولید و میزان سودآوری حاصل از آن هزینه های خرید مشتریان را کاهش می دهد و از طرفی به دلیل استفاده از مواد اولیه بازیافتی در جهت حفظ منابع طبیعی حرکت می نماید. بعبارت بهتر، بازیافت مواد زائد نیز منجر به مصرف انرژی می گردد؛ اما مقدار آن نسبت به انرژی مورد نیاز برای تولید محصول جدید بسیار کمتر است. از طرفی بازیافت مواد موجب کاهش حجم مواد دفعی و آلودگی محیط زیستی نیز می گردد. (ولی زاده و همکاران، ۱۳۹۷)

پژوهش حاضر که به طور خاص بر زنجیره تامین بازیافت آلومینیوم متمرکز است؛ آلومینیومی که یکی از بهترین مواد ثانویه به منظور استفاده در تولید بوده و نقشی اساسی در تجارت جهانی ایفا می کند. که اجرا فرایند بازیافت آن علاوه بر صرفه جویی در مصرف منابع مالی و انرژی جهت استخراج آن از منابع، میزان آلودگی زیست محیطی حاصل از پساب معادن نظیر: تولید اکسید گوگرد و اکسید نیتروژن حاصل از فرایند استخراج که می تواند با ورود به هوا موجب ایجاد باران های اسیدی گردد یا تصفیه معدنی سنگ معدن بوکسیت که با آلودگی در سطح خاک موجب ورود عناصر سنگین به آبهای سطحی و زیرزمینی می گردد و تولید میلیونها تن گاز گلخانه ای تولیدی حاصل از مراحل مختلف استخراج را کاهش می دهد و از طرفی بازیافت ۱,۴ تن قوطی های آلومینیومی می تواند ۱۴,۱ درصد از گازهای گلخانه ای را کاهش می دهد. که

اگر درصدی از زباله ها به محصولات جدید تبدیل شوند، باعث میشود مواد خام کمتری نیز استفاده شود. که تمامی این موارد علاوه بر صرفه جویی اقتصادی تا حد بسیار زیادی تخریب محیط زیست را کاهش می دهد. بنابراین این تحقیق به دنبال ارائه روش مدلسازی جدید در حوزه بازیافت آلومینیوم مبتنی بر مدل ترکیبی لجستیک معکوس و روبه جلو است. (الهاسم و همکاران ، ۲۰۲۲)

۳-۱- ضرورت تحقیق

از دیرباز تولید کنندگان در شکل سنتی زنجیره تامین در محصولات تولیدی خود به دنبال بهترین شیوه توزیع برای محصولات خود بودند که پس از آن هیچ مسئولیتی در قبال مصرف کنندگان و رضایت یا عدم رضایت حاصل از محصول دریافتی نداشتند. اما تولیدکنندگان امروزه تا انتهای زنجیره تامین و حتی پس از آن یعنی پس از مصرف محصول نیز این فرایند را دنبال نموده و در صورت بروز هرگونه عدم رضایت یا ایجاد خسارت ناشی از مصرف محصول یا تخریب محیط زیستی وابسته به آن احساس مسئولیت می نمایند و آن را جبران میکنند؛ از این رو انتظار می رود ؛ کلیه بخش های زنجیره تولید تا مصرف مسئولیت خود در قبال روند اصلاح و بهبود محیط زیست را دنبال نمایند. تا هزینه های ناشی از تولید پسماند به حداقل برسد. بنابراین با توجه به اینکه فرایند بازیابی پسماند نیازمند وضع قوانین جدید در این حوزه است ، فعالین این حوزه را به سمت ارائه راهکار در جهت بهبود این صنعت سوق داده است فیض الهی و همکاران ، (۱۴۰۰) زیرا با وجود پیشرفت های رخ داده در این حوزه اما همچنان هزینه های وابسته به آن بسیار بالا است. بنابراین ، بیشتر شرکت ها در کشورهای توسعه یافته در اروپای غربی و آمریکای شمالی ، به بروز رسانی قوانین این حوزه و وضع قوانین سبز در آن پرداختند ؛ که این امر موجب توسعه پایدار و روندی پویا در حوزه لجستیک بازیافت شده است. که با دیدی جامع نگر می تواند کارایی لجستیک معکوس را در صنعت بازیافت ارتقا داده که این امر موجب افزایش رضایت در میان مصرف کنندگان می گردد. از این رو مصرف کنندگان در زمان رفع نیازهای احساس رضایت و امنیت کامل می کنند زیرا می توانند هرگونه نقص موجود در محصول ارائه شده را در کوتاهترین زمان رفع نمایند و بطور منظم از کالاهای بروز شده استفاده کنند که تمامی این روند با استفاده از استقرار زنجیره تامین معکوس قابل انجام می باشد. (نجفی و همکاران ، ۱۴۰۰) که این ایجاد رضایت و جلب اعتماد مشتری موجب دمیدن روح پویایی در سیستم مورد استفاده می گردد و استقرار این نظام و عملکرد دقیق آن می تواند به تنهایی تبلیغ مناسبی برای افزایش جذب مشتری ، سودآوری بالاتر

باشد. به طور کلی لجستیک معکوس از سه جهت ، اقتصادی ، قانونی و مسئولیت اجتماعی دارای اهمیت می باشد. همچنین زنجیره تامین معکوس از منظر اقتصادی منافع مستقیم و غیرمستقیم قابل توجهی ایجاد می نماید. که منافع مستقیم با کاهش استفاده از مواد اولیه ، کسب سود حاصل از بازیافت مواد زائد و کاهش هزینه ها حاصل می شود و منافع غیرمستقیم نیز شامل ایجاد موانع برای ورود سفته بازان و حفظ بازار کنونی بدست می آید. که این امر می تواند تصویری مثبت از صنعت ارائه نماید و قوانین مورد نیاز در آینده جهت بهبود این صنعت حاصل نماید. از منظر قانونی ، قوانین و مقررات زیست محیطی شرکت ها را مجبور می کند ؛ تا کالاها و محصولات از رده خارج خود را جمع آوری نموده و به اصلاح رفتار تولیدی خود بپردازند. از منظر مسئولیت اجتماعی نیز ارزش ها و اصول اجتماعی صنایع و سازمان ها را وادار می کند ؛ تا پایبند به اصل بازگشت لجستیک معکوس و بازیابی مواد مورد استفاده باشند. (فیض الهی و همکاران ، ۱۴۰۰)

بنابراین مشتریان با استقرار سیستم لجستیک معکوس نوعی ثبات و بقا برای فعالیت خود احساس می کنند ، که این ثبات و پایداری انگیزه مناسبی را برای مشتریان ایجاد نموده تا جذب سیستم توزیع شوند و نگرانی های آنها نسبت به شیوه لجستیک معکوس تا حد بسیار زیادی رفع گردد و صنایع و شرکت های تولیدی و خدماتی بیشتر به این شیوه ملحق گردند. (فهیمی نژاد و همکاران ، ۱۳۹۹) از این رو ارائه زنجیره تامین معکوس با حلقه بسته به تولید کنندگان کمک می کند تا تصمیمات بهتری در حوزه چیدمات اجزای زنجیره بگیرند تا بتوانند علاوه بر بهبود سطح کیفی محیط زیست ، هزینه های حاصل از آسیب های زیست محیطی تا حد بسیار زیادی کاهش دهند. که این امر می تواند منجر به کاهش هزینه ها و افزایش سود حاصل از این صنعت گردد و این سوال را ایجاد می کند که آیا صنایع فعال یازمند ورود نیروی انسانی جدید به صنعت خود هستند؟

۴-۱- فرضیات تحقیق

فرضیه اصلی

برای بازیافت آلومینیوم در شرایط عدم اطمینان شبکه زنجیره تامین طراحی می شود.

فرضیات فرعی

- زنجیره تامین مورد مطالعه دارای جریان بهینه و سودآور می باشد.

- تقاضای برای کمبود و موجودی برای محصول نهایی پاسخ داده شده است.
- برنامه ریزی بهینه ای برای خرید، تولید و عرضه محصول انجام شده است.

۵-۱- اهداف تحقیق

هدف اصلی

طراحی شبکه زنجیره تامین بازیافت آلومینیوم در شرایط عدم اطمینان

اهداف فرعی

- زنجیره تامین ارائه شده میان تسهیلات گوناگون میزان سودآوری شبکه را بررسی میکند.
- محصول نهایی براساس میزان تقاضای پاسخ داده شده به کمبود و موجودی است.
- برنامه ریزی بهینه خرید، براساس تولید و عرضه محصول است.

۶-۱- نوآوری تحقیق

در این تحقیق رابطه میان تسهیلات در بخش های مختلف زنجیره تامین داخلی در مدل ارائه شده برای زنجیره تامین بازیافت فلز آلومینیوم از ۴ بخش شبکه کلی زیر تشکیل شده است:

۱. شبکه تامین مواد اولیه ، ۲. شبکه تولید ورق آلومینیوم ، ۳. شبکه تولید شمش آلومینیوم ، ۴. شبکه عرضه محصولات.

یک مدل بهینه سازی چندسطحی و چند دوره ای با در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا برای تولید، خرید و توزیع در شبکه مورد مطالعه با حلقه بسته، ارائه شده است. در این مدل بهینه سازی، امکان باز کردن یک تسهیل جدید برای مرکز جمع آوری و بازیافت وجود دارد که با اضافه شدن آن به تسهیلات موجود در شبکه فعلی، می توان مقدار تولید و پوشش سطح بیشتری از تقاضا را فراهم کرد. هدف اصلی در برنامه ریزی، افزایش سود شبکه است و مدل بهینه سازی ارائه شده براساس فرضیات و روابط میان بخش های مختلف به منظور محقق سازی سودی حداکثر برای اولین بار در صنعت بازیافت آلومینیوم در ایران طراحی و ارائه شده است.

۷-۱- روش تحقیق

پژوهش حاضر بر اساس مفروضات بیان شده انجام می شود ، در این بررسی، مفاهیم به عنوان متغیرهای مشخصی تعریف شده و اطلاعات و مدل به صورت ریاضی و قابل اندازه گیری ارائه می شوند. که بطور کلی روش تحقیق به شیوه مدلسازی ریاضی مبتنی بر مفروضات تحقیق است. همچنین رویکرد اصلی پژوهش حاضر ، رویکرد کاربردی است. زیرا هدف اصلی پژوهش حاضر ایجاد ارتباط میان تحقیقات نظری عملیاتی به مسائل کاربردی در صنعت مرتبط است.

۸-۱- مراحل تحقیق

پژوهش علمی یک فرآیند گام به گام و برنامه ریزی شده برای تعریف مسأله، جمع آوری اطلاعات، تجزیه و تحلیل داده های گردآوری شده است که در نهایت منجر به ارائه یک راه حل معتبر برای حل مسائل می گردد. که طی گام های زیر انجام می شود:

- جمع آوری داده ها از طریق مشاهدات میدانی و منابع کتابخانه ای و اسناد صنعت مورد مطالعه
- تجزیه و تحلیل داده های گردآوری شده
- تولید داده های آماری ویژه مدلسازی ، تحلیل و مدلسازی آنها
- تحلیل و تفسیر داده ها و طراحی و ارائه مدل
- بیان نتایج و پیشنهادات

۹-۱- ساختار تحقیق

پژوهش حاضر از پنج فصل تشکیل شده است. در دو فصل اول ، تعاریف و مفاهیم اولیه و پیشینه تحقیق براساس مقالات و کتب تالیفی در این حوزه مورد بحث و بررسی قرار می گیرند. همچنین در فصل سوم، به تعریف مساله و متغیرها و روابط مدل پرداخته می شود. که در نهایت مدل ریاضی مورد نیاز در این فصل

طراحی و ارائه می شود. در فصل چهارم با استفاده از نرم افزار لینگو^۱، با در نظر گرفتن ورودی های داده شده به مدل، مدل ریاضی پیاده سازی و حل می گردد. سرانجام در فصل آخر نیز نتایج مورد بحث و بررسی قرار گرفته و موانع تحقیق مشخص می گردد و پیشنهاداتی در جهت بهبود فرایند و اجرای پژوهش های بعدی ارائه می گردد.

^۱ Lingo

فصل ۲:

مروری بر ادبیات موضوع

۱-۲- مقدمه

ارائه سیستم لجستیک معکوس در ابتدا توسط صنایع نظامی صورت گرفت؛ که بعلاوه ورود تازه به عرصه صنعت کمتر مورد توجه سایر صنایع قرار گرفت. زیرا در زمان استفاده از این سیستم توسط یک واحد نظامی مزیت مالی و اقتصادی نصیب آن واحد نمی شد اما با گذشت زمان و در برر سی های عملکردی و تجزیه و تحلیل مسائل مرتبط با آن لجستیک معکوس به عنوان روشی کارآمد بطور گسترده مورد استفاده قرار گرفت و به یک اصل اساسی تبدیل شد. (سلمانی زارچی و تقی زاده یزدی، ۱۳۹۸) در سالهای اخیر علاوه بر صنایع نظامی، مدیران و مسئولین صنایع مختلف با توجه به مزایای ایجاد شده توسط این روش توجه ویژه ای به آن داشتند و تلاش کردند تا با استفاده از فرآیند مدیریت در این روش بخش صنعت مورد فعالیت خود را ارتقا دهند بسیاری از شرکتها و موسسات در اروپا به این نتیجه رسیدند؛ که استفاده از استراتژی بازیابی و ارائه مجدد محصولات قابل بازیافت در قالب لجستیک معکوس می تواند علاوه بر افزایش سودسازی یک صنعت، میزان فشارهای وارده محیطی را تا حد بسیار زیادی کاهش دهد. در ده سال اخیر، منابع پژوهشی مورد نیاز در حوزه لجستیک معکوس به یک موضوع نوین تبدیل شده است؛ که می تواند علاوه بر کاهش هزینه ها تحولی بنیادین در عرصه صنعتی ایجاد نماید که این امر موجب شده تا پژوهش های گسترده ای در این حوزه صورت گیرد و منابع از حالت محدود به گسترده تغییر یابد و کتب و مقالات پژوهشی متعددی در این حوزه منتشر شده و مورد استفاده قرار گیرد. (برلین^۱ و همکاران، ۲۰۲۲)

بی تردید امروزه ارائه نظریات جدید و پژوهش های علمی درباره رضایت مشتریان، این امکان را فراهم می سازد که تولید کنندگان بتوانند بر اساس درخواستها و نیازهای مشتریان و همچنین با توجه به مسائل رقابتی در بازار، تولیدات خود را مورد بازتعریف قرار دهند. در این راستا، شناخت دقیق ترکیبی از نیازها و خواسته های مشتریان با پویایی های بازار، می تواند بهبود قابل توجهی در عملکرد شرکتها و افزایش رضایت مشتریان را به همراه داشته باشد.

^۱ Berlin

در صنایع بزرگی نظیر: خودرو سازی که دارای گستردگی و پراکندگی بسیاری هستند و از اهمیت و میزان نفوذ بالایی برخوردارند؛ نیازمند توجه هرچه بیشتر به این عرصه و بکارگیری این شیوه می باشند. (سلیمانی و محمدی، ۱۳۹۹)

بنابراین در فصل حاضر به بررسی تعاریف و مفاهیم مرتبط با زنجیره تامین و زنجیره تامین معکوس پرداخته و به بررسی مطالعات انجام شده در این حوزه می پردازیم.

۲-۲- زنجیره تامین

در دهه ۷۰ میلادی، صنایع توان رقابتی خود را با افزایش سطح کیفیت محیط کسب و کار و ایجاد استانداردهای مناسب به تولید محصولاتی با کیفیت که هزینه پائین تری نسبت به محصولات مشابه داشتند روی آوردند. بنابراین، طراحان مجبور شدند نیازهای مشتریان را در طراحی محصولات خود مدنظر قرار دهند و محصولی با حداکثر سطح کیفیت و کمترین هزینه، همراه با ایده‌آل‌های مشتری، به بازار عرضه کنند. بنابراین، هر سازمان تلاش می‌کند تا میزان بازده خود را افزایش دهد، با پیشرفت فناوری و تغییر در الگوی رفتار مصرف‌کنندگان، نیازمندی‌ها و انتظارات آن‌ها نسبت به محصولات و خدمات به شدت تغییر کرده است. بنابراین، سازمان‌ها برای حفظ و گسترش بازار خود، باید در پیشگیری از رضایت ناقص مشتریان و ارائه محصولاتی با کیفیت بالا و همچنین خدمات پس از فروش مناسب، تلاش کنند. در این راستا، مفهوم "تجربه مشتری" به عنوان یکی از پایه‌های موفقیت در بازاریابی، به شدت مورد توجه قرار گرفته است. ایجاد تجربه مشتری بیشتر و بهبود فرایندهای خدمات پس از فروش، سبب رضایت مشتریان و افزایش اعتماد آن‌ها به شرکت خواهد شد. (سلیمانی و محمدی، ۱۳۹۹)

در دهه ۸۰ میلادی، با تنوع بیشتر در الگوهای مورد نظر مشتریان، سازمان‌ها به افزایش انعطاف‌پذیری در خط تولید، ارتقاء محصولات، افزایش فروش محصولات موجود و توسعه محصولات جدید علاقه مند شدند. این موضوع چالش‌های جدیدی را برای آن‌ها به همراه داشت. فرایند تولید پیشرفت چشمگیری در دهه ۹۰ میلادی داشت که تصمیم‌گیران و فعالین این بخش‌ها توانستند با مهندسی مجدد به الگوهای پیشرویی در این بخش برسند. که جهت ادامه فعالیت در هر بازار داشتند انعطاف به تنها کفایت نمی‌کند بلکه می‌باید؛ محصولات با هزینه پائین تر و کیفیت مطلوب به مشتریان عرضه شود که این امر ارتباط بسیار نزدیکی با سیاست‌های کلان تعریف شده در این عرصه دارد.

(رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۷) چنین دیدگاهی باعث شد که رویکردهای مختلفی برای مدیریت زنجیره تأمین پدیدار شود. بطور خلاصه، زنجیره تأمین از چندین سازمان مستقل تشکیل شده است که توسط

جریان‌های مالی، اطلاعات و مواد به هم مرتبط هستند. این سازمان‌ها می‌توانند؛ در قالب مراکز تولیدی مواد و قطعات مورد نیاز را به خرده فروشان و عمده فروشان ارائه دهند. زنجیره تأمین شامل تأمین کنندگان، مراکز تولید، انبارهای مراکز توزیع و فروشگاه‌ها است که مواد و محصولات در جریان تولید و فروش در آن حرکت می‌کنند. (رحیمی و همکاران ، ۱۴۰۱) نمونه شکل (۲-۱)



شکل (۲-۱). زنجیره تامین

زنجیره تأمین در واقع همه بخش‌هایی که در روند برآورده کردن تقاضای مشتریان نقش دارند، شامل می‌شود. به عبارت بهتر، این زنجیره نه تنها فعالیت‌های تولید و تأمین را شامل می‌شود، بلکه حمل و نقل، انبارداری و خرده‌فروشی نیز جزئی از آن محسوب می‌شوند.

۱-۲-۲- اجزای زنجیره تامین

یک زنجیره تامین از اجزاء زیر تشکیل شده است: (بهزادی و یوسف برقی ، ۱۳۹۷)

- مصرف کنندگان انتهایی محصولات ارائه شده
- عرضه کنندگان خرد خدمات و محصولات تولیدی
- عرضه کنندگان عمده محصولات
- سازندگان نهایی محصول
- تأمین کنندگان مالی و ارائه دهندگان بودجه
- تأمین کنندگان مواد خام

۲-۲-۲- مزایای زنجیره تامین

- افزایش کیفیت سطح کارایی محصولات ارائه شده
- هیچ تاخیری در کار ایجاد نمی شود
- نیاز به دارایی ثابت کم می شود
- میزان خطرات و ریسک های محیط داخلی و خارجی صنعت تا حد بسیار زیادی کم می شود.

۲-۲-۳- سطوح تصمیم گیری زنجیره تامین

تصمیم سازی از اهمیت بسیار بالایی در مدیریت زنجیره تامین برخوردار هستند. در حقیقت، تصمیم‌هایی که در زمینه مدیریت زنجیره تامین گرفته می‌شوند، به شدت به متغیرهای تصمیم‌گیری در طول زمان وابسته هستند. به عبارت دیگر، تصمیم‌گیری‌هایی که در زمینه مدیریت زنجیره تامین اتخاذ می‌شوند، باید با توجه به شرایط و محیط کسب‌وکار در طول زمان قابل تطبیق باشند؛ در سه سطح طبقه بندی شوند: استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی.

• سطح استراتژیک

تصمیمات استراتژیک یک سازمان، تصمیماتی هستند که بر روی آینده آن تأثیرات بلندمدتی دارند و نیاز به پیش‌بینی و برنامه‌ریزی دقیق دارند. این تصمیمات باید با هدف ایجاد پیشنیازهای لازم برای توسعه یک زنجیره تامین در آینده گرفته شوند. زمان اعمال تصمیمات استراتژیک معمولاً بیشتر از یک سال است و شامل طراحی و ساختاردهی به یک زنجیره تامین برای چندین سال آینده می‌باشد. تأثیرات این تصمیمات در بلندمدت قابل توجه و قابل اندازه‌گیری هستند.

• سطح تاکتیکی

مسائل تصمیم‌گیری های میان مدت با بازه زمانی یکبار در هر سال می‌باشد. بطوری کلی این تصمیمات شامل خرید و تولید، سیاستهای موجود، استراتژی حمل و نقل و همچنین شامل فرکانس و دوره بازدید از مشتریان است.

• سطح عملیاتی

در این سطح از تصمیم گیری کلیه فرایندهای کوتاه مدت صورت می گیرد.

که در این سطح اقدامات تاکتیکی بصورت زیر انجام می شود:

- سفارش هر مشتری از چه مرکزی تامین می شود.
- روش کنترل موجودی تعیین می گردد.
- روش تخصیص سفارش مشتریان و زمان مربوط به آن چگونه است.
- چه حجمی از سفارشات مناسب ذخیره سازی در فضای انبار است.
- روش حمل و نقل بهینه به چه صورت است.

موضوع طراحی شبکه زنجیره تامین، به تصمیم گیری هایی مرتبط است که با هدف تأمین تقاضای مشتریان صورت می گیرند و در عین حال باید هزینه های عملیاتی، تاکتیکی و استراتژیکی را به حداقل رسانده و بهینه سازی شود. (بویر و طرفی زاده، ۱۴۰۰) به منظور طراحی یک شبکه زنجیره تامین پایدار و با کیفیت، ابتدا باید نیازهای مشتریان را به دقت بررسی کرد و سپس با توجه به این نیازها، تصمیم گیری هایی مانند تعیین تأمین کنندگان، مسیر حمل و نقل، میزان موجودی، زمان تحویل و ... انجام شود. در این فرایند باید هزینه های مختلفی مانند هزینه حمل و نقل، هزینه نگهداری موجودی، هزینه تحویل و ... در نظر گرفته شود و با رعایت کیفیت، کارایی و سودآوری، تصمیم گیری های مناسب انجام شود. در نهایت با اجرای بهینه این تصمیم گیری ها، می توان یک شبکه زنجیره تامین با قابلیت اطمینان و پایداری بالا ایجاد کرد. (رجبی کفشگر و همکاران، ۲۰۲۳)

۴-۲-۲- مدیریت زنجیره تامین

امروزه با ایجاد فناوری های جدید و تغییرات زیاد در عرصه بین المللی، مدیریت زنجیره تامین بیش از پیش به مسئله ای حیاتی برای شرکت ها تبدیل شده است. شرکت ها اکنون تلاش می کنند تا خود را به عنوان یک حلقه از یک زنجیره تامین معرفی کنند، نه به عنوان یک واحد مستقل با نام تجاری منحصر به فرد. این رویکرد باعث ایجاد همکاری بیشتر بین شرکت ها و به اشتراک گذاری دانش و تجربیات در زمینه های مختلفی مانند برنامه ریزی تولید، تامین، حمل و نقل و مدیریت موجودی می شود. به این ترتیب، شرکت ها می توانند همزمان با بهبود کیفیت و کاهش هزینه ها، سودآوری خود را افزایش دهند و در بازار رقابتی به رقبای خود افزایش قدرت بدهند. (گویندان و همکاران، ۲۰۲۳)

مدیریت زنجیره تأمین از بخش های مختلف فرایندی نظیر: تعیین برنامه ، عملیاتی سازی برنامه، کنترل و نظارت بر فعالیت های مرتبط با زنجیره تأمین با هدف ایجاد ارزش خاص برای شرکت، بطوری که یک زیربنای مناسب با سطح اثرگذاری گسترده در سراسر جهان ایجاد نماید. در واقع، مدیریت زنجیره تأمین فرایندی است که در آن باید تمامی عملیات مربوط به جابجایی و ذخیره سازی مواد اولیه، موجودی حین کار و محصولات تمام شده از نقطه شروع تا نقطه پایان را انجام داد. این فرایند بوطر گسترده از تامین کنندگان اولیه شروع شده تا به مشتریان نهایی ختم می گردد؛ که می باید بطور کامل همه جریان های درونی زنجیره را پوشش دهد. یکی از چالش های اصلی در مدیریت زنجیره تأمین هماهنگ سازی جریان مواد بین چندین سازمان و در داخل هر یک از آنهاست. برای رفع این چالش، استفاده از تکنولوژی و ابزارهایی برای پیگیری مواد در مسیر طی شده از مبدأ تا مقصد و ثبت اطلاعات در هر مرحله ضروری است. مدیریت زنجیره تأمین بر یکپارچگی فعالیت ها و جریان اطلاعات و فیزیکی مرتبط با آن، بهبود در روابط بین شرکت های مختلف را هدف قرار می دهد تا به مزیت رقابتی قابل اتکا و پایدار دست یابند. (حسن و همکاران، ۲۰۲۳)

۵-۲-۲- مسیر فعالیت اصلی مدیریت زنجیره تامین

مدیریت زنجیره مورد مطالعه از سه بخش اصلی تشکیل شده است :

- مدیریت اطلاعات : با توجه به اینکه امروزه اطلاعات در هر صنعت و حوزه ای بسیار مهم و حیاتی به شمار می آید، گردش مناسب و انتقال صحیح آنها از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. با داشتن یک سیستم مدیریت اطلاعات مناسب، فرآیندها بهبود یافته، کارایی افزایش یافته و مدیریت آنها ساده تر خواهد شد. در زنجیره تأمین، هماهنگی در فعالیت ها یکی از اصلی ترین عوامل برای رسیدن به موفقیت است. مدیریت اطلاعات به شکل مناسب و هماهنگ بین شرکای مختلف، باعث بهبود تصمیم گیری ها، سرعت، دقت، کیفیت و جنبه های دیگر در فرآیند زنجیره تأمین خواهد شد. به عنوان مثال، با داشتن اطلاعات صحیح و به روز درباره محصولات و خدمات ارائه شده توسط شرکای تجاری، می توان تصمیم گیری های بهتری درباره زمان بندی رویدادهای مختلف، برنامه ریزی فعالیت ها و حتی تصمیم گیری در خصوص انتخاب شریکان تجاری مناسب تر انجام داد. بنابراین، مدیریت اطلاعات به شکل هماهنگ و مناسب در زنجیره تأمین، به عنوان یک عامل کلیدی برای بهبود جنبه های مختلف این فرآیند مطرح است. با دسترسی به اطلاعات صحیح و به روز و همچنین بهره گیری از سیستم های مدیریت اطلاعات مناسب، می توان به بهبود کارایی و کیفیت فرآیندها و در نتیجه افزایش بهره وری و سودآوری دست یافت.
- مدیریت لجستیک : در این قسمت همه فرایندهای فیزیکی از مرحله تهیه مواد اولیه تا ارائه محصول

نهایی تا محصول نهایی را شامل می‌شود.

- مدیریت روابط : یکی از مباحث مهم در زنجیره تأمین، ارتباطات و روابط بین افراد و شرکای مختلف است. این روابط باعث شکست یا موفقیت زنجیره تأمین می‌شوند. به همین دلیل، ایجاد اعتماد و اطمینان بین شرکای زنجیره تأمین از عوامل حیاتی برای موفقیت آن است. برای توسعه یک زنجیره تأمین یکپارچه و موثر، باید قابلیت اطمینان و اعتماد بین همه شرکای آن فراهم شود. برای این منظور، نیاز است تا مدیریت روابط با شرکای زنجیره تأمین به صورت حرفه‌ای و با توجه به توقعات آنها انجام شود. همچنین، طراحی سیستمی که بتواند به شرکای زنجیره تأمین امکان اطمینان در مورد پایداری و عملکرد آن را بدهد، بسیار مهم است. به عبارت دیگر، قابلیت اعتماد شرکای زنجیره تأمین در مورد پایداری و عملکرد آن، باید به صورت قابل توجهی به طرح و اجرای زنجیره تأمین توجه شود. به طور خلاصه، برای موفقیت در زنجیره تأمین، نیاز است تا روابط با شرکای آن با توجه به توقعات آنها مدیریت شود و قابلیت اعتماد و اطمینان بین همه شرکای زنجیره تأمین فراهم شود. همچنین، طراحی سیستمی که بتواند به شرکای زنجیره تأمین امکان اطمینان در مورد پایداری و عملکرد آن را بدهد، از عوامل مهم برای توسعه و بهبود زنجیره تأمین است. (مالکی نژاد و همکاران، ۲۰۲۲)

۳-۲- مدیریت لجستیک

مفاهیم لجستیک و زنجیره تأمین بی‌شتر اوقات در صنعت حمل و نقل به جای یکدیگر استفاده می‌شوند، بطوریکه هر بخش با بخش دیگر دارای مسئولیت و وظایف مجزا می‌باشد. که در این میان بخش لجستیک بررسی حمل و ذخیره نمودن محصولات متمرکز است. بطور کلی همه بخش‌های تأمین مواد اولیه تا تحویل محصول نهایی را دربر می‌گیرد. این رویکرد همه جانبه به زنجیره تأمین کمک می‌کند تا بهبود یابد و به سودآوری بیشتری برای تمامی شرکای آن منجر شود. بنابراین، درک صحیحی از تفاوت بین لجستیک و زنجیره تأمین و همچنین ارتباط نزدیک بین آنها بسیار مهم است. همچنین، توجه به تمامی جنبه‌های زنجیره تأمین، از جمله حوزه‌های پیچیده‌تری که بیان شد، در تحقق هدف نهایی زنجیره تأمین، یعنی بهبود عملکرد و سودآوری، بسیار حائز اهمیت است. (زانگ و منگ^۱، ۲۰۲۲)

تعریف مدیریت زنجیره تأمین، به ارائه گسترده خدمات که تمامی بخش‌ها را دربر می‌گیرد اشاره دارد. جهت بیان تفاوت مابین مدیریت لجستیک و مدیریت زنجیره تأمین انجمن بین المللی مدیریت لجستیک،

^۱ Zhang & Meng

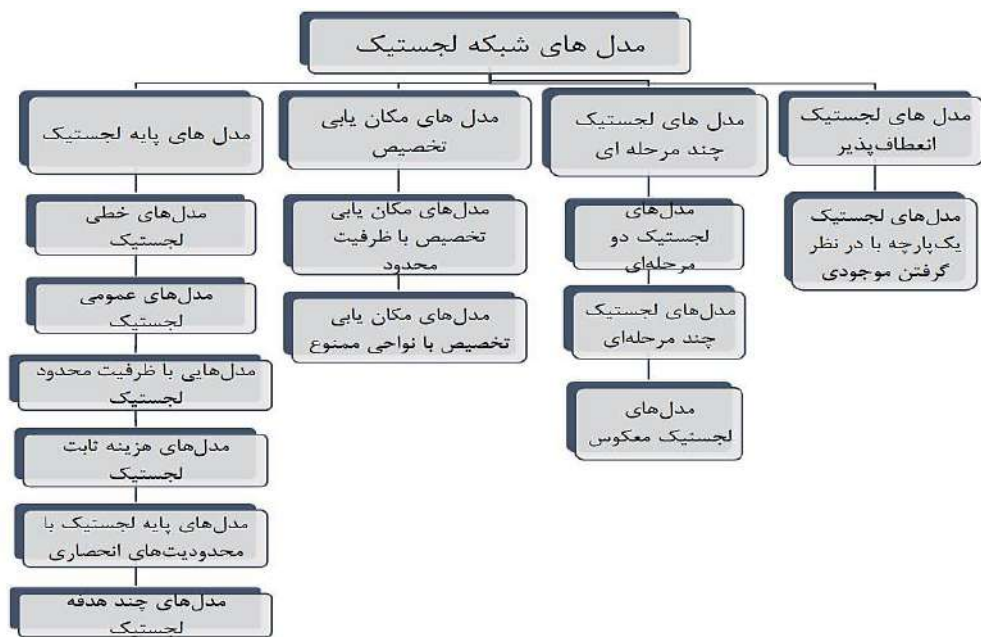
تعریفی اصلاح شده ارائه کرده است که مدیریت لجستیک را به عنوان فرآیندی برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل کارآمد تعریف می‌کند. این فرآیند شامل ذخیره مواد اولیه، موجودی در فرآیند، محصولات نهایی و اطلاعات وابسته است که از نقطه مبدأ به نقطه مقصد حرکت می‌کنند. هدف این فرآیند، برآورد سازی برخی نیازهای مشتریان شرکت‌های بزرگ است. برای مدیریت لجستیک، منابع متنوعی نیاز است تا بتواند تمامی بخش‌های فیزیکی یک زنجیره را پوشش دهد. برای بهبود مدیریت لجستیک در شرکت‌ها، لازم است که تمامی عناصر زنجیره تامین در نظر گرفته شده و هماهنگی بین آن‌ها صورت پذیرد. همچنین، سیستم‌های مناسبی برای جمع‌آوری و تحلیل داده‌های مربوط به عملکرد لجستیکی باید پیاده‌سازی شود تا بتوان بهبودهای مورد نیاز را شناسایی و اعمال کرد. (طلایی زاده و همکاران، ۲۰۲۳)

۴-۲- انواع شبکه های لجستیک و زنجیره تامین

تصمیم‌گیری درباره طراحی شبکه زنجیره تامین، از مسائل حیاتی و اساسی در مدیریت زنجیره تامین است. در واقع، طراحی شبکه زنجیره تامین برای کسب و کارها نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند؛ زیرا بر توانایی شرکت‌ها در ارائه محصولات و خدمات در مواقع مورد نیاز و با کیفیت مناسب تأثیرگذار است. همچنین، این تصمیم می‌تواند بر فرایندهای تولید و توزیع، هزینه‌ها و سودآوری کسب و کار تأثیرگذار باشد. بنابراین، انتخاب بهترین راهکار برای طراحی شبکه زنجیره تامین، برای کسب و کارها بسیار حیاتی است.

تصمیم‌گیری در مورد پیکربندی شبکه لجستیک یک تصمیم استراتژیک بوده که اثرات آن برای چندین سال باقی می‌ماند، بنابراین تصمیمات مرتبط با پیکربندی شبکه لجستیک معمولاً قابلیت تغییر و انعطاف در کوتاه مدت یا میان مدت ندارند. طراحی مناسب شبکه زنجیره تامین باعث دستیابی به ساختاری بهینه می‌شود که این امر، مدیریت رقابتی و مؤثر زنجیره تامین را امکان‌پذیر می‌کند. در واقع، تصمیمات گوناگونی در ارائه یک زنجیره تامین نقش دارد، که تأثیر بسیار زیادی بر میزان بازده، انعطاف پذیری و چابکی زنجیره خواهند داشت. هدف اصلی طراحان شبکه، کاهش هزینه‌های مرتبط با شبکه ارائه شده تا بتواند علاوه بر برآورده نمودن اهداف تعریف شده اقتصادی اهداف کلان را نیز پوشش دهد. ازجمله این هدف‌ها می‌توان به کاهش آلودگی محیط زیستی اشاره نمود؛ که تأثیرات بسیار زیادی بر بخش تولید و فعالین این بخش داشته است. در نتیجه، طراحی مناسب شبکه زنجیره تامین لازمه موفقیت و رشد پایدار کسب و کارهاست. (سینک باهاتیا^۱ و همکاران، ۲۰۲۳) مدل‌های لجستیک و زنجیره تامین براساس سازمان و محیط به چند دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

^۱ Singh Bhatia



شکل (۲-۲). مدل های شبکه لجستیک و زنجیره تأمین

۱-۴-۲- لجستیک روبه جلو

یک شبکه لجستیک مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، مراکز توزیع و کانال‌های توزیع بین آنها است که برای بدست آوردن مواد خام و سپس طی فرایندی مواد اولیه به محصول نهایی تبدیل شده و به مشتری نهایی تحویل شود. پیکربندی شبکه لجستیک، تعیین‌کننده موقعیت تسهیلات (انتخاب یکی از نقاط بالقوه)، ظرفیت آنها و همچنین نوع کانال‌های حمل محصولات، بین تسهیلات تخصیص یافته است. با این وجود نتایج تحقیقات تقریباً نشان می‌دهد؛ که دیدگاه عمومی طراح‌ها به پیکربندی (دوباره پیکربندی) شبکه لجستیک برای یک دوره زمانی است. بطور کلی تمرکز اصلی مسائل طراحی شبکه لجستیک بر روی طراحی و بهینه‌سازی شبکه لجستیک شامل تأمین‌کنندگان، مراکز توزیع و مشتریان به منظور حداقل کردن کل هزینه‌های حمل (شامل هزینه‌های حمل و بارگیری) هزینه‌های باز و بسته کردن تسهیلات و هزینه‌های موجودی (ذخیره‌سازی) در جهت برآورده کردن انتظارات مشتریان است. (یولا، ۲۰۲۳)

لجستیک به مجموعه‌ای از فعالیت‌های عملیاتی اطلاق می‌شود که برای تبدیل ماده اولیه به کالای نهایی و ارائه آن به بازار، صورت می‌گیرد. این فعالیت‌ها شامل حمل و نقل، کنترل موجودی، مدیریت سفارشات و... است. به دلیل عدم وجود جریان همگن مواد، منابع، کارخانه‌ها و مراکز فروش در یک مکان، فعالیت‌های

لجستیکی قبل از رسیدن محصول به بازار انجام می‌شوند. برای بیان این حوزه از اصطلاحات دیگری همچون شبکه ارزش، جریان ارزش و لجستیک ناب استفاده می‌شود. با توجه به اهمیت لجستیک در هر سازمان و بخشی که از آن استفاده می‌کند، این فعالیت‌ها به صورت خاصی توسعه و پیشرفت می‌یابند. در واقع، لجستیک تأثیر زیادی بر کیفیت محصولات و خدمات ارائه شده به مشتریان، هزینه تولید و حمل و نقل، موجودی و در نهایت سودآوری دارد. به عنوان مثال، با بهینه سازی فرآیند حمل و نقل و کاهش زمان تحویل کالا به مشتریان، ارتباط با مشتریان بهبود یافته و احتمال رضایت آن‌ها افزایش می‌یابد. به همین ترتیب، با مدیریت بهتر موجودی، هزینه‌های انبار داری کاهش پیدا می‌کند و تأثیر مثبتی بر سودآوری دارد. (وانگ، ۲۰۲۳)

۲-۴-۲- لجستیک معکوس

این متغیر بطور گسترده کلیه فرایندهای مرتبط با بخش‌های تامین مواد اولیه تا فرایند عملیات هر بخش تا تحویل نهایی محصول را شامل می‌گردد. به طور خاص، لجستیک معکوس فرایند حرکت و انتقال صحیح و مناسب مصارف شده یا نشده‌ی اقلام از مراکز نهایی توزیع به سمت محصولات قابل استفاده و یا مصرف مناسب را برای مشتریان و همچنین به طور مشابه برای جلوگیری از ضایعات مواد، شامل می‌شود. ناین روند، به عنوان یک راه حل مختص به تأمین و تضمین ارزش و بازدهی محصولات، تأثیر بسزایی در تجارت و تولیدات دارد. برای مثال، تأخیر در پرداخت هزینه‌ها یا عدم تأمین قطعات موجود در تولید، می‌تواند به صورت مستقیم باعث کاهش سودآوری شرکت شود. لجستیک معکوس، همچنین شامل بهبود عملکرد در زمینه بازیافت و دور انداختن، قطعات تجهیزات و محصولات بدون ارزش است. به طور کلی، لجستیک معکوس همانند لجستیک سلسله مراتبی، یکی از مهمترین عواملی است که باید در نظر گرفته شود تا یک سیستم تجارت الکترونیکی، کارآمد و بازدهی راه‌اندازی شود. (یو^۱، ۲۰۲۳) به عبارت بهتر این زنجیره کلیه بخش‌های برنامه ریزی، اجرای برنامه و کنترل نتیجه را از جریان اولیه ورودی تا محصول دسته دوم شامل شده و اطلاعات حاصل در خلاف جهت زنجیره منتشر می‌گردد. در این تعریف محصولات برگشتی مجبور به بازگشت به مبدأ خود نیستند، بلکه می‌توانند به همان زنجیره تأمین و یا زنجیره تأمین دیگری برگردند. مفهوم محصولات دسته دوم ذکر شده در اینجا شامل محصولات استفاده نشده برگشتی، به دلایلی از جمله نارضایتی مشتری و یا شرایط زمانی اشاره دارد. زمانی که محصولات براساس دلایل گوناگون بازگشت داده می‌شوند به دلایل گوناگونی برمی‌گردد نظیر: محصولات که غیرقابل تعمیر بوده در پایان چرخه عمر خود

^۱ Yu

ارزش بازسازی را ندارند، یا محصولات باقی مانده از سری قبل که توسط خرده فروشان پس داده می شوند اما در حالت کلی لجستیک معکوس براساس دلایل زیر از زنجیره تامین شکل سنتی مجزا می گردد:

اکثر سیستم‌های لجستیک سنتی برای حمل و نقل محصولات در کانال‌های برگشتی طراحی نشده است. به عبارت دیگر، معمولاً این سیستم‌ها برای جابه‌جایی محصولات از محل کارخانه به مشتریان استفاده می‌شوند و هزینه‌های لجستیک رو به جلو در نظر گرفته می‌شوند. با این حال، هزینه‌های لجستیک معکوس (برگشتی) ممکن است بیشتر از هزینه‌های لجستیک رو به جلو باشد.

همچنین، عملکرد لجستیک برگشتی نسبت به لجستیک رو به جلو پیچیده‌تر است؛ زیرا با عدم قطعیت از عملکرد آن روبرو خواهیم شد. در واقع، مدیریت لجستیک برگشتی به دلیل ورودی‌های برگشتی (محصولات مصرف شده) با چالش‌های بیشتری مواجه است. به عبارت دیگر، تنظیم عرضه و تقاضا در لجستیک برگشتی یکی از چالش‌های اصلی است.

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که لجستیک برگشتی تأثیر جدی بر طراحی شبکه‌های لجستیک دارد. با این حال، میزان تغییر بسته به محیط متغیر خواهد بود. به عبارت دیگر، در هر مورد، باید راهکارهای مناسبی برای مدیریت لجستیک برگشتی ارائه داد. (صفایی قادیکلایی و همکاران ، ۱۴۰۱)

۳-۴-۲- لجستیک معکوس و ضرورت آن در زنجیره تامین

در رابطه با زنجیره تامین و مسائل لجستیک، باید به اهمیت عواملی نظیر کیفیت محصول، قیمت‌های رقابتی، چرخه زمانی مناسب برای سفارشات، تحویل به موقع، کاهش خسارات و صدمات به محصول و سایر موارد دقت کرد. امروزه در رقابت‌های جهانی، قیمت‌های مناسب و استانداردهای مشخصی برای تامین نیازهای پایه مشتریان وجود دارد. اگر شرکت‌ها نتوانند با این استانداردها هماهنگ شوند، قادر به خرید و فروش محصولات نخواهند بود. وجود استانداردهای قابل قبول در زمینه لجستیک، به شرکت‌ها کمک می‌کند تا در تصمیم‌گیری‌هایشان از سایر شرکت‌های متفاوت تمایز پیدا کنند، به عبارتی می‌توانند تصمیم خرید مشتری را تغییر دهند. یکی از عوامل مهم در چنین شرایطی، آگاهی بهتر در زمینه لجستیک معکوس است که امروزه بسیاری از شرکت‌ها برنامه‌های مختلفی را در این زمینه ارائه می‌دهند. (فرخزاد و همکاران ، ۱۳۹۸)

لجستیک معکوس عبارت بهتر بازیابی و ورود مجدد کالاها از مصرف‌کنندگان به فرآیند لجستیک است. در واقع، این فرآیند شامل فعالیت‌های مختلفی است که برای رفع مشکلات مرتبط با کالاها انجام می‌شود. این فعالیت‌ها شامل جبران کمبودهای سیستم، بازیافت، ذخیره‌سازی مجدد، دسترسی به مواد زائد است. در واقع، لجستیک معکوس یکی از اجزاء مهم و ضروری در سیستم مدیریت زنجیره تامین است. این

فرآیند به دلیل دلایل مختلفی از جمله نیاز به برگشت به فرآیند تولید و بسته‌بندی مجدد، اهمیت زیادی دارد. (ولی زاده و اشتهاوردی ، ۱۳۹۷)

۴-۲- استراتژی های زنجیره تامین معکوس

استراتژی توسعه ای در طراحی کلیه جنبه های شکل دهنده نیاز های مصرف کننده را شامل می گردد یکی از این واقعیت‌ها، نقش مهمی که لجستیک معکوس در کاهش هزینه‌های زنجیره تامین ایفا می‌کند، است. با انجام صحیح فرآیند لجستیک معکوس، هزینه‌های مربوط به دستورات عمل‌های بازگشت کالا و تعمیرات را می‌توان به حداقل رساند. واقعیت دیگر، تأثیر لجستیک معکوس در درآمد زنجیره تامین است. با ارائه خدمات لجستیک معکوس با کیفیت، مشتریان به سمت شرکت شما جذب می‌شوند و رضایت آنها از خدمات شما افزایش می‌یابد. این موضوع در نهایت به افزایش درآمد و سود شرکت منجر می‌شود. واقعیت دیگر، تأثیر لجستیک معکوس بر خدمات مشتری است. با ارائه خدمات لجستیک معکوس با کیفیت، مشتریان شما را به عنوان یک شرکت متعهد و حرفه‌ای در نظر می‌گیرند و به سمت خریدهای بیشتر از شما روی می‌آورند. با توجه به این واقعیت‌ها، اهمیت لجستیک معکوس در توسعه زنجیره تامین و بهبود کیفیت خدمات، بسیار زیاد است. در نتیجه، برنامه‌ها و استراتژی‌هایی که برای بهینه سازی فرآیند لجستیک معکوس به کار گرفته می‌شوند، می‌توانند بهبود و بهینه‌سازی زنجیره تامین را فراهم کنند؛ که عبارتند از:

- برنامه های لجستیک معکوس برای تمامی کالاهای بازگشتی قابل استفاده نیست ؛ بلکه تنها برای کالای بازگشتی غیر قابل کنترل مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- تولید در زمان کمتر مسلزم سرمایه گذاری در کوتاهترین زمان در فرایندهای زنجیره تامین یک صنعت است از این رو فرآیند لجستیک معکوس در این ارتباط از اهمیت ویژه ای برخوردار است.
- در صورتی که فواصل ارتباطی بین افراد و یا ارائه اطلاعات نادرست رخ دهد، ممکن است محصولات فیزیکی برای پر کردن این فاصله تولید شوند. به عنوان مثال، نداشتن اطلاعات مورد نیاز درباره تقاضای مشتری باعث تولید بیش از حد محصول می‌شود که می‌تواند در شرایط عدم اطمینان پوشش دهنده تقاضا با شد. همچنین، عدم داشتن اطلاعات کافی درباره زمان حمل و نقل ممکن است باعث شود دریافت کنندگان کالا برای جبران این عدم اطمینان مقدار بیشتری از کالا را در شرایط امن تر نگه دارند. (فیض الهی و همکاران ، ۱۴۰۰)

- توجه به کیفیت محصولات و همچنین برنامه‌های دقیق و کارآمد در حوزه لجستیک، همواره می‌تواند تعداد برگشتی محصولات را در مسیر معکوس بهبود بخشد. از طرف دیگر، حذف برگشت محصول با استفاده از برنامه‌ریزی مناسب، نیازمند صرف هزینه و زمان کافی و همچنین کنترل دقیق و نگهداری و انبارداری صحیح است. برنامه‌های لجستیک که برای کاهش برگشت محصولات طراحی شده‌اند، معمولاً کارآمدترین و موثرترین روش‌هایی هستند که می‌توان به کار گرفت. اما باید توجه داشت که برنامه‌های بهینه لجستیک معکوس تنها برای کالاهایی باید تنظیم شوند که واقعاً به برگشت نیاز دارند. در غیر این صورت، استفاده از برنامه‌های مبتنی بر لجستیک معکوس نه تنها زمان و هزینه را بالا می‌برد بلکه می‌تواند به جایگزینی فشار بیشتر بر روی سیستم لجستیک منجر شود. بنابراین، برای کاهش برگشت محصولات، علاوه بر استفاده از برنامه‌های لجستیک معکوس، باید به کیفیت محصولات و همچنین نیاز واقعی به برگشت دقت کرد. در نتیجه، با هماهنگی و همکاری موثر بین دپارتمان‌های مختلف، می‌توان به بهینه‌سازی فرآیند لجستیک و بهبود عملکرد سیستم لجستیک دست یافت.. (الهاسم و همکاران ، ۲۰۲۲)

۵-۴-۲- ابعاد لجستیک معکوس

براساس مطالعات انجام شده زنجیره تامین معکوس از بخش‌های مختلف توزیع، تولید و کنترل موجودی و صرفه جویی اقتصادی تشکیل شده است.

- توزیع: یکی از عوامل کلیدی در زنجیره تأمین، توزیع معکوس است که به عملیات جمع‌آوری تولیدات یا بسته‌های تاریخ گذشته و خسارت دیده، از منبع نهایی تا مصرف‌کننده انجام می‌شود. اجرای مناسب و به موقع توزیع معکوس، عامل اصلی لجستیک معکوس است. به همین دلیل، توزیع معکوس باید با استفاده از پیش‌بینی دقیق، مطالعات کارشناسانه و تحقیقات عملی- کاربردی همراه باشد تا در طول زنجیره تأمین، تأثیر مثبت خود را نشان دهد. اصل یکپارچگی سیستم توزیع معکوس با سایر عوامل لجستیک معکوس بسیار حائز اهمیت است. به این صورت که انجام صحیح و درست فعالیت‌های مختلف توزیع معکوس، ارتباط مستقیمی با موفقیت یا عدم موفقیت فرآیند لجستیک معکوس دارد. بنابراین، برای حصول از نتایج مطلوب در زمینه توزیع معکوس، باید با رعایت اصول و استانداردهای لجستیک معکوس، به طور جدی و هوشمندانه، اقدامات و فعالیت‌های

مرتبط را انجام داد.

- برنامه ریزی و کنترل موجودی: از اساسی ترین چالش های موجود در عرصه مدیریت صنعتی، تجاری و حتی نظامی، پیش بینی میزان خرید با توجه به شرایط داخلی و بازار است. به همین دلیل، هزینه خرید مواد و کالاهای لازم برای تولید و فروش را شکل می دهد. با استفاده از تکنیک ها و روش های جدید، مدیران می توانند با تعیین مقرون به صرفه بودن هر بار خرید، هزینه های خود را کاهش داده و در عین حال، سود سازمان را افزایش دهد. کنترل موجودی نقشی اساسی در عملکرد سازمان ها دارد. کنترل موجودی به معنای نظارت بر تامین مواد و کالاهای لازم برای سازمان است که دارای کیفیتی مناسب و متناسب با استاندارد تعریف شده از طرف سازمان باشد. در لجستیک معکوس حفظ هماهنگی میان بخش های مختلف یک زنجیره می تواند از توقف اجرای فرایندهای تولید محصول و ارائه خدمات جلوگیری نموده و به این ترتیب مانع از افزایش هزینه های تحمیلی بر سیستم گردد. عبارت بهتر هر فعالیت مرتبط با موجودی اجرای اصلی زنجیره را شکل می دهد که با رعایت استانداردها می تواند فرایند مدیریت موجودی را با مدیریت تولید همراستا نماید. (حسن و همکاران ، ۲۰۲۳)

- صرفه جویی اقتصادی: صرفه جویی اقتصادی در فرایند لجستیک معکوس، شکلی از ساختار با توزیع معکوس است که اعضای شکل دهنده آن و عملکردها آنها اهمیت شایانی دارند. بهبود ساختار مجاری توزیع معکوس باعث کاهش هزینه های ناشی از بازگشت کالاهای برگشتی و افزایش بازدهی منابع می شود. همچنین، انتخاب نوع اعضای مجاری توزیع معکوس می تواند باعث بهبود فرآیند توزیع معکوس شود. علاوه بر این، عملکرد هر یک از اعضای مجاری توزیع معکوس باید با توجه به نیازهای شرکت و با استفاده از روش های بهینه، بهبود یابد. به این ترتیب، تلاش در جهت بهبود ساختار مجاری توزیع معکوس و بهینه سازی عملکرد اعضای آن، از اهمیت بالایی برخوردار است. (گویندان و همکاران ، ۲۰۲۳)

۶-۴-۲- هدف لجستیک معکوس

هدف اصلی سیستم لجستیک معکوس، افزایش سطح کیفیت و رضایتمندی مستمر مشتریان است. شرکت ها و سازمان های بزرگ با وجود استقرار سیستم لجستیک معکوس، سعی می کنند تا با حذف محصولات معیوب

خود از زنجیره تأمین، اعتماد مناسبی را از مصرف کنندگان خود جلب کنند. اما این هدف برای اقلامی که به صورت توزیع معکوس وارد چرخه لجستیک می شوند، دارای سطوح و طبقه بندی مجزایی است که نیازمند پشتیبانی از یک سیستم کنترل موجودی منظم و دقیق است. برای این منظور، آخرین اطلاعات مربوط به اقلام بازگشتی در اختیار سیستم قرار داده می شود تا بتوان تصمیماتی در خصوص بهبود مستمر یک کالا گرفت. به عبارت دیگر، این سیستم به شرکت ها و سازمان ها کمک می کند تا با بهبود استمراری، رضایتمندی مشتریان را بهترین حد ممکن برسانند. (مالکی نژاد و همکاران، ۲۰۲۲)

۷-۴-۲- لجستیک معکوس و راه حل بهبود مستمر

لجستیک معکوس با استفاده از راه حل های متعدد بهبود مستمر می یابد که عبارتند از:

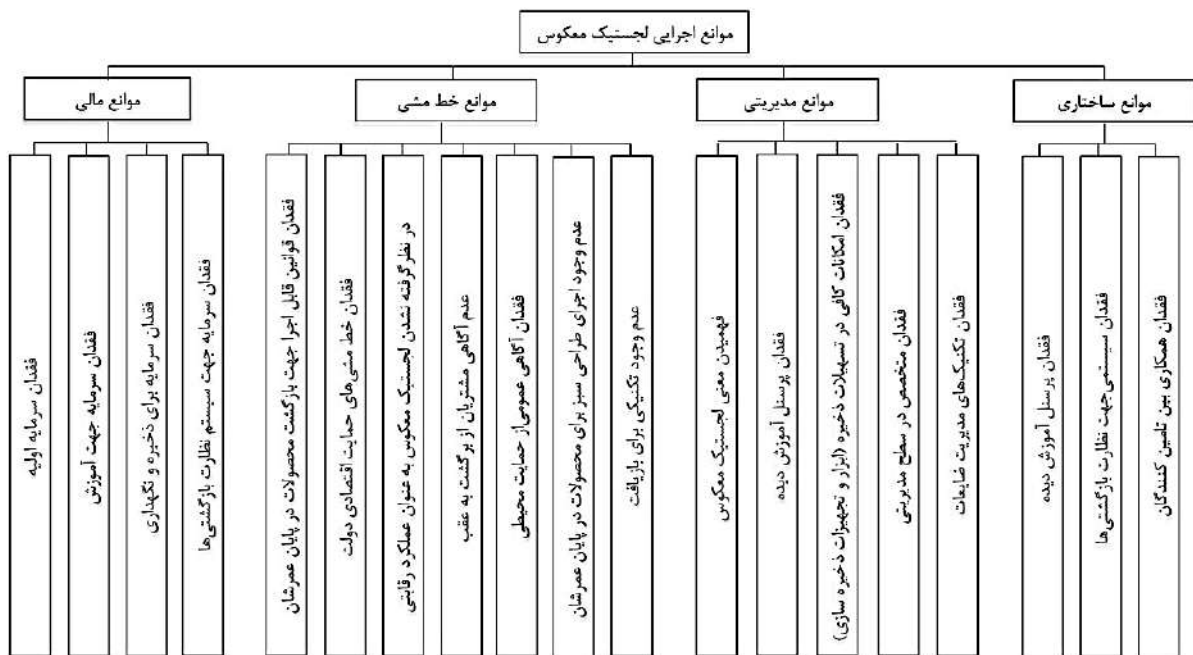
- مصرف مجدد مستقیم: لجستیک معکوس، به حل مشکلات مربوط به کالاهایی که به دلایل مختلفی نظیر عدم تعمیر یا عدم ارتقاء سطح پیشرفت و مدل، نیاز به بهبود دارند، کمک می کند. بهبودی که توسط لجستیک معکوس حاصل می شود، شامل بازگشت کالاهایی است که در شرایطی قابل استفاده بوده و اکنون به دلایل مختلفی نظیر بروز خرابی، به سیستم بازگشتی منتقل شده اند. با استفاده از این سیستم، کالاهای بازگشتی بررسی و ارزیابی شده و در صورت امکان، تعمیر و یا ارتقاء داده می شوند. همچنین، در صورتی که امکان تعمیر و یا ارتقاء کالا وجود نداشته باشد، به دنبال راهکاری برای بازیابی ارزش آن ها می گردد. به این ترتیب، با استفاده از لجستیک معکوس، کالاهای بازگشتی در چرخه تولید و توزیع بهبود یافته و رضایتمندی مشتریان نیز به دنبال آن صعود خواهد کرد. (برلین و همکاران، ۲۰۲۲)

- بازیافت مواد: در فرآیند بهبودی که توسط لجستیک معکوس ایجاد می شود، کالا به عنوان یک محصول کاربردی، قابلیت حفظ کاربری و استفاده را ندارد. بر خلاف این، هدف از استفاده از این سیستم، بازیابی ارزش و استفاده از تمامی یا برخی از مواد یا کالاهای بازگشتی است. موادی که در این فرآیند بهبود یافته اند، در صورت امکان، می توانند در تولید محصولات جدید وارد فرآیند تولید شوند و یا در صنایع دیگر به کار روند. با این روند، به طور کلی مصرف کنندگان و تولیدکنندگان می توانند مشکلات بیشتری را حل نمایند و یک چرخه پایدارتر برای تولید و مصرف کالاها ایجاد کنند. این روند منجر به کاهش هدررفت مواد و افزایش بهره وری در تولید می شود.

- تعمیرات: در فرایندی که بهبودی مستمر توسط لجستیک معکوس ایجاد می‌شود، با استفاده از تلاش و دقت در فرآیند تعمیر، می‌توان به سطح کیفیت مورد نظر رسید. همچنین، در فرآیند بهبودی که توسط لجستیک معکوس ایجاد می‌شود، این اجزا و قطعات بازیابی شده به دلیل داشتن ارزش، در صورت امکان، جهت استفاده در تولید مجدد محصولات قرار می‌گیرد. به این ترتیب، می‌توان از مواد قابل استفاده در دسترس استفاده کرد و همچنین هزینه‌هایی که در صورت خرید قطعات جدید برای تعمیر پرداخت می‌شده است، را به شکل چشمگیری کاهش داد.
- بروز رسانی مجدد: در فرآیند بهبودی که توسط لجستیک معکوس ایجاد می‌شود، در این مرحله کالا یا اجزای محصول به نحوی به‌روز می‌شوند که تأمین‌کننده کیفیت بالا برای مشتری را رعایت کرده و استانداردهای اولیه و عملیاتی کالای اصلی را برای مصرف مجدد دنبال می‌کند. به این ترتیب، قابلیت استفاده مجدد کالا یا اجزای آن به صورتی ایمن و با کیفیت بالا فراهم می‌شود. این فرآیند همچنین به کاهش هدر رفت مواد و افزایش بهره‌وری در زنجیره تامین کمک می‌کند.
- باز تولید (بازسازی و بهینه سازی): زمانی ایجاد می‌شود که لجستیک معکوس در حال شکل‌گیری است و محصولات در حال حرکت به سمت بهبود فرایند هستند. که در نتیجه، با استفاده از این روش، به صرفه‌جویی در مصرف منابع و افزایش دوام محصولات کمک شده و همچنین مشتریان از محصولات با کیفیت بالا و قیمت مناسب بهره‌مند می‌شوند. (حسن و همکاران، ۲۰۲۳)

۸-۴-۲- موانع اجرایی لجستیک معکوس

لجستیک معکوس در زمان پیاده سازی با ۴ مانع زیر برخورد می‌نماید؛ که براساس شکل (۳-۲) عبارتند از: (نجفی و همکاران، ۱۴۰۰)



شکل (۳-۲). موانع اجرایی لجستیک معکوس

۲-۵- عدم قطعیت در زنجیره تامین

۲-۵-۱- عدم قطعیت در طراحی زنجیره تامین

در جهان امروز، زنجیره تأمین با پیچیدگی‌های طبیعت خود و عدم قطعیت بسیار بالا، با مشکلاتی مواجه است که می‌تواند کیفیت و عملکرد آن را به شدت تحت تأثیر قرار دهد. به دلیل اهمیت این موضوع، عدم قطعیت در طراحی شبکه زنجیره تأمین، که در طولانی مدت تصمیم‌گیری را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد، به دو دسته قابل تقسیم است. دسته اول، عدم قطعیت مربوط به پارامترها است که به دو دسته سیستمی و محیطی تقسیم می‌شود. دسته دوم، مربوط به حوادث ناگهانی و غیرمنتظره‌ای است که می‌تواند باعث آسیب به زنجیره تأمین شود و خسارات جدی برای آن ایجاد کند. (فهیمی نژاد و همکاران، ۱۳۹۹)

۲-۵-۲- عدم قطعیت محیطی و سیستمی

بطور کلی حالت عدم قطعیت در شرایط سیستمی و محیطی می تواند بطور گسترده از بخش های مختلف صنعت در شکل بلندمدت اثرپذیر باشد که با افزایش روزافزون عدم قطعیت ، برنامه ریزی بلند مدت با مشکلاتی مواجه خواهد بود ، که این امر می تواند منجر به نتایج غیرقابل اعتماد و متغیر گردد. بخش بزرگی از این عدم قطعیت به فرایندهای مختلف گردآوری ، تولید و توزیع محصولات باز می گردد. (رضایی مقدم و همکاران ، ۱۳۹۷)

۲-۵-۳- عدم قطعیت ناشی از اختلالات

عدم قطعیت در شکل دوم دارای موانع و اختلالاتی نظیر: حوادث غیرمترقبه است. وقوع این حوادث باعث نارضایتی مشتریان می شود؛ زیرا عملکرد افراد در زنجیره تأمین به شدت تحت تأثیر قرار می گیرد و تحویل کالا به مشتریان با تأخیر رخ می دهد. که این حوادث می تواند شکستی در زنجیره تامین ایجاد نماید و تأثیرات منفی و بلندمدتی در پی دارد. همچنین می باید توجه داشت که توجه به عدم قطعیت در طراحی شبکه زنجیره تأمین و ارائه راهکارهای مدیریت اختلالات، می تواند منجر به اتخاذ تصمیمات با کیفیت بالا شود. (رحیمی و همکاران ، ۱۴۰۱)

۲-۵-۴- نحوه نمایش عدم قطعیت

در شرایط بررسی و گرفتن تصمیمات اساسی توجه به عدم قطعیت ها از اهمیت بسزایی برخوردار است. اگر پارامتر با عدم قطعیت در فضای احتمالی مد نظر باشد، نمایش پارامترها به دو شکل صورت می گیرد. روش نخست، ایجاد سناریو است که در واقع نمایش عدم قطعیت را در فضای گسسته فراهم می کند. در این روش، حالات با بیشترین میزان امکان روی دادن ابتدا مشخص شده سپس احتمال رخداد هر یک از حالت بررسی و تعیین می گردد. هر یک از حالات که از درجه احتمال رخداد بالاتری برخوردار باشد دارای اولویت بالاتری است. که این امر به میزان ابعاد مسئله و تعداد عوامل همراه با عدم قطعیت باز می گردد. (سلمانی زارچی و

تقی زاده یزدی ، ۱۳۹۸)

۶-۲- پیشینه تحقیق

۱-۶-۲- مطالعات داخلی

احمدی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی با عنوان مدل غیرخطی برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح بهینه سازی حلقه سبز زنجیره تامین که در شرکت کاله اجرا شده است. در این پژوهش از الگوریتم فراابتکاری NSGAIII جهت حل مسئله استفاده شده است. به منظور بررسی کارایی این الگوریتم نیز چند مسئله در ابعاد کوچک طراحی و در نرم افزار لینگو حل شده و پاسخ‌های به دست آمده با جواب‌های حاصل از روش فراابتکاری مقایسه گردید. در نهایت اثر میزان هدر رفت چربی به عنوان یکی از عوامل تاثیرگذار بر آلودگی فاضلاب لبنی نیز مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌ها بیانگر کارایی الگوریتم NSGAIII و نیز نشان‌دهنده اثر مستقیم میزان هدر رفت چربی بر آلودگی فاضلاب بود.

رحیمی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی بازیافت زباله را براساس عوامل موثر بر زنجیره تامین معکوس بررسی نمودند. نتایج حاصل نشان داد که عوامل موثر بر زنجیره تامین لجستیک معکوس بازیافت زباله شامل ۷ تم کلی تعهد مدیریت، حفظ محیط زیست، هزینه‌های بازیافت، برنامه‌های حمایتی مالی دولت، قوانین و مقررات دولتی، مسئولیت اجتماعی و فشار دینفعان می باشند.

بویر و طرفی زاده (۱۴۰۰) در پژوهشی براساس ساختار شبکه لجستیک معکوس و استراتژی مناسب به رتبه بندی عوامل موثر پرداختند. نتایج حاصل نشان داد، در این تحقیق به انتخاب استراتژی مناسب به منظور پیاده‌سازی لجستیک معکوس بر مبنای شناخت و رتبه‌بندی آن‌ها بر اساس عوامل موثر بر لجستیک معکوس، در شرکت پخش دارویی پرداخت شد. در این روش چند راهکار (استراتژی) که عبارت‌اند از (لجستیک بازآموزشی و محدود شده) برای تجزیه و تحلیل به کار برده شد و سپس از روش تاپسیس (TOPSIS) جهت اولویت‌بندی استراتژی‌ها استفاده شد. در این تحقیق از ابزار فیش‌برداری در روش کتابخانه‌ای و نیز از روش میدانی مصاحبه و مشاهده برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده شد. در نهایت بنا به شاخص‌های مسئله استراتژی‌ها به ترتیب استراتژی باز و سپس آموزشی و در آخر محدود شده با روش تاپسیس TOPSIS اولویت

بندی شدند.

فصیحی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی زنجیره تأمینی مبتنی بر شرایط عدم قطعیت برای ماهیان پرورشی سردابی طراحی نمودند. نتایج حاصل از بررسی مسائل نشان می‌دهند؛ که مدل توسعه یافته می‌تواند جهت صرفه جویی در هزینه‌ها و بالابردن سطح رضایت مشتریان موثر باشد.

جعفری و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی شرایط شکل‌گیری زنجیره معکوس در فعالیت‌های ورزشی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که موانع در ابعاد مختلف هماهنگی به همراه دانش مدیریتی مبتنی بر قانون تکنولوژیکی نقشی اساسی در ایجاد لجستیک معکوس دارد و از میان موانع موجود، موانع قانونی و مدیریتی به دلیل اهمیت بالایی که دارند، نقش کلیدی در شکل‌گیری سایر موانع را بر عهده دارند.

محمدی و سلیمانی (۱۳۹۹) در پژوهشی زنجیره تأمین به شکل باز و بسته را در شرکت ایران ترانسفو بررسی کردند. نتایج حاصل نشان می‌دهد، تحولات بازاری و عوامل اجتماعی و سیاسی، برای شرکت‌ها چالش‌های بسیاری را به همراه دارد. بنابراین طراحی زنجیره تأمین مبتنی بر فرایند سبز، که به شکلی غیرقطعی است، می‌تواند سطح انعطاف‌پذیری در برابر نوسانات بازار و عوامل سیاسی و اجتماعی را افزایش دهد. این رویکرد نه تنها مزایای اقتصادی و محیط زیستی را به همراه دارد، بلکه باعث بهبود سطح بهره‌وری و کارایی شرکت نیز خواهد شد. در این راستا، با اجرای مدل پیشنهادی، شرکت ایران ترانسفو قادر به تحول شدیدی خواهد بود. همچنین، به دلیل اینکه مدل پیشنهادی بر پایه فرایند سبز استوار است، می‌تواند در جهت حفظ محیط زیست بسیار مؤثر باشد. از طرف دیگر، با بهبود سطح کارایی و بهره‌وری، شرکت ایران ترانسفو قادر خواهد بود با رقبای خود در بازار رقابت کند و در نهایت موفقیت خود را تضمین کند.

برادران و صفری (۱۳۹۸) در پژوهشی مدلی مکان‌یاب دارای دو هدف در زنجیره تأمین حلقه بسته مبتنی بر عدم قطعیت ارائه نمودند. نتایج حاصل نشان می‌دهد؛ شرایط عدم قطعیت (بهینه‌سازی استوار) می‌تواند یک مدل خطی دو هدفه را به یک هدفه حلقه بسته تبدیل نموده و با کاهش هزینه‌های کل زنجیره میزان آلودگی محیط زیستی را کاهش دهد.

تقی‌زاده یزدی و سلمانی زارچی (۱۳۹۸) در پژوهشی مدلی با چندین هدف در حالت سبز با چند سطح موازی برای محصولاتی با وزن معین در شرکت کفش شهر ممتاز ارائه نموده است. نتایج نشان‌دهنده کارکنان در زمان برخورد با عامل شیمیایی در حد استاندارد تعیین شده در حداقل مقدار ممکن خود قرار می‌گیرند. که تمامی مراحل با استفاده از نرم‌افزار GAMS انجام می‌شود.

ولی‌زاده و اشتهاوردیان (۱۳۹۸) در پژوهشی به چالش‌های توسعه لجستیک معکوس در پروژه‌های بزرگ

ساختمانی و عمرانی ایران پرداختند. نتایج حاصل نشان می دهد؛ مدیریت بهینه ضایعات به امری ضروری مبدل شده است. یکی از اقدامات موجود برای رسیدگی به این نگرانی ها پیاده سازی اصول لجستیک معکوس می باشد. این مطالعه به دنبال شناسایی چالش های لجستیک معکوس می باشد که به طور قابل توجهی بر پذیرش و پیاده سازی آن در پروژه های ساخت و ساز تأثیر گذار است؛ بدین منظور مصاحبه هایی نیمه ساختاریافته با خبرگان صنعت صورت گرفت. در انتها با توجه به اطلاعات کیفی به دست آمده از مصاحبه و مشاهده، پرسشنامه هایی در قالب تکنیک دلفی تنظیم شده و در اختیار مدیران و خبرگان صنعت قرار داده شد و بر اساس نتایج آن، ۵۷ چالش در بخش های مختلف لجستیک معکوس شناسایی و اولویت بندی شدند.

بهزادی و یوسف برقی (۱۳۹۷) پژوهشی تحت شرایط عدم قطعیت در شبکه زنجیره تامین حلقه بسته را در حالت تصادفی بصورت دو مرحله ای و شکل حلقه بسته با حالت استواری اجرا نمودند. نتایج حاصل نشان می دهد؛ بهینه سازی در شرایط استوار کارایی بالاتری نسبت به سایر شرایط موجود دارد.

رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی فرایند تولید و توزیع زنجیره تامین در حالت برگشت ناپذیر را با استفاده از مدل سازی ریاضی در حالت چندهدفه اجرا نمودند. نتایج حاصل نشان می دهد مدل ارائه شده کارایی بالایی دارد و بهتر است در شرایط برنامه ریزی ادغامی از الگوریتم های فرا ابتکاری استفاده شود.

فیض الهی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی مدل شبکه زنجیره تامین حلقه بسته چند هدفه را مبتنی بر چند دوره در شرایط عدم قطعیت طراحی و ارائه نمودند. نتایج حاصل نشان می دهد؛ متغیرهای مالی و تولیدی، تأثیر بسیار زیادی بر سود حاصل از بازیافت مواد دارد، به طوری که ضریب تقاضای فازی پس از خنثی سازی اثرات زیست محیطی تابع هدف را حداکثر می نماید.

۲-۶-۲- مطالعات خارجی

آلا^۱ (۲۰۲۳) در پژوهشی به بررسی تأثیر حمل و نقل و انتشار کربن بر انتخاب کانال معکوس در مدیریت زنجیره تامین حلقه بسته پرداخت. نتایج نشان می دهد؛ نرخ تولید مجدد بهینه تنها با افزایش فواصل حمل و نقل زنجیره تامین معکوس کاهش می یابد و فاصله رو به جلو تأثیری بر نرخ ساخت مجدد ندارد. با این

^۱ Ullah

حال، افزایش تقاضای بازار اثرات فواصل معکوس طولانی را کاهش می دهد. علاوه بر این، هزینه حمل و نقل نیز بر نرخ تولید مجدد تأثیر می گذارد.

حسن و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی به ارائه مدل زنجیره تامین سبز حلقه بسته چند هدفه با ریسک اختلالی پرداختند. نتایج حاصل نشان می دهد؛ RSC ها می توانند کمبود تولید ناشی از اختلالات زنجیره تامین را کاهش دهند. آنها همچنین مزایای CLSC ها را با توجه به کاهش هزینه ها، مصرف انرژی، انتشار CO₂ و تولید زباله نشان می دهند.

رجبی کفشگر و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی به بررسی استفاده از رویکرد فراابتکاری ترکیبی برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته کشاورزی پرداختند. نتایج نشان می دهد؛ در این مقاله، یک مدل ریاضی خطی ترکیبی جدید برای یک شبکه زنجیره تامین کشاورزی برای به حداقل رساندن مجموع هزینه های ثابت و متغیر زنجیره تامین حلقه بسته توسعه داده شده است. برای پرداختن به مدل پیشنهادی، از الگوریتم های فراابتکاری قدیمی و اخیر کارآمد و شناخته شده استفاده شده است. علاوه بر این، برای تقویت مراحل تشدید و تنوع، سه الگوریتم فراابتکاری ترکیبی توسعه داده شده است. در نهایت، کیفیت الگوریتم های فراابتکاری و ترکیبی بررسی و مقایسه شده است.

عربی و غلامیان (۲۰۲۳) در پژوهشی به طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته انعطاف پذیر با در نظر گرفتن عدم قطعیت کیفیت: مطالعه موردی معادن سنگ پرداختند. برخی از بینش های مدیریتی به عنوان راهنمایی برای مدیران زنجیره تامین ذکر شده ارائه می شود تا آنها را در تصمیم گیری بهتر یاری کند. نتایج نشان می دهد که هزینه های حمل و نقل بیشتر از هزینه های عملیاتی بر سود تأثیر می گذارد. همچنین آذربایجان غربی و اصفهان پتانسیل بالایی برای قطب سنگ ایران شدن دارند. آذربایجان غربی از نظر جغرافیایی نیز برای صادرات سنگ به کشورهای همسایه مناسب است.

طالعی زاده و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی به بررسی این موضوع پرداختند که محصولات جدید یا محصولات بازسازی شده: کدام یک در زنجیره تامین چند سطحی حلقه بسته مناسب برای مصرف کننده است؟. نتایج حاصل نشان می دهد؛ خرده فروش می تواند به بهترین شکل برنامه ریزی نماید؛ به طوری که زنجیره تامین حلقه بسته مورد استفاده همواره کارآمد باشد. میزان کارایی در سطح جهانی زمانی محقق می گردد که بتوان از زنجیره تامین پیاده سازی شده بهترین نتیجه رو دریافت نمود.

قویندان و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی به بررسی مشکل مسیریابی مکان - موجودی - برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته دایره ای با سیاست کربن صفر برای دستیابی به اقتصاد دایره ای: با رویکرد

محدودیت اپسیلون تقویت شده پرداختند. نتایج حاصل نشان می دهد، در نظر گرفتن مشکلاتی مانند تقسیم تحویل، امکان ذخیره سازی، کمبود، انتخاب تامین کننده، تخصیص سفارش، خودروهای ناهمگن و تقاضای نامشخص منجر به توسعه یک مدل جامع شده است. یک رویکرد مبتنی بر سناریو تصادفی برای مقابله با عدم قطعیت تقاضا استفاده می شود، و یک روش محدودیت اپسیلون تقویت شده برای حل مدل دو هدفه پیشنهادی استفاده می شود. کاربرد مدل پیشنهادی و اثربخشی رویکرد راه حل دوهدفه برای دستیابی به اقتصاد دایره ای از طریق پیاده سازی آن در صنعت کابل و سیم در ایران است.

وانگ^۱ و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی به بررسی استراتژی تسهیم مسئولیت طراحی و مجموعه زیست محیطی محصول در زنجیره تامین حلقه بسته پرداختند. نتایج حاصل نشان می دهد؛ اشتراک مسئولیت می تواند کارایی مجموعه زنجیره تامین را بهبود بخشد. از منظر طراحی محصول، مدل SD همیشه می تواند تولید کننده را تشویق کند تا طراحی زیست محیطی محصول را بهبود بخشد. علاوه بر این، مدل SDC و SC نسبت به اشتراک گذاری مسئولیت مجموعه بهینه یکسانی دارند. در نهایت، انتخاب بهینه مدل های اشتراک مسئولیت از نظر محیط زیست به تأثیر محیطی نسبی محصول با استفاده از مواد بازیافتی بستگی دارد.

یو^۲ و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی همکاری و هماهنگی ائتلافی زنجیره تامین حلقه بسته تحت مقررات مالیات کربن متمایز بررسی کردند. نتایج نشان می دهد؛ با تشکیل یک ائتلاف بزرگ نیز می توان به عملکرد مطلوب زیست محیطی و اقتصادی دست یافت. الگوریتم های ارزش Shapley به بهبود پارتو سیستم زنجیره تامین کمک می کند. علاوه بر این، خدمات مالیات دهندگان کربن (یعنی تولید کننده و بازتولید کننده) در Shapley^۱ صلاح شده به ترتیب ۲۰٫۱۵٪ و ۷۷٫۷۱٪ در مقایسه با ارزش Shapley کلاسیک تحت شرایط خاص بهتر است. که این نتایج به نفع تدوین سیاست مالیات کربن تنظیم کننده ها و شیوه های تولید مجدد مدیران صنعتی است.

اصغری و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی به بررسی تصمیمات قیمت گذاری و تبلیغات در زنجیره تامین حلقه بسته فروش مستقیم پرداختند. یافته ها عملکرد برتر الگوریتم فراابتکاری پیشنهادی را در برابر رویکردهای راه حل جایگزین از نظر زمان محاسباتی و کیفیت بررسی می کند. علاوه بر این، برخی از طرح های قیمت گذاری و کمپین های تبلیغاتی برای بهبود کارایی زنجیره های تامین حلقه بسته را تامین

^۱Wang^۲Yu

می‌کند.

الهاشم و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی به ارائه یک مدل چند هدفه پیشنهادی برای بهینه‌سازی زنجیره تامین حلقه بسته تلفن همراه بر اساس QFD فازی پرداختند. بر اساس نتایج، وزن توابع هدف، هم بر انتخاب امکانات و هم بر جریان محصولات بین آنها تأثیر معناداری دارد.

برلین^۱ و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی ارتباط زنجیره های تامین حلقه باز و بسته در زمینه اقتصاد دایره ای؛ چارچوب بندی یک پیوستار بررسی کردند. نتایج حاصل نشان می‌دهد؛ زنجیره های تامین حلقه باز (OLSCs) نقشی به همان اندازه مهم به عنوان پیکربندی های زنجیره تامین دارند که در آن بازیگرانی غیر از OEM در بازیابی محصول و مواد دارند.

سینگ باهاتیا^۲ و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی به دنبال پاسخ به سوال چه چیزی برای عملیات زنجیره تامین حلقه بسته حیاتی است؟ - یافته های شرکت های تولیدی کوچک و متوسط هند پرداختند. نتایج حاصل نشان می‌دهد؛ «نوآوری سبز» مهمترین عامل پس از «حمایت و هماهنگی مدیریت»، «طراحی برای بازیابی» و «مدیریت بازگشت محصول» است. این مطالعه مدیران شرکتهای تولیدی کوچک و متوسط هند را در مورد عوامل حیاتی برای عملیات زنجیره تامین حلقه بسته راهنمایی می‌کند. این مطالعه همچنین دانش را در مورد زنجیره تامین حلقه بسته با شناسایی عوامل حیاتی در شرکتهای تولیدی کوچک و متوسط هند گسترش می‌دهد.

مالکی نژاد و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی یک مدل ارتباطی برای کاهش اثر شلاق گاو در زنجیره تامین حلقه بسته ارائه کردند. نتایج حاصل نشان می‌دهد؛ «اشتراک گذاری اطلاعات» به عنوان عامل اصلی تاثیرگذار بر مدل شناسایی می‌شود. یک عامل بازگشت زمانی کوتاه مدت نیز در بالاترین سطح شناسایی می‌شود. همچنین برنامه‌ای جامع برای کاهش اثر شلاق گاو در زنجیره تامین حلقه بسته تدوین می‌شود.

زنگ^۳ و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی به ایجاد ارزش زنجیره تامین حلقه بسته با در نظر گرفتن تامین مالی جمعی سهام پرداختند. نتایج حاصل نشان می‌دهد؛ (۱) اگرچه تولیدکننده به ارزش های مورد نظر مصرف کننده توجه می‌کند؛ اما کسب درآمد اضافی سرمایه‌گذاری جمعی از بین می‌برد، ارزش مصرف‌کننده،

^۱ Berlin

^۲ Singh Bhatia

^۳ Zhang

خرده‌فروش، در زنجیره تامین حلقه بسته و همچنین ارزش زیست محیطی افزایش می‌یابد. (۲) سازنده باید فعالانه شرایطی را برای جذب مصرف کنندگان برای مشارکت در ایجاد ارزش فراهم کند و ارزش افزوده را با سرمایه گذاری جمعی نسبت به انتقال به موقع سهام انجام دهد. (۳) سازنده و سرمایه گذار سرمایه جمعی باید همکاری را تقویت کنند و به طور مشترک تقاضای سرمایه گذاری با بازده مناسب را فراهم کنند. (۴) خرده فروش می‌باید بر افزایش فروش محصول و مقدار بازیافت ضایعات برای ارتقاء دستیابی به ارزش اقتصادی و زیست محیطی تلاش کنند.

ردیف	نویسندگان	عنوان	روش تحقیق	یافته ها
۱	احمدی و همکاران (۱۴۰۱)	بررسی کارایی الگوریتم طراحی شده در چند مسئله در ابعاد کوچک	کاربردی-توسعه ای	کارایی الگوریتم NSGAI و نیز نشان‌دهنده اثر مستقیم میزان هدر رفت چربی بر آلودگی فاضلاب است.
۲	رحیمی و همکاران (۱۴۰۱)	بررسی بازیافت زباله براساس عوامل موثر بر زنجیره تامین معکوس	کاربردی	عوامل موثر بر زنجیره تامین لجستیک معکوس بازیافت زباله شامل ۷ تم کلی تعهد مدیریت، حفظ محیط زیست، هزینه های بازیافت، برنامه های حمایتی مالی دولت، قوانین و مقررات دولتی، مسئولیت اجتماعی و فشار ذینفعان می باشند.
۳	بویر و طرفی زاده (۱۴۰۰)	رتبه بندی عوامل موثر بر ساختار شبکه لجستیک معکوس و استراتژی مناسب	اکتشافی	بنا به شاخص‌های مسئله استراتژی‌ها به ترتیب استراتژی باز و سپس آموزشی و در آخر محدود شده با روش تاپسی TOPSIS اولویت بندی شدند
۴	فصیحی و همکاران (۱۴۰۰)	طراحی زنجیره تاملینی مبتنی بر شرایط عدم قطعیت برای ماهیان پرورشی سردابی	کاربردی	مدل توسعه یافته می‌تواند جهت صرفه جویی در هزینه‌ها و بالابردن سطح رضایت مشتریان موثر باشد.
۵	جعفری و همکاران (۱۳۹۹)	بررسی شرایط شکل‌گیری زنجیره معکوس در فعالیت های ورزشی	کاربردی-اکتشافی	موانع در ابعاد مختلف هماهنگی به همراه دانش مدیریتی مبتنی بر قانون تکنولوژیکی نقشی اساسی در ایجاد لجستیک معکوس دارد و از میان موانع موجود، موانع قانونی و مدیریتی به دلیل اهمیت بالایی که

				دارند، نقش کلیدی در شکل‌گیری سایر موانع را بر عهده دارند.
ردیف	نویسندگان	عنوان	روش تحقیق	یافته‌ها
۶	محمدی و سلیمانی (۱۳۹۹)	بررسی زنجیره تامین به شکل باز و بسته در شرکت ایران ترانسفو	کاربردی	تحولات بازاری و عوامل اجتماعی و سیاسی، برای شرکت‌ها چالش‌های بسیاری را به همراه دارد. بنابراین طراحی زنجیره تأمین مبتنی بر فرایند سبز، که به شکلی غیرقطعی است، می‌تواند سطح انعطاف پذیری در برابر نوسانات بازار و عوامل سیاسی و اجتماعی را افزایش دهد
۷	برادران و صفری (۱۳۹۸)	ارائه مدلی مکان‌یاب دارای دو هدف در زنجیره تأمین حلقه بسته مبتنی بر عدم قطعیت	توسعه‌ای	شرایط عدم قطعیت (بهینه‌سازی استوار) می‌تواند یک مدل خطی دو هدفه را به یک هدفه حلقه بسته تبدیل نموده و با کاهش هزینه‌های کل زنجیره میزان آلودگی محیط زیستی را کاهش دهد.
۸	تقی‌زاده یزدی و سلمانی زارچی (۱۳۹۸)	ارائه مدلی با چندین هدف در حالت سبز با چند سطح موازی برای محصولاتی با وزن معین در شرکت کفش شهپر ممتاز	توسعه‌ای	کارکنان در زمان برخورد با عامل شیمیایی در حد استاندارد تعیین شده در حداقل مقدار ممکن خود قرار می‌گیرند. که تمامی مراحل با استفاده از نرم‌افزار GAMS انجام می‌شود.
۹	ولی زاده و اشتیاردیان (۱۳۹۸)	بررسی چالش‌های توسعه لجستیک معکوس در پروژه‌های بزرگ ساختمانی و عمرانی ایران	توسعه‌ای	مدیریت بهینه ضایعات به امری ضروری مبدل شده است. یکی از اقدامات موجود برای رسیدگی به این نگرانی‌ها پیاده‌سازی اصول لجستیک معکوس می‌باشد
۱۰	بهزادی و یوسف برقی (۱۳۹۷)	تحت شرایط عدم قطعیت در شبکه زنجیره تامین حلقه بسته را در حالت تصادفی	کاربردی	بهینه‌سازی در شرایط استوار کارایی بالاتری نسبت به سایر شرایط موجود دارد.

ردیف	نویسندگان	عنوان	روش تحقیق	یافته ها
۱۱	آلا (۲۰۲۳)	بررسی تاثیر حمل و نقل و انتشار کربن بر انتخاب کانال معکوس در مدیریت زنجیره تامین حلقه بسته	کاربردی-توصیفی	نرخ تولید مجدد بهینه تنها با افزایش فواصل حمل و نقل زنجیره تامین معکوس کاهش می یابد و فاصله رو به جلو تاثیری بر نرخ ساخت مجدد ندارد. با این حال، افزایش تقاضای بازار اثرات فواصل معکوس طولانی را کاهش می دهد. علاوه بر این، هزینه حمل و نقل نیز بر نرخ تولید مجدد تأثیر می گذارد.
۱۲	حسن و همکاران (۲۰۲۳)	ارائه مدل زنجیره تامین سبز حلقه بسته چند هدفه با ریسک اختلالی	توسعه ای- کاربردی	RSC ها می توانند کمبود تولید ناشی از اختلالات زنجیره تامین را کاهش دهند. آنها همچنین مزایای CLSC ها را با توجه به کاهش هزینه ها، مصرف انرژی، انتشار CO ₂ و تولید زباله نشان می دهند.
۱۳	رجبی کفشگر و همکاران (۲۰۲۳)	بررسی استفاده از رویکرد فرا ابتکاری ترکیبی برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته کشاورزی	کربردی-رگرسیون	یک مدل ریاضی خطی ترکیبی جدید برای یک شبکه زنجیره تامین کشاورزی برای به حداقل رساندن مجموع هزینه های ثابت و متغیر زنجیره تامین حلقه بسته توسعه داده شده است
۱۴	عربی و غلامیان (۲۰۲۳)	طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته انعطاف پذیر با در نظر گرفتن عدم قطعیت کیفیت: مطالعه موردی معادن سنگ	کاربردی	هزینه های حمل و نقل بیشتر از هزینه های عملیاتی بر سود تأثیر می گذارد. همچنین آذربایجان غربی و اصفهان پتانسیل بالایی برای قطب سنگ ایران شدن دارند
۱۵	طالعی زاده و همکاران (۲۰۲۳)	محصولات جدید یا محصولات بازسازی شده: کدام یک در زنجیره تامین چند سطحی حلقه بسته	توصیفی	خرده فروش می تواند به بهترین شکل برنامه ریزی نماید ؛ به طوری که زنجیره تامین حلقه بسته مورد استفاده همواره کارآمد باشد

		مناسب برای مصرف کننده است؟		
ردیف	نویسندگان	عنوان	روش تحقیق	یافته ها
۱۶	قویندان و همکاران (۲۰۲۳)	بررسی مشکل مسیریابی مکان - موجودی - برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته دایره ای با سیاست کربن صفر برای دستیابی به اقتصاد دایره ای: با رویکرد محدودیت اپسیلون تقویت شده	توصیفی	در نظر گرفتن مشکلاتی مانند تقسیم تحویل، امکان ذخیره سازی، کمبود، انتخاب تامین کننده، تخصیص سفارش، خودروهای ناهمگن و تقاضای نامشخص منجر به توسعه یک مدل جامع شده است. یک رویکرد مبتنی بر سناریو تصادفی برای مقابله با عدم قطعیت تقاضا استفاده می شود، و یک روش محدودیت اپسیلون تقویت شده برای حل مدل دو هدفه پیشنهادی استفاده می شود
۱۷	وانگ و همکاران (۲۰۲۳)	بررسی استراتژی تسهیم مسئولیت طراحی و مجموعه زیست محیطی محصول در زنجیره تامین حلقه بسته	کاربردی	اشتراک مسئولیت می تواند کارایی مجموعه زنجیره تامین را بهبود بخشد. از منظر طراحی محصول، مدل SD همیشه می تواند تولید کننده را تشویق کند تا طراحی زیست محیطی محصول را بهبود بخشد. علاوه بر این، مدل SDC و SC نسبت به اشتراک گذاری مسئولیت مجموعه بهینه یکسانی دارند. در نهایت، انتخاب بهینه مدل های اشتراک مسئولیت از نظر محیط زیست به تأثیر محیطی نسبی محصول با استفاده از مواد بازیافتی بستگی دارد.
۱۸	یو و همکاران (۲۰۲۳)	بررسی همکاری و هماهنگی ائتلافی زنجیره تامین حلقه بسته تحت مقررات مالیات کربن متمایز	توصیفی-کاربردی	با تشکیل یک ائتلاف بزرگ نیز می توان به عملکرد مطلوب زیست محیطی و اقتصادی دست یافت. الگوریتم های ارزش Shapley به بهبود پارتو سیستم زنجیره تامین کمک می کند
۱۹	اصغری و همکاران (۲۰۲۲)	بررسی تصمیمات قیمت گذاری و تبلیغات در زنجیره تامین حلقه بسته فروش مستقیم	کاربردی	طرح های قیمت گذاری و کمپین های تبلیغاتی برای بهبود کارایی زنجیره های تامین حلقه بسته را تامین می کند.

۲۰	الهاشم و همکاران (۲۰۲۲)	ارائه یک مدل چند هدفه پیشنهادی برای بهینه‌سازی زنجیره تامین حلقه بسته تلفن همراه بر اساس QFD فازی	توسعه ای	وزن توابع هدف، هم بر انتخاب امکانات و هم بر جریان محصولات بین آنها تأثیر معناداری دارد.
ردیف	نویسندگان	عنوان	روش تحقیق	یافته ها
۲۱	مطالعه حاضر	طراحی بهینه زنجیره تامین معکوس حلقه بسته برای بازیافت آلومینیوم جهت حداکثرسازی سود سالانه	کاربردی	ساخت یک مرکز جدید برای بازیافت آلومینیوم موجب بهبود سطح تولید و افزایش سطح پاسخگویی به تقاضاهای موجود می شود. که براساس هزینه های مربوط به بخش های مختلف نظیر: حمل و نقل ، نگهداری و تولید و خرید میزان محصول موجود و کمبودهای مربوط به انها تعیین می گردد.

۲-۷- شکاف تحقیقاتی

با بررسی مرور ادبیات تا حدی که در این مطالعه امکان و فرصت آن وجود داشته است و بررسی هایی که بر روی بحث زنجیره تامین حلقه بسته در حوزه زنجیره تامین سبز و پایدار و عدم قطعیت در حوزه های مختلف صورت گرفته است و مطالعات کمی به حوزه بازیافت مبتنی بر مساله لجستیک معکوس که به دستیابی به سود حاصل از آن نپرداختند.

۲-۸- جمع بندی

در مطالعاتی در حوزه زنجیره تامین انجام گرفته است که به چهار دسته‌ی مختلف شامل زنجیره تامین معکوس، زنجیره تامین حلقه بسته، و زنجیره تامین پایدار، تقسیم می شود. همچنین، مدل‌های نو شته شده توسط محققین مختلف در روش‌های حل، متغیر تصمیم، روش مدل سازی، تعداد دوره‌ها، تعداد محصولات، تعداد اهداف و قطعی یا غیرقطعی بودن پارامترها با یکدیگر متفاوت هستند. در این تحقیقات، هدف غالب به صورت کمینه کردن هزینه، بیشینه کردن سود و یا هدف‌های دیگر تعریف شده است. بررسی مقالات

مختلفی که در سال‌های ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ منتشر شده‌اند نشان می‌دهد که بیشتر مقالات از نوع تک‌هدفه بوده و یک نوع محصول را در نظر گرفتند. همچنین، پارامترهای مدل به طور عمده قطعی بوده و از شرایط غیرقطعی در محیط واقعی دور هستند.

فصل ۳:

روش تحقیق

۱-۳- مقدمه

افزایش پدیده شهرنشینی و توسعه صنعت باعث افزایش فاصله میان عرضه و تقاضا شده و همچنین آلودگی‌های زیست محیطی را افزایش داده است. بر اساس مطالعات مختلف انجام شده تقریباً ۳۰ تا ۷۰ درصد فلزات مورد استفاده در فرایند تولید با استفاده از روش بازیافت تهیه می‌شوند. فلزات جمع‌آوری نشده توسط مصرف‌کنندگان ناآگاه دور ریخته می‌شود و وارد محیط شده و به آلودگی محیط زیست می‌پردازند. که این امر موجب تخریب و آسیب‌رسانی به منابع طبیعی و محیط زیست، آلودگی منابع غذایی نظیر: محصولات کشاورزی و ... از طریق آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی و زمین‌های کشاورزی و باغی شده که در نهایت منجر به آسیب‌های ناشی از رها شدن فلزات نظیر آلومینیوم در محیط زیست خواهد شد. عواملی نظیر: کمبود فضای دفن فلزات دور ریز در قالب زباله شهری، افزایش هوشیاری عمومی در ارتباط با اثرات اقتصادی و زیست محیطی، افزایش سطح آلاینده‌ها و منافع اقتصادی ناشی از بازیافت و قوانین و مقررات مرتبط با آنها همگی موجب شده است؛ که توجه به موضوع کاهش دور ریز فلزات بخصوص آلومینیوم، استفاده مجدد و بازیافت در دهه‌های اخیر افزایش یابد. (فهیمی نژاد و همکاران، ۱۳۹۹)

در حال حاضر، لجستیک معکوس به عنوان یکی از فعالیت‌های اصلی در مدیریت زنجیره تأمین شناخته شده است. بنابراین، طراحی مناسب این شبکه، نقش مثبتی در تحقق اهداف زنجیره تأمین، به خصوص کاهش هزینه‌ها، سطح پاسخگویی و کارایی دارد. (رحیمی و همکاران، ۱۴۰۱) امروزه، مقالات و پژوهش‌های کمی در حوزه زنجیره لجستیکی معکوس و مستقیم کار ارائه شده است. بنابراین فرایند اجرایی گسترده و هماهنگ زنجیره تامین جهت جلوگیری از زیربهینگی، می‌تواند، بهره‌وری و کارایی کل شبکه را تحت تاثیر قرار داده و اجرای فرایندهای مربوط به هر شبکه را آسان‌تر کند. از این رو در فصل حاضر پس از بررسی فرضیات مدل ریاضی متناسب با اهداف تعریف شده براساس فرایندهای تأمین، خرید، تولید و عرضه در شبکه مورد مطالعه طراحی و ارائه خواهد شد.

۲-۳- تعریف مساله

در تحقیق حاضر، یک شبکه حلقه بسته بازیافت آلومینیوم مطالعه شده است. شبکه مورد بررسی، خود از ۴ شبکه شامل شبکه تامین، شبکه تولید ورق آلومینیوم، شبکه تولید شمش آلومینیوم و شبکه تحویل محصول نهایی به مصرف کننده شکل گرفته است. ارتباط میان کلیه بخش ها شبکه مورد مطالعه را شکل می دهد.

شبکه تامین: شامل مراکز جمع آوری فلزات است؛ که فلزات بازیافتی به منظور انجام عملیات مناسب روی آنها جمع آوری کنند.

شبکه تولید ورق آلومینیوم داخلی: شامل مراکز جمع آوری و بازیافت، مراکز دفع، کارخانه های ساخت ورق آلومینیوم مرتبط با سازمان مورد مطالعه است.

شبکه تولید شمش آلومینیوم خارجی: شبکه ای موازی با شبکه داخلی با همان نوع تسهیلات محصول نهایی اما متعلق به سایر سازمان ها است.

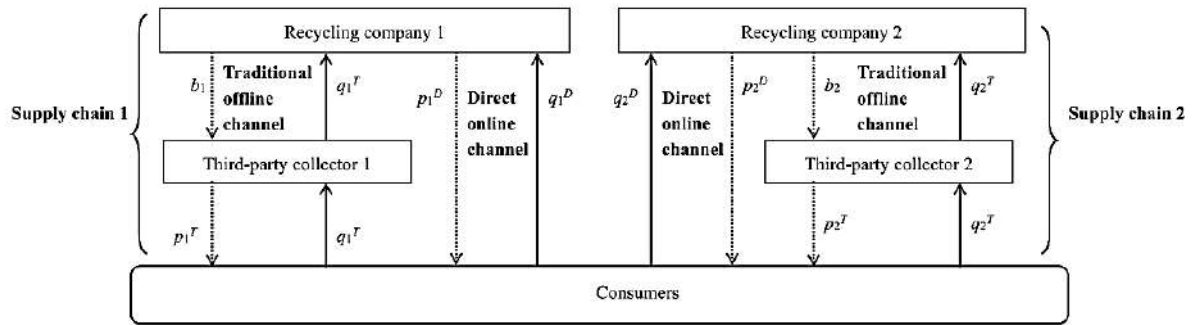
شبکه عرضه محصول نهایی: تولید کنندگان انواع محصولات، شبکه های تولیدی را برای خرید شمش آلومینیوم به عنوان بسته بندی محصولاتشان به کار می گیرند. همچنین، مناطق جغرافیایی مختلف نیز برای خرید محصولات تولید کنندگان متفاوت، از این شمش استفاده می کنند. مرکز جمع آوری و بازیافت می تواند فلزات بازیافتی را از منبع ساخت شمش آلومینیوم و مصرف کنندگان خریداری کند. فلزات بازیافتی خریداری شده شامل فلزات نامربوط نظیر: آهن، روی و ... است. که باید جداسازی شوند؛ به گونه ای که فقط آلومینیوم بازیافتی باقی بماند. (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۷) بعضی از فلزات بازیافتی، به دلیل عدم موافقت با استانداردهای بازیافت، قابلیت بازیافت ندارند و باید جداسازی شده و سپس به مرکز دفع فرستاده شوند. در آخرین مرحله، آلومینیوم بازیافتی که مناسب بازیافت است، جهت تولید شمش به کارخانه های شمش سازی ارسال می شود و به عنوان مواد اولیه استفاده می شود. از طرفی کارخانه های ورق سازی می تواند در صورت نیاز، مواد اولیه را از مراکز بازیافت نیاز خریداری کنند. در مرحله بعدی ورق آلومینیومی تولید شده به کارخانه های تولید شده به کارخانه های تولید ورق، مواد اولیه به کارخانه ورق سازی ارسال می شود. در صورت نیاز، کارخانه ورق سازی ممکن است مواد اولیه لازم را از کارخانه های ورق سازی آلومینیومی نیز تهیه کند. ورق تولید شده می تواند به عنوان ماده تولید شمش، به کارخانه های شمش سازی فرستاده شود و یا ممکن است؛ به خرده فروش ها فروخته شود و یا در کارخانه شمش سازی جهت استفاده

طراحی شبکه زنجیره تامین بازیافت آلومینیوم در شرایط عدم اطمینان در دوره‌های بعدی ذخیره شود. این چرخه ادامه می‌یابد تا زمانی که فلزات بازیافتی از طرف مصرف کنندگان به چرخه تولید بازگردد. که هر بخش ورق سازی و شمش سازی نیز خود بطور مجزا ضایعاتی را تولید می نمایند. که پژوهش حاضر برنامه ای جهت بهینه سازی هریک از فرایندهای تامین، خرید، تولید و توزیع بصورت چند لایه تک محصولی و چند دوره ای شبکه ای که ترکیبی از شبکه روبه جلو و معکوس است جهت حداکثرسازی سود ارائه می شود. (اصغری و همکاران ، ۲۰۲۲)

۳-۳- مدل سازی و دلایل انتخاب این روش

مدل سازی به منظور تجزیه و تحلیل و اتخاذ تصمیم های مناسب جهت بهبود عملکرد نظام، با استفاده از تعامل میان اجزاء سیستم و کارکرد آن در قالبی قابل درک، صورت می گیرد. به این منظور، پژوهش هایی انجام می شود ؛ که در آنها به مدل سازی شرایط و روند کار می پردازند. در واقع، مدل سازی ریاضی به زبان ریاضی تعامل میان اجزا و کارکرد مربوط به آن را بیان می کند. در پژوهش حاضر، با استفاده از مدل سازی ریاضی، جریان بهینه میان بخش های مختلف شبکه و بخش های خارجی مبتنی بر میزان تولید صورت گرفته در شبکه داخلی در هر دوره زمانی است. از طرفی متغیر هزینه که کلیه بخش های ، هزینه حمل ، هزینه خرید، هزینه نگهداری و هزینه کمبود، را مدنظر قرار می دهد. مدل ارائه شده به دنبال حداکثر سازی سود حاصل است. در صورتی که میزان تقاضا نسبت به ظرفیت تولید افزایش قابل توجهی یابد. مدل ارائه شده بدنبال برگزیدن مراکز بازیافتی جدیدی خواهد بود که این انتخاب متناسب با تابع هدف تعریف شده است. در قسمت اول پژوهش، فرضیات و پارامترها بررسی شده و در قسمت دوم، فرمول بندی مساله صورت گرفته است.

براساس مدل مقاله بیس که دو زنجیره معکوس و روبه جلوی موازی برای بازیافت هستند ؛ جهت کاهش هزینه بخش های مختلف نظیر: هزینه حمل ، هزینه خرید، هزینه نگهداری و هزینه کمبود را کاهش دهد و به طبع آن فرایند سود سازی افزایش داشته باشد دو مدل طی روش فازی غیرقطعی از دو زنجیره موازی به یک زنجیره تغییر خواهد کرد. به این صورت که:



شکل ۳-۱. مدل زنجیره تامین مقاله بیس (ماتسوئی^۱، ۲۰۲۳)

نقاط شروع (b) در قالب فرایند انتگرالی فازی به ورودی جدید تبدیل شده که به مراکز جدید تخصصی مبدل می گردد. و مدل جدید در قالب یک زنجیره معکوس بازیافتی تک محوره تبدیل می گردد.

$$\sum_{q=m+1}^q b_1 q_{1t} + \sum_{q=1}^q b_2 q_{2t} \rightarrow \int_{t_1}^{t_2} \sum_{q=m+1}^q b_1 q_{1t} + \sum_{q=1}^q b_2 q_{2t} \rightarrow$$

$$\begin{aligned}
 & \sum_{p=1}^P \sum_{c=m+1}^C \sum_{t=1}^T F_{rt} X_{rct} + \sum_{c=1}^m \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T F_{ct} X_{it} \\
 & - \left[\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \left(\sum_{j=1}^k C_{njt} W_{njt} + \sum_{f=1}^F C_{nft} W_{nft} \right) \right. \\
 & + \sum_{c=m+1}^C \sum_{t=1}^T \left(\sum_{j=1}^k C_{cjt} W_{cjt} + \sum_{f=1}^F C_{cft} W_{cft} \right) + \sum_{j=1}^k \sum_{t=1}^T C_{njt} \left(\sum_{n=1}^N W_{njt} \right. \\
 & + \sum_{c=m+1}^C W_{cjt} \left. \right) + \sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^T C_{ft} \left(\sum_{n=1}^N W_{nft} + \sum_{c=m+1}^C W_{cft} \right) \\
 & + \sum_{j=1}^K \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T D_{jd} T C_{fdt} Y_{jdt} + \sum_{f=1}^F \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T D_{fd} T C_{fdt} Y_{fdt} \\
 & + \sum_{j=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T D_{jp} T C_{jpt} X_{jpt} + \sum_{f=1}^F \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T D_{fp} T C_{fpt} X_{fpt} \\
 & + \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T C_{dt} \left(\sum_{j=1}^K Y_{jdt} + \sum_{f=1}^F Y_{fdt} \right) + \sum_{j=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T C_{jpt} X_{jpt} \\
 & + \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T C_{pt} \left(\sum_{j=1}^J X_{jpt} + \sum_{f=1}^F X_{fpt} + \sum_{c=1}^m V_{cpt} \right) + \sum_{c=1}^m \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T D_{cp} T C_{cpt} V_{cpt} \\
 & + \sum_{c=1}^m \sum_{t=1}^T h_{ct} I_{ct} + \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T L_{sit} S_{it} + \sum_{t=1}^T \left(\sum_{j=1}^K h_{jt} I_{jt} + \sum_{f=1}^F h_{ft} I_{ft} \right) \Big]
 \end{aligned}$$

۱-۳-۳- مفروضات مدل

- مدل به صورت تک محصولی است.
- افق برنامه‌ریزی چند دوره‌ای است.
- مکان‌های بازیافت، تولید و مشتری مشخص و ثابت است.
- امکان بازکردن تسهیل جدید برای بازیافت وجود دارد.
- تقاضای هر مشتری در هر دوره زمانی قطعی است.

طراحی شبکه زنجیره تامین بازیافت آلومینیوم در شرایط عدم اطمینان

- مقادیر هزینه مشخص است.
- حدود خرید از تسهیلات خارجی مشخص است.
- مساله به صورت تک هدف و با هدف بیشینه کردن سود در نظر گرفته می شود.
- محدودیت ظرفیت تولید و انبار وجود دارد.

۲-۳-۳- اندیس ها و پارامترها و متغیرها

$i = 1, \dots, I$	i مجموعه خرده فروش ها
$n = 1, \dots, I$	N مجموعه مصرف کننده ها
$j = 1, \dots, J$	J مجموعه مراکز جمع آوری بازیافت
$k = 1, \dots, k$	مرکز بازیافت جهت جمع آوری
$f = 1, \dots, F$	F مراکز منتخب جهت جمع آوری مواد بازیافتی
$p = 1, \dots, e$	P کارخانه ساخت ورق
$c = 1, \dots, C$	C کارخانه ساخت شمش
$d = 1, \dots, D$	D مرکز مخصوص دفع
$t = 1, \dots, T$	T دوره مورد بررسی

پارامترها

- C_{njt} : در هر دوره t هزینه خرید برای هر واحد از سمت مصرف کننده n در مرکز j
- C_{nft} : در هر دوره t هزینه خرید برای هر واحد از سمت مصرف کننده n توسط مرکز منتخب
- C_{cjt} : در هر دوره t هزینه خرید برای هر واحد شمش سازی c در مرکز بازیافت موجود j
- C_{cft} : در هر دوره t هزینه خرید توسط واحد بازیافتی از شمش سازی c
- C_{cpt} : در هر دوره t هزینه خرید هر واحد ورق آلومینیوم از شمش سازی c توسط ورق سازی p
- L_{sit} : هزینه کمبود هر واحد از تقاضای خرده فروش در دوره t
- E_1 : حداقل مقدار خرید آلومینیوم بازیافتی از هر شمش ساز خارجی در هر دوره
- M_1 : حداکثر مقدار خرید آلومینیوم بازیافتی از هر شمش ساز خارجی در هر دوره t

طراحی شبکه زنجیره تامین بازیافت آلومینیوم در شرایط عدم اطمینان

E_2 : در هر دوره میزان حداقل مقدار خرید آلومینیوم از هر مصرف کننده t

M_2 : حداکثر مقدار خرید آلومینیوم بازیافتی از هر مصرف کننده در هر دوره t

E_3 : حداقل مقدار خرید مواد اولیه بازیافتی از هر مرکز بازیافتی در هر دوره t

M_3 : در هر دوره حداکثر مقدار خرید مواد اولیه از هر بازیافتی n

E_4 : حداقل مقدار خرید ورق از هر مرکز بازیافتی در هر دوره t

M_4 : حداکثر مقدار خرید ورق از هر مرکز بازیافتی در هر دوره t

C_{jt} : در دوره t برای مرکز j هزینه بازیافت هر واحد

C_{ft} : هزینه بازیافت هر واحد محصول در مرکز بازیافت کاندید f در دوره t

D_{jt} : فاصله مرکز بازیافت موجود j در دوره t

TC_{jdt} : هزینه حمل و نقل هر واحد محصول از مرکز بازیافت موجود j به مرکز دفع d در دوره t

D_{fd} : فاصله مرکز بازیافت کاندید f تا مرکز دفع d

TC_{fdt} : هزینه حمل و نقل هر واحد محصول از مرکز بازیافت کاندید f به مرکز دفع d در دوره t

D_{jp} : فاصله مرکز بازیافت موجود j تا ورق سازی p

TC_{jpt} : هزینه حمل و نقل هر واحد محصول از مرکز بازیافت موجود j به مرکز ورق سازی p در دوره t

D_{fp} : فاصله مرکز بازیافت کاندید f تا ورق سازی p

TC_{fpt} : هزینه حمل و نقل هر واحد محصول از مرکز بازیافت کاندید f به مرکز ورق سازی p در دوره t

C_{dt} : هزینه دفع هر واحد زباله نامناسب در مرکز دفع d در دوره t

C_{pt} : هزینه تولید هر واحد ورق در ورق سازی p در دوره t

C_n : هزینه تولید هر واحد ورق در ورق سازی r در دوره t

D_{pc} : فاصله ورق سازی p تا شمش سازی c در دوره t

TC_{pct} : هزینه حمل و نقل هر واحد محصول از ورق سازی p به شمش سازی c در دوره t

C_{ct} : هزینه تولید هر واحد شمش در شمش سازی c در دوره t

D_{cp} : فاصله شمش سازی c تا ورق سازی p

TC_{cpt} : هزینه حمل و نقل هر واحد محصول از شمش سازی c به ورق سازی p در دوره t

Max_j : حداکثر ظرفیت تولید مرکز بازیافت موجود j

Max_j : حداکثر ظرفیت تولید مرکز بازیافت موجود j

Max_f : حداکثر ظرفیت تولید مرکز بازیافت کاندید f

طراحی شبکه زنجیره تامین بازیافت آلومینیوم در شرایط عدم اطمینان

Max_p : حداکثر ظرفیت تولید در ورق سازی p

Max_c : حداکثر ظرفیت تولید شمش سازی c

Max_d : حداکثر ظرفیت دفع در مرکز دفع d

Z: حداکثر تعداد مرکز بازیافت جدید مجاز

h_{jt} : هزینه نگهداری هر واحد محصول در مرکز بازیافت موجود j در دوره t

h_{ft} : هزینه نگهداری هر واحد محصول در مرکز بازیافت کاندید f در دوره t

h_{ct} : هزینه نگهداری هر واحد محصول در شمش سازی c در دوره t

q_j : حداکثر ظرفیت انبار ذخیره سازی در مرکز بازیافت موجود j

q_f : حداکثر ظرفیت انبار ذخیره سازی در مرکز بازیافت کاندید f

q_c : حداکثر ظرفیت انبار ذخیره سازی در شمش سازی c

β : نرخ آلومینیوم بازیافتی مرتبط موجود در فلزات بازیافتی جمع آوری شده

λ_1 : درصد فلز نامناسب موجود در فلزات بازیافتی جمع آوری شده از مصرف کنندگان

λ_2 : درصد فلز نامناسب موجود در فلزات بازیافتی جمع آوری شده از شمش سازی ها

α_1 : نرخ تولید شمش از ورق آلومینیوم

α_2 : نرخ تولید ورق از آلومینیوم بازیافتی

d_{it} : مقدار تقاضای شمش از سوی خرده فروش i در دوره t

F_{ct} : قیمت فروش هر واحد شمش توسط شمش سازی c در دوره t

F_{pt} : قیمت فروش هر واحد ورق توسط ورق سازی p در دوره t

متغیرها

W_{njt} : مقدار آلومینیوم بازیافتی خریداری شده از مصرف کننده n توسط مرکز بازیافت موجود j در دوره t

W_{nft} : مقدار آلومینیوم بازیافتی خریداری شده از مصرف کننده n توسط مرکز بازیافت کاندید f در دوره t

W_{cjt} : مقدار آلومینیوم بازیافتی خریداری شده از شمش سازی c توسط مرکز بازیافت موجود j در دوره t

W_{cft} : مقدار آلومینیوم بازیافتی خریداری شده از شمش سازی c توسط مرکز بازیافت کاندید f در دوره t

Y_{jdt} : مقدار فلز نامناسب منتقل شده از مرکز بازیافت موجود j به مرکز دفع d در دوره t

Y_{fdt} : مقدار فلز نامناسب منتقل شده از مرکز بازیافت کاندید f به مرکز دفع d در دوره t

X_{jpt} : مقدار مواد اولیه بازیافتی منتقل شده از مرکز بازیافت موجود j به ورق سازی P در دوره t

طراحی شبکه زنجیره تامین بازیافت آلومینیوم در شرایط عدم اطمینان

X_{fpt} : مقدار مواد اولیه بازیافتی منتقل شده از مرکز بازیافت کاندید f به ورق سازی P در دوره t

V_{cpt} : مقدار ضایعات آلومینیوم منتقل شده از مرکز شمش سازی c به ورق سازی P در دوره t

X_{pct} : مقدار ورق آلومینیوم منتقل شده از مرکز ورق سازی p به شمش سازی c در دوره t

X_{ct} : مقدار شمش تولید شده در مرکز شمش سازی c در دوره t

X_{it} : مقدار محصول نهایی عرضه شده به خرده فروش i در دوره t

I_{ct} : مقدار موجودی نگهداری شده در مرکز شمش سازی c در دوره t

I_{jt} : مقدار موجودی نگهداری شده در مرکز بازیافت موجود j در دوره t

I_{ft} : مقدار موجودی نگهداری شده در مرکز بازیافت کاندید f در دوره t

S_{it} : مقدار کمبود در تقاضای خرده فروش i در دوره t

$\emptyset_f$: متغیر صفر و یک؛ اگر مرکز بازیافت کاندید f باز شود ۱ و در غیر اینصورت ۰

π_{jt} : متغیر صفر و یک؛ اگر خرید از مرکز بازیافت j در دوره t باشد ۱ و در غیر اینصورت ۰

π_{ct} : متغیر صفر و یک؛ اگر خرید از شمش سازی C در دوره t باشد ۱ و در غیر اینصورت ۰

π_{pt} : متغیر صفر و یک؛ اگر خرید از ورق سازی P در دوره t باشد ۱ و در غیر اینصورت ۰

π_{nt} : متغیر صفر و یک؛ اگر خرید از مصرف کننده n در دوره t باشد ۱ و در غیر اینصورت ۰

۳-۳-۳- فرمول بندی

براساس ابعاد و متغیرها و محدودیت های تعریف شده، مدل ریاضی حاصل به صورت زیر می باشد که معادله (۱) تابع هدف مساله را نشان می دهد.

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z = & \sum_{p=1}^P \sum_{c=m+1}^C \sum_{t=1}^T F_{rt} X_{rct} + \sum_{c=1}^m \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T F_{ct} X_{it} \\
 & - \left[\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \left(\sum_{j=1}^k C_{njt} W_{njt} + \sum_{f=1}^F C_{nft} W_{nft} \right) \right. \\
 & + \sum_{c=m+1}^C \sum_{t=1}^T \left(\sum_{j=1}^k C_{cjt} W_{cjt} + \sum_{f=1}^F C_{cft} W_{cft} \right) + \sum_{j=1}^k \sum_{t=1}^T C_{njt} \left(\sum_{n=1}^N W_{njt} \right. \\
 & + \left. \sum_{c=m+1}^C W_{cjt} \right) + \sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^T C_{ft} \left(\sum_{n=1}^N W_{nft} + \sum_{c=m+1}^C W_{cft} \right) \\
 & + \sum_{j=1}^K \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T D_{jd} T C_{fdt} Y_{jdt} + \sum_{f=1}^F \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T D_{fd} T C_{fdt} Y_{fdt} \\
 & + \sum_{j=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T D_{jp} T C_{jpt} X_{jpt} + \sum_{f=1}^F \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T D_{fp} T C_{fpt} X_{fpt} \\
 & + \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T C_{dt} \left(\sum_{j=1}^K Y_{jdt} + \sum_{f=1}^F Y_{fdt} \right) + \sum_{j=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T C_{jpt} X_{jpt} \\
 & + \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T C_{pt} \left(\sum_{j=1}^J X_{jpt} + \sum_{f=1}^F X_{fpt} + \sum_{c=1}^m V_{cpt} \right) + \sum_{c=1}^m \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T D_{cp} T C_{cpt} V_{cpt} \\
 & + \left. \sum_{c=1}^m \sum_{t=1}^T h_{ct} I_{ct} + \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T L_{sit} S_{it} + \sum_{t=1}^T \left(\sum_{j=1}^K h_{jt} I_{jt} + \sum_{f=1}^F h_{ft} I_{ft} \right) \right] \quad (1)
 \end{aligned}$$

تابع هدف طوری تعریف می شود که سود کل شبکه بیشینه باشد. که به این منظور پس از کسر هزینه‌ها از درآمد سود حداکثر می گردد. که در این پژوهش درآمد از طریق فروش ورق و شمش آلومینیوم بدست می آید. که بخش های مختلف بصورت زیر است:

- هزینه عملیاتی : در این مدل، هزینه تولید شامل هزینه‌های مرتبط با نیروی انسانی، انرژی و سرمایه ثابت تسهیلات است. در حالی که هزینه بازیافت و دفع نیز به همین روش محاسبه می‌شود.
- هزینه حمل و نقل : اگر محصول بین دو تسهیل جریانی منتقل شود، هزینه حمل و نقل بر روی آن اعمال خواهد شد.
- هزینه خرید: این هزینه برای خرید محصول و انتقال آن به مکان مورد نظر پرداخت می‌شود.
- هزینه نگهداری موجودی: اگر تولید در یک دوره بیشتر از تقاضا باشد، محصول مازاد باید در انبار

طراحی شبکه زنجیره تامین بازیافت آلومینیوم در شرایط عدم اطمینان

نگهداری شود و هزینه نگهداری آن در همان دوره محاسبه خواهد شد.

- هزینه کمبود موجودی: اگر تولید در یک دوره کمتر از تقاضا باشد، برای میزان کسری تقاضا کمبود اتفاق می افتد و هزینه این کمبود به عنوان فروش از دست رفته محاسبه خواهد شد.

۴-۳-۳- محدودیت

محدودیت جریان

$$\sum_{p=1}^P X_{pct} = \sum_{p=1}^P V_{cpt} + X_{ct} \quad \forall t, c \quad (2)$$

$$\alpha_1 \sum_{p=1}^P X_{pct} = X_{ct} \quad \forall t, c \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{Jpt} + \sum_{f=1}^F X_{fpt} = \sum_{c=1}^m V_{cpt} + \sum_{p=1}^P X_{pct} \quad \forall t, p \quad (4)$$

$$I_{ft} - I_{f(t-1)} = \left(\sum_{n=1}^N W_{nft} + \sum_{c=m+1}^C W_{cft} \right) \times \beta - \left(\sum_{d=1}^D Y_{fdt} + \sum_{p=1}^P X_{fpt} \right) \quad \forall t, f \quad (5)$$

$$I_{f0} = 0 \quad \forall f \quad (6)$$

$$I_{jt} - I_{j(t-1)} = \left(\sum_{n=1}^N W_{njt} + \sum_{c=m+1}^C W_{cjt} \right) \times \beta - \left(\sum_{d=1}^D Y_{jdt} + \sum_{p=1}^P X_{jpt} \right) \quad \forall t, j \quad (7)$$

$$I_{j0} = 0 \quad \forall j \quad (8)$$

$$\sum_{d=1}^D Y_{jdt} = \lambda_1 \sum_{n=1}^N W_{njt} + \lambda_2 \sum_{c=m+1}^C W_{cjt} \quad (9)$$

محدودیت های (۲) و (۴) و (۹) به ترتیب محدودیت مربوط به متعادل سازی جریان در شمش سازی ، ورق سازی و مرکز دفع است. با استفاده از این محدودیت ها راحت ترین مسیر ارتباطی میان جزیان ورودی و خروجی را نشان می دهد. محدودیت (۳) نرخ تولید شمش از ورق را نشان می دهد. محدودیت های (۵) و

طراحی شبکه زنجیره تامین بازیافت آلومینیوم در شرایط عدم اطمینان

(۶) و (۷) و (۸) به ترتیب مربوط به محدودیت‌های تعادل جریان برای مرکز بازیافت قابل دسترس و جدید هستند. در اینجا، فلزات بازیافتی نامناسب بخش بازیافت‌پذیر را از بین فلزات بازیافتی موجود، خریداری شده از مصرف‌کنندگان و شمش‌سازها جدا می‌شوند و به مراکز بازیافت فلزات دیگر منتقل می‌شوند. مقادیر غیرقابل بازیافت هم به مرکز دفع ارسال می‌شوند.

محدودیت برآورد تقاضا

$$\sum_{c=1}^m (X_{ct} + I_{c(t-1)} - I_{ct}) = \sum_{i=1}^I d_{it} - S_{it} \quad \forall t \quad (10)$$

$$I_{c0} = 0 \quad \forall c \quad (11)$$

محدودیت (۱۱) تقاضا را به تعادل می‌رساند بعبارت بهتر؛ جریان ورودی از منظر تقاضا با یکدیگر برابر بوده و مقدار محصول تولیدی می‌باید با موجودی ذخیره شده جمع گردد. زمانی که تولید از میزان تقاضا بیشتر شود، میزان مازاد تولید برای دوره‌های بعدی ذخیره می‌شود و در صورتی که عکس این موضوع رخ دهد، کمبود خود را بصورت فروش از دست رفته نشان می‌دهد.

محدودیت ظرفیت

$$\sum_{n=1}^N W_{njt} + \sum_{c=m+1}^C W_{cjt} \leq Max_j \quad \forall j, t \quad (12)$$

$$\sum_{n=1}^N W_{nft} + \sum_{c=m+1}^C W_{cft} \leq Min_f \times \phi_f \quad \forall t, f \quad (13)$$

$$\sum_{n=1}^N W_{nft} + \sum_{c=m+1}^C W_{cft} \leq Max_f \times \phi_f \quad \forall t, f \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{jpt} + \sum_{f=1}^F X_{fpt} + \sum_{c=1}^m V_{cpt} \leq Max_p \quad \forall t, p \quad (15)$$

$$\sum_{p=1}^P X_{pct} \leq Max_p \quad \forall t, p \quad (16)$$

$$\sum_{j=1}^K Y_{jdt} + \sum_{f=1}^F X_{fdt} \leq Max_d \quad \forall t, d \quad (17)$$

$$I_{ct} \leq q_c \quad \forall c, t$$

$$I_{jt} \leq q_j \quad \forall j, t$$

$$I_{ft} \leq q_f \quad \forall f, t$$

(۱۸)

(۱۹)

(۲۰) شبکه زنجیره تامین بازیافت آلومینیوم در شرایط عدم اطمینان

محدودیت‌های (۱۲) و (۱۵) و (۱۶) به ترتیب مربوط به حداکثر ظرفیت تولید در سه مرکز بازیافت و ورق سازی و شمش سازی می باشد. محدودیت (۱۷) نیز مربوط به حداکثر ظرفیت مرکز دفع است. محدودیت‌های (۱۳) و (۱۴) به حداقل و حداکثر ظرفیت مرکز بازیافت جدید منتخب اشاره دارد. که کجودیت‌های (۱۸) و (۱۹) و (۲۰) برای محدودیت ذخیره سازی و حداکثر ظرفیت انبار برای محصول نهایی استفاده می گردد.

محدودیت تعداد تسهیل جدید

$$\sum_f \phi_f \leq Z \quad (21)$$

براساس محدودیت (۲۱) در صورتی که مراکز بازیافت جدیدی احداث شود حداکثر یک مرکز قدیمی باز خواهد بود.

محدودیت خرید

$$\sum_{f=1}^F W_{cft} + \sum_{j=1}^K W_{cjt} \geq E_1 \pi_{ct} \quad \forall t, c \quad (22)$$

$$\sum_{f=1}^F W_{cft} + \sum_{j=1}^K W_{cjt} \geq M_1 \pi_{ct} \quad \forall t, c \quad (23)$$

$$\sum_{f=1}^F W_{nft} + \sum_{j=1}^K W_{njt} \geq E_2 \pi_{nt} \quad \forall t, n \quad (24)$$

$$\sum_{f=1}^F W_{nft} + \sum_{j=1}^K W_{njt} \geq M_2 \pi_{nt} \quad \forall t, n \quad (25)$$

$$\sum_{p=1}^P X_{jpt} \geq E_3 \pi_{jt} \quad \forall t, j \quad (26)$$

$$\sum_{p=1}^P X_{jpt} \geq M_3 \pi_{jt} \quad \forall t, j \quad (27)$$

$$\sum_{p=1}^P X_{pct} \geq E_4 \pi_{pt} \quad \forall t, p \quad (28)$$

$$\sum_{p=1}^P X_{pct} \geq M_4 \pi_{pt} \quad \forall t, p \quad (29)$$

محدودیت‌های (۲۲) تا (۲۹) به ترتیب به تسهیل لازم برای شمش سازی ، مصرف کنندگان ، مرکز بازیافت

طراحی شبکه زنجیره تامین بازیافت آلومینیوم در شرایط عدم اطمینان و ورق سازی اشاره دارد. و میزان این تسهیلات نباید از حداکثر ظرفیت برای هر مرکز بیشتر شود.

محدودیت نوع متغیر

$$W_{njt}, W_{nft}, W_{cjt}, W_{cft}, Y_{jdt}, Y_{fdt}X_{jpt}, X_{fpt}, V_{cpt} \quad \forall t, n, i, f, d, p, r, c$$

$$\emptyset_f, \pi_{jt}, \pi_{ct}, \pi_{pt}, \pi_{nt} \in \{0, 1\}$$
(30)

محدودیت (۳۰) نوع متغیرها را بیان کرده و نشان میدهد ، کدام متغیر صفر و یک و غیرمنفی است.

۳-۳-۵- مدل سازی غیر قطعی

در واقعیت، به دلیل تأثیر عوامل مختلف بر روی مقادیر پارامترها، برخی از پارامترها دارای مقادیر نامشخص و غیرقطعی هستند. برای مواجهه با شرایط عدم قطعیت، از روش برنامه ریزی استوار با هدف یافتن جواب بهینه که در آن برای همه سناریوها جوابی نزدیک به بهینه وجود داشته باشد، استفاده می شود. (فرخزاد و همکاران ، ۱۳۹۸)

۳-۳-۶- رویکرد بهینه سازی استوار

در شکل بهینه سازی استوار مبتنی بر عدم قطعیت، در اوایل دهه ۱۹۷۰ پیشنهاد شد و امروزه به طور گسترده مورد مطالعه و توسعه قرار گرفته است. در این شکل از بهینه سازی تمایل برای دستیابی به یک پاسخ زیر بهینه مبتنی بر ارزش اسمی داده ها وجود دارد تا در صورت تغییر داده ها، جواب موجود نیز موجه و بهینه باقی بماند. به طور کلی، دو دلیل برای استفاده از مدل بهینه سازی استوار وجود دارد. ؛ عبارتند از:

۱. نسبت به رویکرد احتمالی، بهینه سازی استوار در حل مدل ساده تر است.
۲. ایجاد رویکردی واضح از توزیع احتمالی داده ها در شکل عدم قطعیت که می تواند با استفاده از داده های تاریخی و تجربیات تصمیم گیرنده، برای استنتاج بازه های دارای عدم قطعیت استفاده کرد. در شبکه ای که در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته است، تقاضا که پارامتری غیرقطعی است از سناریوهای متفاوتی شکل

طراحی شبکه زنجیره تامین بازیافت آلومینیوم در شرایط عدم اطمینان

گرفته است. در پژوهش حاضر، براساس شکل گسسته داده ها و سناریوهای تعریف شده، یک مدل بهینه سازی استوار ارائه می گردد. (رجبی کفشگر و همکاران، ۲۰۲۳)

دو مفهوم استواری مدل و استواری راه حل در حوزه بهینه سازی ریاضی مطرح شده اند. در استواری راه حل، هدف این است که راه حل بهینه برای هر سناریو خاص نزدیک به بهینه باقی بماند؛ در حالی که در استواری مدل، هدف این است که راه حل تقریباً موجه و قابل قبول برای هر سناریو باشد. در هر دو حالت، می توان با تعیین تابع جریمه، غیرموجه بودن مدل را مشخص کرد. در مدل بهینه سازی استوار، هدف این است که تابع جریمه برای هر دو حالت استواری حل و استواری مدل مقدار مناسبی داشته باشد؛ به طوری که بهینه گری نزدیک به بهینه مجاورتی باشد و راه حل تقریباً موجه باشد. (وانگ و همکاران، ۲۰۲۳)

مدل مالوی و همکاران، محدودیت ها به دو دسته محدودیت های ساختاری و کنترلی تقسیم می شوند. محدودیت های ساختاری بدون هیچگونه اختلال و با پارامترهای غیرقطعی قابل نوشتن به صورت مدل برنامه ریزی خطی، عدد صحیح و یا مختلط هستند. اما محدودیت های کنترلی با اختلال روبرو می شوند. بنابراین، در چارچوب مدل مالوی، دو نوع متغیر شامل متغیرهای کنترل و متغیرهای طراحی در نظر گرفته می شوند. متغیرهای طراحی قبل از درک پارامترهای احتمالی مشخص شده و با مقادیر ثابتی در ازای سناریوهای مختلف تعیین می شوند. اما متغیرهای کنترل با توجه به سناریوهای مختلف، دارای مقادیر متفاوت هستند و به ازای هر سناریو تعدیل و تنظیم می شوند. در مدل بهینه سازی استوار ارائه شده توسط مالوی و همکاران، با فرمول بندی زیر، بهینه سازی صورت می گیرد.

$$\begin{aligned} \text{Min } C^T x + d^T y \\ \text{s.t: } Ax = b \end{aligned} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} Bx + Cy = e \\ x, y \geq 0 \end{aligned}$$

متغیرهای طراحی با بردار x و متغیرهای کنترل با بردار y نشان داده می شوند. فرض می شود؛ مساله شامل یک مجموعه سناریو $S = 1 \dots \Omega$ با احتمال رخداد P_s برای هر سناریو است؛ به طوریکه $\sum P_s = 1$ ضرایب عدم قطعیت به شکل B_s ، C_s و e_s برای هر سناریو $S \in \Omega$ اختصاص می یابد.

همچنین، به دلیل اینکه متغیر کنترل y برای هر سناریو تعدیل می شود، می توان آن را با نام y_S نشان داد. در صورت عدم قطعیت برخی پارامترها، ممکن است که مدل برای بعضی از سناریوها غیرموجه شود؛ به همین دلیل، مدل در محدودیت های کنترلی و با توجه به هر سناریو s ، اندازه گیری می شود. اگر مدل قابل قبول باشد، پارامتر δ_S برابر صفر خواهد بود و در غیر این صورت، مقداری مثبت خواهد داشت. مدل مالوی

طراحی شبکه زنجیره تامین بازیافت آلومینیوم در شرایط عدم اطمینان
عبارتند از:

$$\text{Min } \sigma(x, y_1, y_2, \dots, y_s) + \omega \rho(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_s)$$

s.t:

(۳۲)

$$\begin{aligned} B_s x + C_s y + \delta_s &= e_s & \forall s \in \Omega \\ x, y_s, \delta_s &\geq 0 & \forall s \in \Omega \end{aligned}$$

در تابع مورد بررسی عبارت اول استواری را نشان می دهد و بخش دوم استواری مدل را نشان می دهد.
واریانس بالا عبارت ξ_s نشان می دهد که تصمیم از ریسک بالایی برخوردار است. بعبارت ساده تر هر تغییر کوچک در پارامترها یک تغییر بزرگ در ارزش تابع هدف ایجاد می کند... مالوی و همکارانش با استفاده از معادله (۳۳) استواری راه حل را نشان دادند و وزن λ را به واریانس اختصاص دادند. (مالکی نژاد و همکاران ۲۰۲۲،

$$\sigma(x, y_1, y_2, \dots, y_s) = \sum_{s \in \Omega} P_s \xi_s + \lambda \sum_{s \in \Omega} P_s \left(\xi_s - \sum_{s \in \Omega} P_s \xi_s \right)^2 \quad (۳۳)$$

در معادله (۳۳) یک عبارت درجه دو است که با دلیل تولید مقادیر درجه دو عملیات را پیچیده میکند.
پژوهش حاضر مدل طراحی شده مبتنی بر مدل بهینه سازی استوار مالوی است که با در نظر گرفتن تقاضای غیر قطعی سناریوهای طراحی شده را به بخش (۳-۲-۲) انتقال می دهد اما متغیرهای کنترلی برای هر سناریو تعدیل شده پارامترهای کمکی را مورد مورد مطالعه قرار می دهد.

پارامترها کمکی در مدل استوار

d_{it}^s : در سناریو s مقدار شمش مورد تقاضا در دوره t برای مشتری i

λ : وزن ریسک

ω : وزن خارج از حد تعیین شده

P_s : میزان احتمال بروز سناریو s

متغیرهای کنترلی در مدل استوار

X_{it}^s : در سناریو s در دوره t میزان محصول نهایی که تولید می گردد برای مشتری i

I_{ct}^s : موجودی شمش آلومینیوم در شمش سازی داخلی c در دوره t و تحت سناریو s

δ_{it}^s : در سناریو s مقدار جریمه ای که برای مشتری i بعلت خروج از حد در نظر گرفته می شود.

θ_s : متغیر خطی سازی تحت سناریو s

طراحی شبکه زنجیره تامین بازیافت آلومینیوم در شرایط عدم اطمینان

تابع هدف مدل بهینه سازی استوار به صورت معادلات (۳۴) و (۳۵) بازنویسی می شود.

$$\text{Max} \sum_s P_s RL^s - \lambda \sum_s P_s \left[\left(RL^s - \sum_{s \in S} P_s RL^s \right) + 2\theta_s \right] - \omega \sum_i \sum_t \sum_s P_s \delta_{it}^s \quad (34)$$

مقدار RL^s براساس معادله (۳۵) بدست می آید.

در معادله (۳۴) میانگین و واریانس برای کل سود مدنظر قرار گرفته است. که عبارت آخر محدودیت کنترلی (۳۶) را اندازه می گیرد.

$$\begin{aligned} RL^s = & \sum_{r=1}^R \sum_{c=m+1}^C \sum_{t=1}^T F_{rt} X_{rct} + \sum_c \sum_i \sum_t F_{ct} X_{it}^s - \left[\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \left(\sum_{j=1}^k C_{njt} W_{njt} + \sum_{f=1}^F C_{nft} W_{nft} \right) + \right. \\ & \sum_{c=m+1}^C \sum_{t=1}^T \left(\sum_{j=1}^k C_{cjt} W_{cjt} + \sum_{f=1}^F C_{cft} W_{cft} \right) + \sum_{j=1}^k \sum_{t=1}^T C_{jt} \left(\sum_{n=1}^N W_{njt} + \sum_{c=m+1}^C W_{cjt} \right) + \\ & \sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^T C_{ft} \left(\sum_{n=1}^N W_{nft} + \sum_{c=m+1}^C W_{cft} \right) + \sum_{j=1}^k \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T D_{jd} TC_{jdt} Y_{jdt} + \sum_{f=1}^F \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T D_{fd} TC_{fdt} Y_{fdt} + \\ & \sum_{j=1}^k \sum_{p=1}^e \sum_{t=1}^T D_{jp} TC_{jpt} X_{jpt} + \sum_{f=1}^F \sum_{p=1}^e \sum_{t=1}^T D_{fp} TC_{fpt} X_{fpt} + \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T C_{dt} \left(\sum_{j=1}^k Y_{jdt} + \sum_{f=1}^F Y_{fdt} \right) + \\ & \sum_{j=k+1}^J \sum_{p=1}^e \sum_{t=1}^T C_{jpt} X_{jpt} + \sum_{p=1}^e \sum_{t=1}^T C_{pt} \left(\sum_{j=1}^J X_{jpt} + \sum_{f=1}^F X_{fpt} + \sum_{r=1}^R V_{rpt} + \sum_{c=1}^m V_{cpt} \right) + \\ & \sum_{p=e+1}^P \sum_{r=1}^R \sum_{t=1}^T C_{prt} X_{prt} + \sum_{r=1}^R \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P X_{prt} C_{rt} + \sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^m \sum_{t=1}^T D_{rc} TC_{rct} X_{rct} + \sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^m \sum_{t=1}^T C_{ct} X_{rct} + \\ & \left. \sum_{c=1}^m \sum_{p=1}^e \sum_{t=1}^T D_{cp} TC_{cpt} V_{cpt} + \sum_{c=1}^m \sum_{t=1}^T h_{ct} I_{ct}^s + \sum_{t=1}^T \left(\sum_{j=1}^k h_{jt} I_{jt} + \sum_{j=1}^k h_{ft} I_{ft} \right) \right] \end{aligned} \quad (35)$$

محدودیت های برآورد تقاضای (۱۰) و (۱۱) با معادلات (۳۷) و (۳۸) جایگزین می شوند.

$$\sum_{c=1}^m (X_{ct} + I_{c(t-1)}^s - I_{ct}^s) = \sum_{i=1}^I (d_{it}^s - \delta_{it}^s) \quad \forall t, s \quad (36)$$

$$I_{c0}^s = 0 \quad \forall c, s \quad (37)$$

بر اساس معادلات تقاضا با مقدار عرضه (X_{it}^s) می تواند برآورد گردد. که مقدار عرضه در هر دوره برای هر سناریو با مقادیر چپ و راست معادله (۳۷) برابر است.

فصل ۴:

نتایج و تفسیر آنها

۱-۴- مقدمه

بازیافت، موضوعی مهم و مورد توجه بسیاری از علاقه‌مندان در عرصه محیط زیست و اقتصاد است. با این حال، در هر دو حوزه، جنبه اقتصادی بازیافت اهمیت بیشتری دارد. هزینه مدیریت پسماند و ایجاد بازاری مناسب برای محصولات بازیافتی و هزینه اجرای برنامه بازیافت، عواملی هستند؛ که به شدت بر اقتصاد بازیافت آلومینیوم تأثیرگذار هستند.

آلومینیوم بازیافتی به عنوان ماده اولیه دست دوم، در صنعت آلومینیوم سازی به عنوان مصرف کننده اصلی برای تولید ورق و شمش آلومینیوم به کار می‌رود. بازیافت آلومینیوم در گذشته به صورت سنتی و با استفاده محدودی انجام می‌شده و برخلاف مفهوم کنونی، از فرآیندهای شیمیایی و پردازش کارخانه‌ای استفاده نمی‌کرد. در آن زمان، فلزات دورریز جمع‌آوری شده از قوطی‌ها و بسته‌بندی‌های فلزی، برای تولید ورق‌های فلزی با ضخامت متفاوت مورد استفاده قرار می‌گرفت. اما در حال حاضر، بازیافت آلومینیوم با استفاده از فرآیندهای شیمیایی و پردازش کارخانه‌ای انجام می‌شود و می‌تواند به عنوان منبعی ارزان قیمت و در دسترس برای تولید محصولات فلزی استفاده شود. سهولت استفاده از ورق‌های آلومینیوم، نوردسازی و شکل دهی مجدد به آنها همواره سبب روی آوردن به این فعالیت شده است. بازیافت آلومینیوم در ایران از قدمت قابل توجهی برخوردار است. فصل پیشین بر روی مدلسازی متمرکز بود که در فصل حاضر نتایج حاصل از مدل در قالب زنجیره شبکه واقعی مورد آزمون و بررسی قرار گرفته تا میزان کارآمدی مدل براساس شبکه واقعی بازیافت آلومینیوم در حلقه بسته مورد بحث و بررسی قرار گیرد. که در انتهای فصل نیز به بیان نتایج و بحث و بررسی آنها پرداخته خواهد شد.

۲-۴- متغیرهای مورد استفاده در مدل

در این قسمت، به توضیح پارامترهای مدل پرداخته می‌شود؛ که در این پارامترها، واحد هزینه به ریال، واحد محصول به تن و واحد مسافت به کیلومتر استفاده شده است. با توجه به اینکه هزینه حمل و نقل بر اساس وزن و هزینه تولید بر اساس طول محصول محاسبه می‌شود، به منظور یکپارچگی پارامترها، تمامی واحدها به وزن (تن) تبدیل شدند. که جهت مدلسازی از نرم افزار لینگو استفاده شده است.

۱-۲-۴- هزینه ها

• هزینه خرید

جدول (۱-۴) هزینه خرید فلزات بازیافتی دور ریز از مصرف کنندگان و شمش سازان توسط مراکز بازیافت موجود و کاندید نشان میدهد. هزینه خرید مواد اولیه بازیافتی از مراکز بازیافت ۴۰۰۰۰۰۰۰ و ۵۳۰۰۰۰۰۰ و هزینه خرید ورق از ورق سازی ها ۷۵۰۰۰۰۰۰ و ۸۵۰۰۰۰۰۰۰ ریال به ازاء هر تن است.

جدول (۱-۴). هزینه خرید فلزات بازیافتی از مصرف کنندگان و شمش سازان ($\times 10^4$)

تسهیل		مصرف کننده								شمش سازان	
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۱	۲	
مرکز بازیافت موجود		۳۲۰	۳۵۰	۳۲۰	۳۴۰	۳۱۵	۳۶۵	۳۳۰	۳۹۰	۴۲۰	
مرکز بازیافت کاندید	۱	۳۷۵	۳۵۰	۳۳۰	۳۲۵	۳۲۰	۴۵۰	۳۴۰	۴۱۰	۴۳۰	
	۲	۳۳۰	۳۶۰	۳۰۰	۳۱۰	۳۲۰	۴۳۵	۳۴۷	۴۵۰	۴۰۰	
	۳	۴۱۰	۳۴۰	۳۰۰	۳۱۶	۳۳۲	۴۲۵	۳۴۰	۴۰۰	۴۲۰	

• هزینه عملیاتی

هزینه عملیات بازیافت بر روی هر تن آلومینیوم بازیافتی در مرکز بازیافت موجود ۱۲۰۰۰۰۰۰ و در مراکز بازیافت کاندید به ترتیب ۱۴۰۰۰۰۰۰ و ۱۴۰۰۰۰۰۰ و ۱۳۰۰۰۰۰۰ ریال است. هزینه دفع هر تن مواد نامناسب برای بازیافت ۲۰۰۰۰ و هزینه عملیات تولید در ورق سازی و شمش سازی به ترتیب ۱۳۰۰۰۰۰ و ۱۶۰۰۰۰۰ ریال برای هر تن است.

• هزینه جابه جایی

میزان هزینه جابه جایی محصولات به ازای هر تن در یک کیلومتر برابر ۳۰۰۰۰۰۰ ریال.

• هزینه موجودی نگهداری شده

هر تن ماده خام به ازای هر تن دارای هزینه نگهداری ۳۳۳۰۰۰۰ و هزینه نگهداری هر تن شمش در کارخانه شمش سازی ۹۰۰۰۰۰۰ رسال است.

• هزینه کمبود

در این مساله هزینه کمبود همان فروش انجام نشده است؛ که برابر با سودی است که به ازای فروش هر تن از محصول تولیدی بدست می آید. بنابراین به ازای هر تن کمبود ۳۰۰۰۰۰۰۰ ریال وجود دارد.

۲-۲-۴- ظرفیت

• محدودیت خرید

حداقل مقدار خرید از هریک از تسهیلات معادل ۱ تن است. جدول (۲-۴) حداکثر مقدار خرید مجاز از هر تسهیل را نشان می دهد.

جدول (۲-۴). حداکثر مقدار خرید مواد اولیه از هر تسهیل

تسهیل	سقف خرید
شمش سازی	۱
	۲۰
مصرف کننده	۲
	۲۵
	۱
	۳۰
	۲
	۲۷
	۳
	۱۵
مرکز بازیافت	۴
	۳۰
	۵
	۲۰
	۲۲
ورق سازی	۶
	۱۸
ورق سازی	۱
	۳۰
ورق سازی	۲
	۲۰
ورق سازی	۱
	۲۵

• محدودیت ظرفیت تولید

در جدول ۳-۴، میزان ظرفیتی که برای تولید در هر تسهیل وجود دارد بیان شده است. که کارگاه های مشابه دارای ظرفیت یکسان تولید می باشند. که در صورت ضرورت حداقل باید از نصف ظرفیت تولید استفاده شود.

جدول (۳-۴). حداکثر مقدار خرید مواد اولیه از هر تسهیل

تسهیل	سقف خرید
۱۵۰	مرکز بازیافت موجود
۱۰۰	مرکز بازیافت کاندید ۱
۸۰	مرکز بازیافت کاندید ۲
۱۰۰	مرکز بازیافت کاندید ۳
۱۳۰	ورق سازی
۲۵۰	شمش سازی
۵۰	مرکز دفع

• محدودیت ظرفیت انبار

زمانی که تولید از تقاضا بیشتر می شود ، مدل به نگه داری محصول در انبار می پردازد. حداکثر ظرفیت انبارداری در مرکز بازیافت وجود دارد که شامل کارخانه های ورق سازی و شمش سازی با نام های کاندید ۱، ۲ و ۳ است. ظرفیت هر یک از این کارخانه ها به ترتیب ۱۲۰، ۴۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ تن است.

• فاصله

فاصله مرکز بازیافت موجود و مراکز بازیافت ۱ و ۲ و ۳ از مراکز دفع ۳، ۱۰، ۲۰، ۱۵ کیلومتر و از کارخانه شمش سازی به ترتیب ۲۵، ۲۵، ۳۷ و ۳۰ کیلومتر است. کارخانه های مشابه در مجاورت هم قرار گرفتند و فاصله ای بین آنها وجود ندارد. همچنین می باید کارخانه ورق سازی در مجاورت کارخانه های شمش سازی قرار بگیرد. بنابراین فاصله ورق سازی از شمش سازی ۲۰ کیلومتر است.

• قیمت فروش

قیمت فروش برای هر تن ورق آلومینیوم ۲۲۰،۵۰۰،۰۰۰ ریال و هر تن شمش آلومینیوم ۳۴۰،۴۲۲،۰۰۰ ریال است.

• نرخ ها

از کل فلزات بازیافتی جمع‌آوری شده توسط مرکز بازیافت ۴۲٪ آنها مرتبط و از مشتقات آلومینیوم است. در میان فلزات جمع‌آوری شده از مصرف‌کنندگان ۱۷٪ و از شمش سازان ۳٪ نامناسب است. که به مرکز دفع منتقل می‌شود. نرخ تولید ورق از آلومینیوم بازیافتی ۹۷٪ و نرخ تولید شمش از ورق ۹۸,۷۸٪ است.

۳-۲-۴- تقاضا

در جدول (۴-۴) میزان تقاضایی که در هر دوره زمانی مشخص برای خرده فروشی وجود دارد نشان داده شده است.

۴-۲-۴- موجودی

موجودی اولیه در ابتدای دوره اول معادل ۲۰ تن است؛ که از دوره برنامه ریزی قبلی به دوره برنامه ریزی فعلی منتقل شده است.

جدول (۴-۴). مقادیر تقاضای هر خرده فروش در هر دوره

دوره ۶	دوره ۵	دوره ۴	دوره ۳	دوره ۲	دوره ۱		
۴,۱۵	۱۷	۱۹	۴,۱۱	۲۰	۲۳	۱	خرده فروش
۱۲	۱۹	۲۳	۱۱	۱۹	۲۹	۲	
۱۷	۱۳	۱۸	۱۷	۱۳	۲۳	۳	
۱۴	۱۹	۱۴	۱۴	۱۹	۱۹	۴	
۴,۱۹	۱۱	۲۱	۴,۱۹	۱۱	۲۱	۵	
۱۷	۵,۱۱	۵,۱۱	۱۷	۵,۱۱	۵,۲۱	۶	
۱۳	۱۶	۱۶	۱۳	۱۶	۱۶	۷	
۵,۱۶	۵,۱۸	۵,۲۱	۵,۱۰	۵,۱۸	۵,۲۸	۸	
۱۵	۱۹	۱۹	۱۵	۱۹	۱۹	۹	
۳,۱۴	۱۸	۱۴	۳,۱۴	۱۸	۱۸	۱۰	
۱۴	۱۳	۱۳	۱۴	۳,۱۳	۳,۱۳	۱۱	

۴,۱۷	۱۴	۲۰	۳,۱۷	۱۴	۳۰	۱۲	
------	----	----	------	----	----	----	--

۳-۴- تحلیل و بررسی نتایج

مدل ریاضی شبکه بازیافت آلومینیوم برای مطالعه موردی بیان شده در دو حالت قطعی و غیرقطعی بودن تقاضا به وسیله نرم افزار Ling۹ تحلیل و اشکال با استفاده از اکسل ترسیم می گردد. در این بخش به بیان نتایج حاصل پرداخته شده است.

۱-۳-۴- نتایج حاصل از حل مدل

در این بخش، نتایج حاصل از حل مدل قطعی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. جدول (۵-۴) جمع بندی تقاضا، تولید، موجودی، عرضه و کمبود در ۶ دوره برنامه ریزی را برای ۱۲ خرده فروش نشان می دهد. نتایج نشان می دهند که در دوره اول، برای تولید شمش از حداکثر ظرفیت تولید استفاده شده و محصول تولید شده در دوره قبل به همراه ۲۴ تن موجودی، به خرده فروشان عرضه کرده است. به دلیل اینکه مجموع تقاضا از ظرفیت تولید در دوره اول بیشتر بوده است، مدل با کمبود ۸,۲۹۳'۲۹۳ تن روبرو شده است. در دوره های بعدی، به دلیل کاهش مجموع تقاضا به زیر حداکثر ظرفیت تولید (۵,۲۱۱ تن)، مدل با کمبود روبرو نشده و به اندازه تقاضای موجود، تولید شمش آلومینیوم انجام داده است. همچنین، تولید در دوره های ۲ تا ۶، قادر به پاسخگویی به تقاضا در این دوره ها بوده و به همین دلیل، مدل به نگهداری موجودی برای استفاده در دوره های بعدی پرداخته نشده و مقادیر تقاضا و عرضه در این دوره ها برابر با یکدیگر بودند.

جدول (۵-۴). مقادیر بهینه تصمیمات شبکه مورد بررسی در حالت قطعی

دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳	دوره ۴	دوره ۵	دوره ۶	
۲۶۱,۳	۱۹۲,۳	۱۷۳,۸	۲۱۰	۱۸۹	۱۸۵	تقاضا
۲۱۱,۵	۱۹۲,۳	۱۷۳,۸	۲۱۰	۱۸۹	۱۸۵	تولید
۰	۰	۰	۰	۰	۰	موجودی
۲۹,۸	۰	۰	۰	۰	۰	کمبود
۲۳۱,۱	۱۹۲,۳	۱۷۳,۸	۲۱۰	۱۸۹	۱۸۵	عرضه

جدول (۴-۶) مرکز بازیافت در حال خرید فلزات بازیافتی از مصرف کنندگان و شمش سازان است. برای بهبود عملیات جمع‌آوری و بازیافت، مدل ریاضی پیشنهادی نیاز به تسهیل جدید دارد و مرکز بازیافت منتخب ۳ انتخاب شده است. هزینه خرید از مرکز بازیافت جدید برای مصرف کنندگان ۲، ۳ و ۴ کمتر است، بنابراین برنامه ریزی خرید بر اساس هزینه و حدود تعیین شده صورت گرفته و مرکز بازیافت جدید در نهایت آلومینیوم بازیافتی را خریداری می‌کند. در جدول (۴-۶)، حداکثر ظرفیت تعیین شده برای خرید تمام منابع در نظر گرفته شده است.

جدول (۴-۶). مقدار فلز بازیافتی خریداری شده توسط مراکز بازیافت

منبع	دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳	دوره ۴	دوره ۵	دوره ۶
مصرف کننده	۱	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
	۲	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	۲۷
	۳	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
	۴	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
	۵	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
	۶	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
	۷	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸
شمش ساز	۱	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
	۲	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵

مرکز بازیافت فلزات نامرتبط با آلومینیوم را از بین فلزات جدا کرده و مواد نامناسب را به مرکز دفع منتقل می‌کند. مقدار فلز نامناسب منتقل شده به مرکز دفع ۱۸،۹ و ۱۲،۴ تن است. سپس، مواد قابل بازیافت جمع‌آوری شده روی آلومینیوم وارد عملیات بازیافت می‌شوند و پس از بازیافت، مواد اولیه جهت تولید ورق آلومینیوم به کارخانه ورق سازی منتقل می‌شوند. همچنین، کارخانه شمش سازی نیز می‌تواند مواد اولیه تولید خود را از مرکز بازیافت تامین کند. در طول تولید، کارخانه ورق سازی و شمش سازی ضایعاتی دارند که به کارخانه بازیافت ارسال می‌شوند. جدول (۴-۷) مقدار مواد اولیه ارسال شده به هر کارخانه ورق سازی را نشان می‌دهد. به دلیل اینکه هر دو کارخانه ورق سازی در مجاورت یکدیگر با ظرفیت و هزینه تولید مشابه هستند، مقادیر ارسالی به هر یک از آنها فقط با توجه به ظرفیت صورت گرفته و به گونه‌ای است که از حداکثر ظرفیت تولید تجاوز نکند.

جدول (۷-۴). مقدار مواد اولیه منتقل شده به ورق سازی از منابع مختلف در حالت قطعی

منبع	کارخانه ورق سازی ۱						کارخانه ورق سازی ۲					
	دوره						دوره					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۱	۲	۳	۴	۵	۶
مرکز بازیافت موجود	۷۸,۳	۷۸,۳	۷۸,۳	۷۸,۳	۷۸,۳	۷۸,۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مرکز بازیافت کاندید	۰	۰	۲۷,۷	۰	۰	۰	۳۹,۶	۳۹,۶	۱۲,۹	۳۹,۶	۳۹,۶	۳۹,۶
شمش سازی ۱	۰	۳۰	۰	۰	۰	۰	۷,۸	۴,۵	۷,۸	۵,۶	۴,۳	۴
شمش سازی ۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵,۷	۷,۸	۳,۳	۷,۸	۷,۸	۷,۸

ورقی که توسط کارخانه ورق سازی تولید می شود؛ با توجه به به میزان تقاضا کارخانه شمش سازی تولید و باقی به برای سایر مصرف کنندگان ارسال می گردد.

در جدول (۸-۴) مقدار ورق ارسال شده به هر شمش سازی جهت تولید شمش نشان داده شده است.

جدول (۸-۴). مقدار ورق منتقل شده به کارخانه های شمش سازی در حالت قطعی

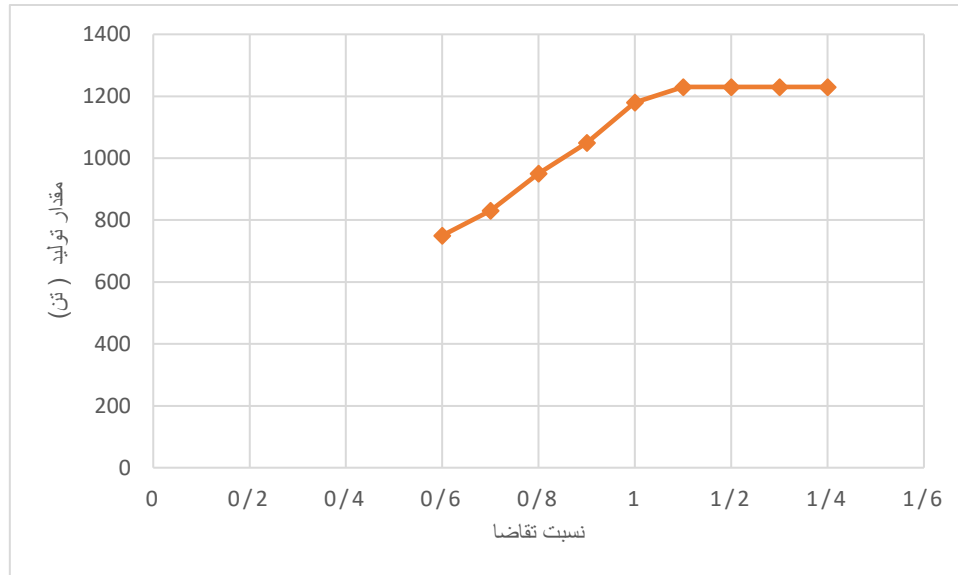
دوره		۱	۲	۳	۴	۵	۶
کارخانه شمش سازی	۱	۱۳۰	۷۴,۶	۱۳۰	۹۳,۴	۷۱,۱	۶۶,۸
	۲	۹۵	۱۳۰	۵۴,۹	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰

مقدار سود شبکه مورد مطالعه ۱۸۳۳۴۴۴۰۰۰۰۰۰ ریال در طول دوره برنامه ریزی برآورد شده است.

۴-۴- نتایج حساسیت

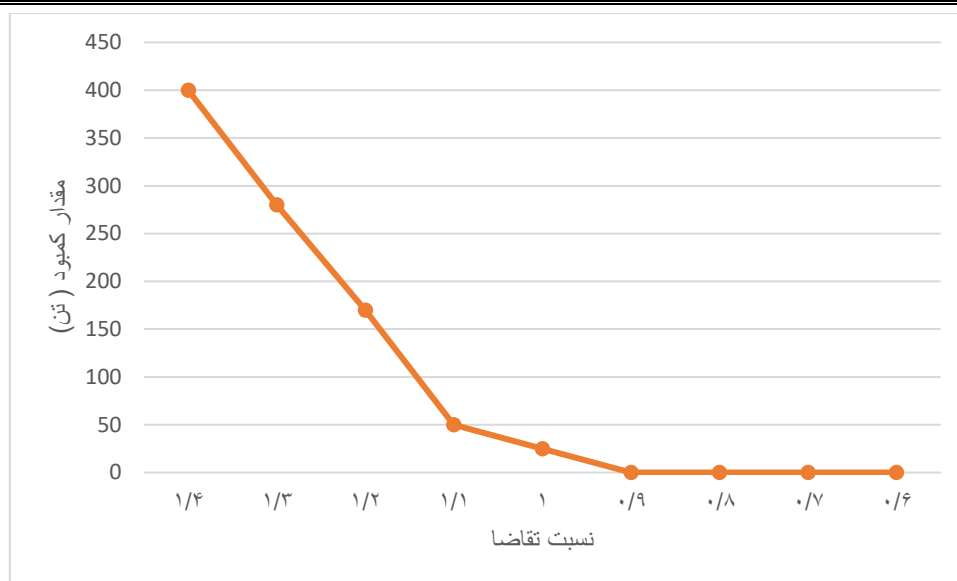
در این بخش تغییر تقاضا برای شمش از سمت خرده فروشان بر مقدار و سودآوری شبکه اثر مستقیم دارد. هر تحلیل که در بازه $\pm 40\%$ به تقاضای فعلی پرداخته شده و نتایج برای کل دوره برنامه ریزی اعلام شده است. شکل های ۱-۴ تأثیر تغییر در تقاضا بر مقادیر تولید را نشان می دهند؛ در این بخش مشاهده می شود که در بازه های که تقاضا 40% کمتر از نقطه فعلی است تا نقطه ای که تقاضا 10% بیشتر از این نقطه

است، افزایش تقاضا باعث افزایش تولید به صورت تقریباً یکنواخت می شود. اما پس از نقطه ۱,۱ برابر تقاضا به دلیل محدودیت ظرفیت تولید، تولید به ثابتی می رسد و با افزایش تقاضا تولید بی شتری انجام نمی شود. همچنین باید توجه داشت که محدودیت ظرفیت تولید منجر به ایجاد نوسانات قیمتی می شود.



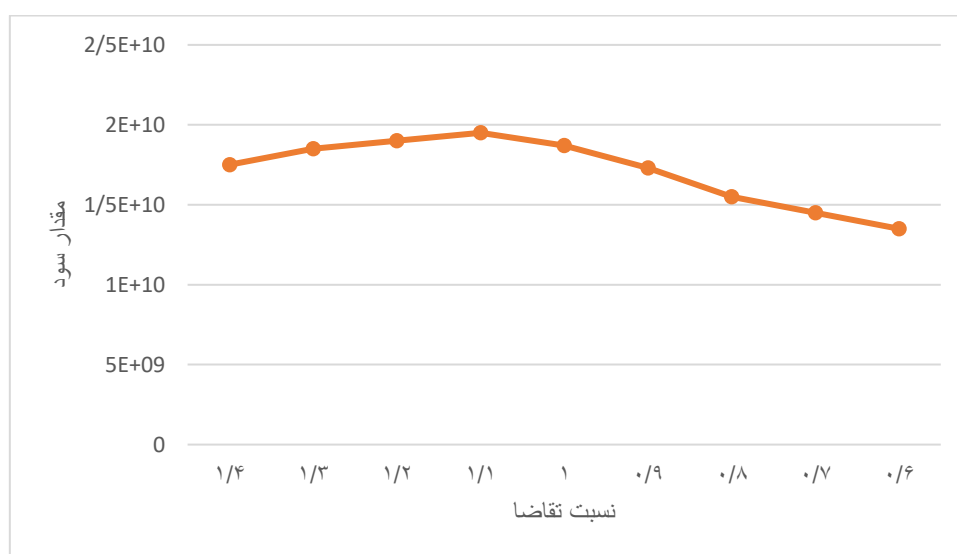
شکل (۴-۱). تاثیر تغییرات تقاضا بر تولید محصول

شکل (۴-۲) نشان می دهد که چگونه تغییر در میزان تقاضا بر مقدار کمبود (فروش از دست رفته) در طول دوره برنامه ریزی تأثیر می گذارد. در بازه ی ۴۰٪ تا ۱۰٪- برابر تقاضا، هیچ فروشی از دست نرفته است و به عبارت دیگر، تمامی تقاضاهای درخواست شده در طول دوره پاسخ داده شده اند. اما از این نقطه به بعد، تا نقطه ۱,۱ برابر تقاضا، شبکه مورد بررسی با کمبودی کم روبرو شده است. از نقطه ۱,۱ به بعد، کمبود به صورت چشمگیری افزایش می یابد. همانطور که در شکل (۴-۱) مشاهده می شود، مقدار تولید از نقطه ۱,۱ به بعد ثابت است؛ بنابراین تولید نمی تواند به افزایش تقاضای بیشتر پاسخ دهد و تقاضای اضافی می شود.



شکل (۲-۴). تاثیر تغییرات تقاضا بر کمبود

شکل (۳-۴) نشان می‌دهد که چگونه تغییرات در تقاضا بر سودآوری شبکه تأثیر می‌گذارد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، با افزایش تقاضا، مقدار تولید نیز افزایش می‌یابد و در نتیجه میزان سود شبکه بهبود می‌یابد. اما به دلیل کمبود منابع و عدم امکان افزایش تولید بیشتر، پس از نقطه ۱,۱ برابر تقاضا، سود شبکه ثابت خواهد شد. بنابراین برای به دست آوردن سود بیشتر، به جای افزایش تولید، باید روی بهبود کیفیت و کارایی تولیدات تمرکز کرد. همچنین، با توجه به رقابت شدید در بازار، بهبود استراتژی بازاریابی و ترویج فروش نیز می‌تواند به افزایش سود کمک کند. از طرفی، به دلیل اینکه مقدار تقاضای اضافی در این نقاط با کمبود می‌یابد.



شکل (۳-۴). تاثیر تغییرات تقاضا بر سودآوری شبکه

۱-۴-۴- نتایج حاصل از حل مدل بهینه سازی استوار

امروزه سازمان ها و صنایع در شرایط عدم قطعیت فعالیت می کنند. بنابراین شناسایی شرایط فعالیت در شکل عدم قطعیت اجباری است. جهت رفع عدم قطعیت از روش های گوناگونی استفاده می شود؛ که با توجه به ماهیت آن ها به کار گرفته می شوند. در پژوهش حاضر، تقاضا به صورت غیر قطعی و مبتنی بر سناریو در نظر گرفته شده است. بنابراین، با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضا، مدل برنامه ریزی پیشنهادی با رویکرد برنامه ریزی استوار مالوی حل شده است. در این رویکرد، سه سناریو بد، متوسط و خوب برای تقاضا در نظر گرفته شده و نتایج حاصل از حل مدل پیشنهادی برای هر یک از سناریوها در این بخش بیان شده است.

در جدول (۹-۴) می توان مقادیر بهینه تولید، موجودی، عرضه و کمبود را برای سناریوهای مختلف تقاضای شمش آلومینیوم در هر دوره مشاهده کرد. اگرچه معادله ۳۴ در فصل ۳ نشان می دهد که مقدار تولید وابسته به سناریو نیست، اما با توجه به جدول (۹-۴) مشخص است که مقدار تولید در هر دوره برای سناریوهای مختلف یکسان است. علاوه بر این، می توان با توجه به اطلاعات موجود در جدول، مقادیر بهینه موجودی، عرضه و کمبود را برای هر دوره محاسبه کرد. البته در صورت تغییر در تقاضا و یا هر شرایط دیگر، مقادیر بهینه ممکن است تغییر کنند و باید مجدداً محاسبه شوند. با توجه به معادله تعادلی ۳۴، مقدار عرضه شمش در هر دوره برابر است با مقدار تولید در همان دوره بعلاوه مقدار موجودی منتقل شده از دوره قبل به این دوره. در ابتدای دوره برنامه ریزی، موجودی اولیه ۲۰ تن تخمین زده می شود. در برنامه تولید بهینه پیشنهادی، سناریوهای مختلفی برای تقاضا ارائه شده است در صورتی که مقدار تولید از تقاضای هر سناریو در هر دوره بیشتر باشد، آنگاه موجودی نگهداری می شود و در صورتی که کمتر باشد، شبکه با کمبود مواجه می شود. به عنوان مثال، در سناریو اول تقاضای محصول نهایی از سومین دوره حدود ۱۵۶,۴ تن است، در حالی که تولید بهینه استوار پیشنهادی ۱۷۳,۸ تن است. لذا با توجه به اینکه تولید از تقاضا بیشتر است، در این سناریو موجودی نگهداری می شود. در واقع، مقدار موجودی نگهداری شده برابر است با اختلاف تولید و تقاضا در این دوره (۱۷,۴) بعلاوه موجودی شمش دوره قبلی که به دوره فعلی منتقل شده است (۱۹,۲). در نتیجه، در مجموع ۳۶,۶ تن شمش در این دوره و تحت سناریو بد نگهداری می شود. البته در صورت تغییر در تقاضا و یا هر شرایط دیگر، موجودی نگهداری شده ممکن است تغییر کند و باید مجدداً محاسبه شود. در این پژوهش که که بدنبال دست یابی به بهینه ترین پاسخ استوار در زنجیره حلقه بسته آلومینیوم است می باید؛ با توجه به کسر ضایعات حین تولید، حداکثر ظرفیت بازیافت آلومینیوم در این شبکه برابر با ۲۱۱,۵

تن است. همچنین با توجه به اینکه در دوره اول تقاضای سناریوهای مختلف از حداکثر ظرفیت تولید بیشتر است، باید از حداکثر ظرفیت تولید شمش متناسب با هر سناریو استفاده شود. بدین منظور، نیاز است تا با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی، مقادیر بهینه تولید و موجودی شمش را برای هر دوره و در هر سناریو محاسبه کرد. در صورت تغییر در تقاضا و یا هر شرایط دیگر، مقادیر بهینه ممکن است تغییر کنند و باید مجدداً محاسبه نمود. در پروسه تولید محصولات، به منظور استفاده در دوره‌های بعدی، می‌توان موجودی محصول نهایی را نگهداری کرد. این عمل باعث صرفه‌جویی در هزینه‌های تولید و زمان صرف شده برای تولید در دوره‌های بعدی خواهد شد. همچنین توجه به شرایط نگهداری مناسب برای موجودی محصول نهایی از اهمیت بالایی برخوردار است تا در دوره‌های بعدی نیز قابل استفاده باشد. لازم به ذکر است که در صورت عدم رعایت شرایط مناسب برای نگهداری، ممکن است کیفیت محصول نهایی کاهش یابد و منجر به مشکلاتی برای مصرف‌کنندگان شود. که کمبود موجودی را می‌توان در مدل ارائه شده، برای محصول نهایی در هر دوره نگهداری نمود؛ اما کمبود در هر دوره به صورت فروش از دست رفته بروز کرده و جبران نمی‌شود. بنابراین، مدل پیشنهادی کمبود را کاهش داده و موجودی ذخیره شده در انتهای دوره شش را به شکل موجودی اولیه به دور بعد منتقل می‌کند براساس جدول (۹-۴) هنگامی که سناریو بد یا متوسط بروز می‌کند؛ به جز دوره اول، در سایر دوره‌ها هیچ کمبودی وجود ندارد. از این رو می‌باید یک استراتژی جایگزین جهت رفع کمبود در زنجیره حلقه بسته تعریف نمود تا تسهیلات به تولید افزوده گردد. که در نتیجه شبکه مورد بررسی نیازمند ایجاد تسهیلی جدید جهت اجرای عملیات بازیافت است که از میان سه مرکز مورد بررسی جهت بازیافت مرکز شماره ۳ انتخاب می‌گردد. در شکل غیرقطعی، زنجیره شبکه حداکثر مقدار فلزات بازیافتی استفاده می‌کند و مقدار شمش خریداری شده به مرکز بازیافت منتخب منتقل شده و مقدار فلز غیر قابل مصرف برای دفع به مرکز دفع منتقل می‌گردد.

میزان مواد اولیه که از منابع مختلف به هر یک از ورق‌سازی‌ها منتقل می‌شود، در جمله‌ی بعدی توضیح داده شده است. طبق جدول (۶-۴)، مرکز بازیافت موجود در هر دوره ۱۳۰ تن فلزات بازیافتی را پردازش کرده و مرکز بازیافت جدید ۷۰ تن فلزات بازیافتی را خریداری می‌کند. پس از جداسازی فلزات نامرتب و نامناسب، مقادیر فوق به ترتیب به ۷۸,۳ و ۳۹,۶ تن کاهش می‌یابد. در نهایت، پس از انجام عملیات بازیافت، این مواد به عنوان مواد اولیه موردنیاز برای ساخت ورق آلومینیومی و شمش آلومینیومی به کارخانه‌های مربوطه ارسال می‌شوند. طبق جدول (۱۰-۴)، ۱۰ درصد از ضایعات حین تولید در کارخانه ورق‌سازی و ۶ درصد ضایعات حین تولید در کارخانه شمش‌سازی استفاده می‌شود. این ضایعات به منظور تولید ورق آلومینیومی به کار گرفته می‌شود.

جدول (۹-۴). مقادیر بهینه تصمیمات شبکه مورد بررسی در حالت غیر قطعی

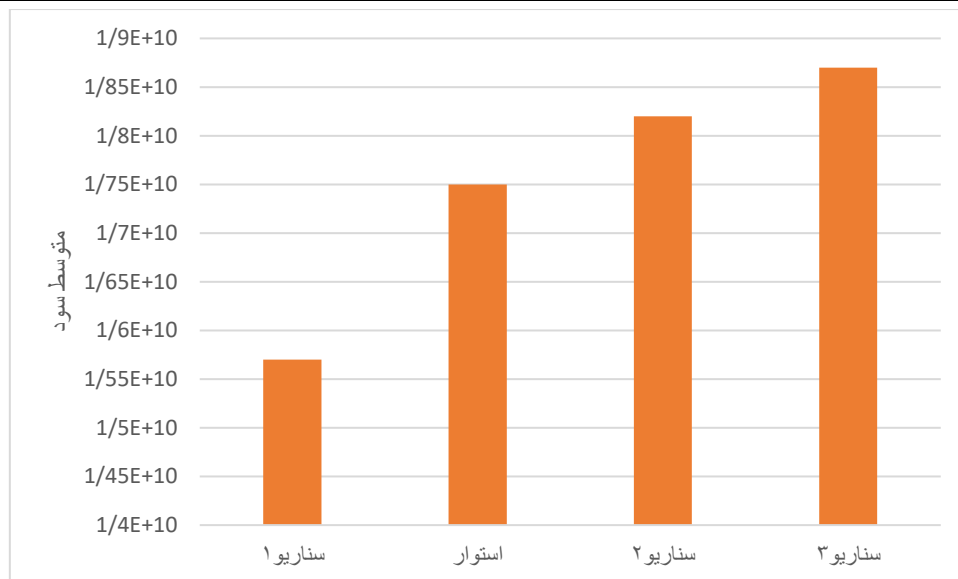
		تقاضا	تولید	موجودی	عرضه	کمبود
دوره ۱	سناریو	۱	۲۳۵,۲	۲۱۱,۵	۰	۳,۷
		۲	۲۶۱,۳	۲۱۱,۵	۰	۲۹,۸
		۳	۳۰۰,۵	۲۱۱,۵	۰	۶۹
دور	سناریو	۱	۱۷۳,۱	۱۹۲,۳	۱۹,۲	۰
		۲	۱۹۲,۳	۱۹۲,۳	۰	۰
		۳	۲۳۱,۱	۱۹۲,۳	۰	۲۸,۹
دوره ۳	سناریو	۱	۱۵۶,۴	۱۷۳,۸	۲۶,۶	۰
		۲	۱۷۳,۸	۱۷۳,۸	۰	۰
		۳	۱۹۹,۹	۱۷۳,۸	۰	۳۱,۵
دوره ۴	سناریو	۱	۱۸۹	۲۱۰	۵۷,۶	۰
		۲	۲۱۰	۲۱۰	۰	۰
		۳	۲۴۱,۵	۲۱۰	۰	۳۱,۵
دوره ۵	سناریو	۱	۱۷۰,۱	۱۸۹	۷۶,۵	۰
		۲	۱۸۹	۱۸۹	۰	۰
		۳	۲۱۷,۴	۱۸۹	۰	۲۸,۴
دوره ۶	سناریو	۱	۱۶۶,۵	۱۹۰	۱۰۰	۰
		۲	۱۸۵	۱۹۰	۵	۰
		۳	۲۱۲,۸	۱۹۰	۰	۲۲,۸

جدول (۱۰-۴). مقدار مواد اولیه منتقل شده به ورق سازی ها از منابع مختلف در حالت غیر قطعی

کارخانه ورق سازی ۲						کارخانه ورق سازی ۱						منبع
دوره						دوره						
۶	۵	۴	۳	۲	۱	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷۸,۳	۷۸,۳	۷۸,۳	۷۸,۳	۷۸,۳	۷۸,۳	مرکز بازیافت موجود
۳۹,۶	۳۹,۶	۳۹,۶	۱۲,۹	۳۹,۶	۳۹,۶	۰	۰	۰	۲۶,۷	۰	۰	مرکز بازیافت کاندید
۴	۴,۳	۶,۵	۷,۸	۴,۵	۷,۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	شمش سازی ۱

شمش سازی ۲	۰	۰	۰	۰	۰	۵,۷	۷,۸	۳,۳	۷,۸	۷,۸	۷,۸
------------	---	---	---	---	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----

مقدار تابع هدف مدل بهینه سازی استوار ۵۹۳۹۳۵۸۰۰ ریال است. شکل (۴-۴) مقدار متوسط سود را در صورت رخ داد هر یک از سناریوها به صورت مستقل با مدل بهینه سازی استوار مقایسه می کند. مشاهده می شود؛ که مقدار متوسط سود در سناریو ۳ با بیشترین مقدار تقاضا، از سایر سناریوها بیشتر است. از طرفی، به دلیل اینکه متوسط سود در مدل بهینه سازی استوار از مجموع متوسط سود هر سناریو ضرب در احتمال رخداد آن محاسبه می شود. بنابراین، مقدار متوسط سود در مدل بهینه سازی استوار تقریباً برابر است با میانگین سود کل سناریوها.



شکل (۴-۴). مقدار متوسط سود در مدل مبتنی بر سناریو در مقایسه با همتای استوار

برخی سناریوهای تقاضا، در مدل بهینه‌سازی استوار، باعث ایجاد پاسخ‌های نامعتبر می‌شوند که ممکن است برای حل مسئله ناکارآمد باشند. برای رفع این مشکل، لازم است که طراحان مدل، الگوریتم‌های مناسبی را برای پردازش این سناریوها در نظر بگیرند. مقدار ω در مدل وزن استوار خارج از محدوده در هر سناریو به عنوان جریمه به تابع هدف اضافه می‌شود. در این تحقیق، با استفاده از جدول (۴-۱۱)، مدل بهینه‌سازی استوار در شبکه حلقه بسته شمش پيشنهادهی برای مقادیر مختلف ω ، مورد ارزیابی قرار گرفته است. تاثیر این مقادیر بر روی میزان کمبود نیز مورد بررسی قرار گرفته و مشاهده شده است که در صورت استفاده از مقادیر بزرگ ω ، میزان کمبود کاهش می‌یابد و به مقدار ۲۳۹,۹۹ تن می‌رسد. این مقدار نشان دهنده کلیه کمبودهای موجود در طول افق برنامه‌ریزی در سناریوهای مختلف است.

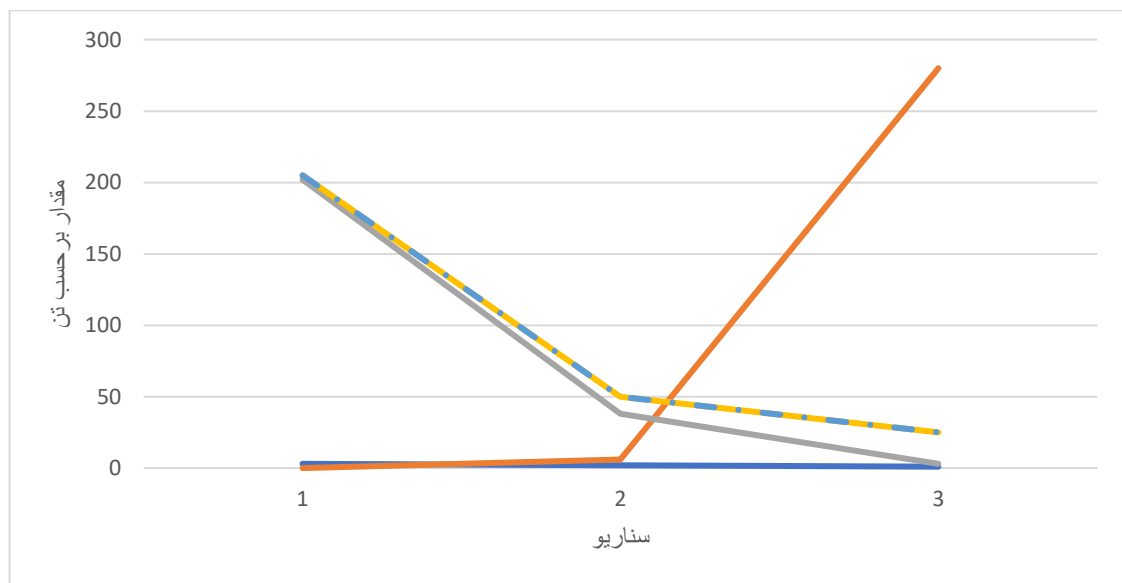
جدول (۴-۱۱) نشان می‌دهد که بهترین مقدار ω برای پژوهش حاضر، ۱۱۹۰۰۰۰۰ است. در این نقطه، مقدار کمترین کمبود و بیشترین سود را دارد و از بین نقاط مشابه، بهترین نتیجه را به دست می‌دهد. در بدترین حالت، تنها ۶,۴٪ از تقاضای شمش برآورده نمی‌شود. در مسئله مورد مطالعه، وزن غیرموجود معادل در نظر گرفته شده است و مقدار بهینه تابع هدف در این نقطه، ۱۱۹۰۰۰۰۰ می‌باشد. همچنین، مقدار بهینه تابع هدف در این نقطه برابر با ۵۹۳۹۳۵۸۰۰ ریال است.

جدول (۴-۱۱). تعامل بین وزن کمبود و ω

کمبود	ω
۲۴۴,۹۸	-۱۱۸۰۰۰۰۰
۲۳۹,۹۹	$\omega \geq 11900000$

۴-۵- مقایسه شبکه فعلی با شبکه پیشنهادی

شبکه فعلی در زنجیره تامین بازیافت آلومینیوم، شامل تسهیلات موجود است و همچنان احتمال افزایش تولید محصولات در آینده وجود دارد. اما با افزودن مرکز بازیافت جدید به این شبکه، می‌توان بهبود قابل توجهی در سطح پاسخگویی به نیازهای بازار داشت. مقایسه مقدار موجودی و کمبود بین دو شبکه، حاکی از این است که با افزایش تولید محصولات در زنجیره تامین بازیافت، کمبودهای موجود کاهش می‌یابد. بنابراین، اضافه کردن مرکز بازیافت جدید به شبکه فعلی، به علاوه بهره‌وری از تسهیلات موجود، می‌تواند تأثیر قابل توجهی در بهبود عملکرد و افزایش سودآوری داشته باشد.



شکل (۴-۵). بررسی شبکه پیشنهادی و در حال حاضر در حالت موجودی و کمبود

تغییرات و توسعه مدل مقاله بیس

بر اساس مدل طراحی شده و نتایج بدست آمده از مدل ارائه شده، مدل مقاله بیس مورد استفاده بر اساس زنجیره تامین بازیافتی معکوس طراحی شده است در دو سری زنجیره موازی بوده که هر کدام بطور جداگانه مدل‌سازی شده است و در انتها در قالب یک زنجیره تعریف شده است که در پژوهش حاضر شکل موازی و مجزا زنجیره تامین طراحی شده حذف شده و از ابتدا یک زنجیره در نظر گرفته شده است اما مکان جمع‌آوری فلزات و مواد بازیافت فلزی در نظر گرفته می‌شود و در هر مرحله زنجیره بازیافتی پیاده‌سازی شده و مجموع یک زنجیره تامین بزرگ تشکیل و ارائه می‌گردد.

فصل ۵:

جمع‌بندی و پیشنهادها

۱-۵- مقدمه

طراحی شبکه زنجیره تأمین در حوزه مدیریت و برنامه‌ریزی عملیات، با اهمیت بالایی همراه است. در سال‌های اخیر، محققان به بررسی چگونگی کاهش هزینه‌های پرمخاطب این شبکه تأمین پرداخته‌اند. با این وجود، طراحی شبکه‌ای که علاوه بر کاهش هزینه‌های عملیاتی و حمل‌ونقل، محصولات قابل بازیافت را نیز در خود جای دهد، پتانسیل بسیار بالایی برای بهبود وضعیت اقتصادی دارد. بنابراین، برای بهبود کارایی و افزایش سودآوری، لازم است به طراحی یک شبکه هوشمند و قابل بازیافت توجه بیشتری شود. در پژوهش حاضر سود حاصل از سیستم بازیافت آلومینیوم با در نظر گرفتن عدم اطمینان پرداخته شده است. در این راستا یک مدل بهینه‌سازی بازیافت آلومینیوم تحت شرایط عدم قطعیت برای سیستم ارائه شده است. در فصل حاضر پس از جمع‌بندی اجمالی به تحلیل و بررسی نتایج حاصل پرداخته و پیشنهادات مربوط به تحقیقات آتی در این حوزه هست ارائه می‌گردد.

۲-۵- جمع‌بندی

در پژوهش حاضر به بررسی مساله برنامه‌ریزی تولید، خرید و عرضه برای شبکه تأمین بازیافت آلومینیوم پرداخته شده است. در تحقیق حاضر شبکه‌ای یکپارچه مستقیم و معکوس چند لایه‌ای و چند دوره‌ای با ظرفیت‌های محدود شده مورد بررسی قرار گرفته شامل لایه‌های بازیافت، دفن، تولید و مشتری است. هدف اصلی بیشینه‌سازی سود کل شبکه در حالت‌های قطعی و غیرقطعی مبتنی بر مدل بهینه‌استوار و سناریوهای متعدد با توجه به محدودیتهای موجود شامل: محدودیت در خرید، ظرفیت تولید و انبار است. که در نتیجه این شبکه ارائه شده؛ درآمدی در بخش تولید ورق و شمش آلومینیومی بدست می‌آید. مدل ریاضی بیان شده که شکل غیرقطعی آن به وسیله پارامترهای کارخانه‌های بازیافت آلومینیوم در تهران بدست می‌آید.

۳-۵- پیشنهادات کاربردی

- خروجی حاصل از مدل ریاضی ارائه شده در جهت بهینه سازی خرید مواد اولیه برای تسهیلات خارجی و تولیدات در بخش تسهیلات داخلی و عرضه محصولات به خرده فروشان و در نهایت مصرف کنندگان نهایی در هر دوره مبتنی بر تقاضای حاصل از مصرف کنندگان و مشتریان جدید ایجاد در بازار است که نوعی نوآوری در این حوزه ایجاد می نماید زیرا روش های جدید در جهت پاسخگویی به این نیازها ایجاد می گردد.
- جهت پاسخگویی به محدودیتهای خرید و تولید و نگهداری موجودی با توجه به مقادیر بالای تقاضا می باید مدل ریاضی جدیدی ارائه گردد تا با افزایش ظرفیت بازیافت و تولید مواد اولیه، همزمان با بیشینه سازی سود حاصل از این فرایند به نیازهای جدید ایجاد شده را پاسخ دهد.
- میزان تقاضا به میزان ۱۰٪ درصد از میزان تقاضا فعلی افزایش یافته تا میزان تولید به حداکثر مقدار ظرفیت خود برسد.
- با توجه به نتایج حاصل، براساس مدل موجود در هر سه سناریو بد، متوسط و خوب، مقدار تقاضا بیشتر است، از این رو شبکه حاضر با کمبود مواجه است. لذا می باید مدل جدیدی ارائه گردد تا بتواند مقدار تولید مواد اولیه و در نتیجه مقدار موجودی را افزایش داده و از این طریق کمبود را پوشش می دهد.

۴-۵- پیشنهادات تحقیقات آتی

- براساس بررسی های صورت گرفته بر روی تحقیقات پیشین مشخص شده است که پژوهش های کمتری بر روی بازیافت فلزات بخصوص آلومینیوم و سود حاصل از آن صورت گرفته، بنابراین انجام تحقیق در این حوزه که جنبه های زیست محیطی، بخصوص جنبه اجتماعی توسعه پایدار را در بر می گیرد؛ برای مطالعات آتی پیشنهاد می شود.
- در مدل پیشنهادی تاثیر سطوح اطمینان در شرایط مختلف بر روی نتایج حاصل مورد بررسی قرار گیرد.
- تأمین مواد اولیه برای تولید محصولات و حفظ محیط زیست چالش های بسیاری را در پی دارد. ورود

طراحی شبکه زنجیره تامین بازیافت آلومینیوم در شرایط عدم اطمینان

زباله‌ها به محیط زیست باعث آلودگی آن شده و منابع طبیعی برای تولید محصولات مورد استفاده قرار می‌گیرد. به همین دلیل، لازم است که زنجیره تأمین حلقه بسته‌ای را در تولید و بازیافت محصولات ایجاد کرد تا از طریق بازیافت، نیاز به استفاده از منابع طبیعی کاهش یابد و به حفظ محیط زیست کمک شود. این روند باعث کاهش هزینه‌های عملیاتی و سودآوری بیشتر در صنایع تولیدی نیز خواهد شد. بنابراین، بررسی نحوه کاربرد زنجیره تأمین حلقه بسته در صنایع تولیدی، می‌تواند بهبود وضعیت اقتصادی و محیط زیست را به همراه داشته باشد.

مراجع

مراجع

- فرخزاد، م.ب.، طالب زاده، پ.، گودرزیان، ف. (۱۳۹۸) "طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه- بسته سبز با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان مراکز تأمین تحت شرایط عدم قطعیت"، پژوهش های مهندسی صنایع در سیستم های تولید، شماره ۱۴، ۱۷۹-۱۹۷.
- بویر، س.، طرفی زاده، ف. (۱۴۰۰) "انتخاب استراتژی مناسب به منظور پیاده سازی لجستیک معکوس بر مبنای شناخت و رتبه بندی آن ها بر اساس عوامل موثر بر ساختار شبکه لجستیک معکوس (مورد مطالعه: شرکت پخش دارویی فردوس)"، مطالعات مهندسی صنایع و مدیریت، دوره ۷، شماره ۱۸، ۱۲۸-۱۴۳.
- بهزادی، م.، یوسف برقی، م. (۱۳۹۷) "رویکردهای بهینه سازی تصادفی دو مرحله ای و استوار در شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت"، مدیریت تولید و عملیات، شماره ۱۷، ۷۷-۹۷.
- رحیمی، ع.، فرهادی، ف.، صیدایی گل سفیدی، س.ن. (۱۴۰۱) "شناسایی عوامل موثر بر زنجیره تأمین معکوس بازیافت زباله در شهرداری ناغان"، مطالعات مهندسی صنایع و مدیریت تولید، دوره ۸، شماره ۲۲، ۱۰۳-۱۱۱.
- رضایی مقدم، س.، یوسفی، ا.، کرباسیان، م.، خیام باشی، ب. (۱۳۹۷) "برنامه ریزی تولید یکپارچه تأمین، تولید و توزیع در زنجیره تأمین برگشت پذیر به کمک مدل سازی ریاضی چندهدفه: مطالعه موردی در یک صنعت High-Tech"، مدیریت تولید و عملیات، شماره ۱۷، ۵۷-۷۶.
- سلمانی زارچی، ا.، تقی زاده یزدی، م. (۱۳۹۸) "ارائه مدل جامع چندهدفه زنجیره تأمین حلقه بسته سبز چندسطحی - چندمحصولی با رویکرد کلاسیک مجموع وزن دار: تولید جبهه پارتو (مورد مطالعه: شرکت کفش شهر ممتاز)"، چشم انداز مدیریت صنعتی، شماره ۳۶، ۱۰۷-۱۳۷.
- سلیمانی، ح.، محمدی، م. (۱۳۹۹) "بررسی زنجیره تأمین حلقه باز و حلقه بسته تحت شرایط عدم قطعیت (مورد مطالعه: شرکت ایران ترانسفو)"، چشم انداز مدیریت صنعتی، شماره ۳۸، ۳۳-۵۳.
- صفایی قادیکلایی، ع.، احمدی، م.، رضاییان زیدی، ج.، ولی پور خطیر، م. (۱۴۰۱) "ارائه مدل برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط برای بهینه سازی زنجیره تأمین حلقه بسته سبز: مطالعه موردی صنعت لبنی کاله"، پژوهش های نوین در تصمیم گیری، شماره ۲۵، ۱۳۴-۱۶۴.
- فهمی نژاد، ع.، جعفری، پ.، مرسل، ب.، طیبی ثانی، م. (۱۳۹۹) "مطالعه موانع موثر بر شکل گیری لجستیک معکوس در رویدادهای ورزشی"، مطالعات مدیریت ورزشی، شماره ۶۲، ۳۹-۶۴.
- فیض اللهی، ص.، سلطان پناه، ه.، فاروقی، ه.، رحیم زاده، ا. (۱۴۰۰) "توسعه مدل شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند هدفه و چند دوره ای تحت شرایط عدم قطعیت"، چشم انداز مدیریت صنعتی، شماره ۳۲، ۶۱-۹۶.
- نجفی، ا.، فصیحی، م.، توکلی مقدم، ر.، حاجی آقائی کشتلی، م. (۱۴۰۰) "طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته ماهیان پرورشی سردآبی با در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت: مطالعه موردی شبکه زنجیره تأمین قزل آلا در مازندران مقاله"، مطالعات مدیریت صنعتی، شماره ۶۳، ۲-۵۰.
- ولی زاده، م.، عزیزی، م.، اشتیاردیان، ا. (۱۳۹۷) "واکاوی ابعاد مدیریتی لجستیک معکوس در پروژه های ساخت و ساز شهری (مطالعه چند موردی)"، مدیریت شهری و روستایی، شماره ۵۳، ۳۶۹-۳۸۶.

ولی زاده، م.، اشتهاوردیان، ا. (۱۳۹۸) "چالش‌های توسعه لجستیک معکوس در پروژه‌های بزرگ ساختمانی و عمرانی ایران"، اندیشه مدیریت راهبردی، شماره ۲۶، ۳۲۷-۳۵۱.

Allehashemi, T., Hassanzadeh Amin, S., Zolfaghari, S. (2022) A proposed multi-objective model sum cellphone closed-loop supply chain optimization based on fuzzy QFD, Expert Systems with Applications, 210, 74-106.

Asghari, M., Afshari, H., Mirzapour Al-e-hashem, S.M.J., Fathollahi-Fard, A., Dulebenets, M. (2022) Pricing and advertising decisions in a direct-sales closed-loop supply chain, Computers & Industrial Engineering, 171, 81-98.

Arabi, M., Reza Gholamian, M. (2023) Resilient closed-loop supply chain network design considering quality uncertainty: A case study of stone quarries, Resources Policy, 80, 47-64.

Bejjani, D., Feldmann, A., Nuur, C. (2022) The relatedness of open- and closed-loop supply chains in the context of the circular economy; Framing a continuum, Cleaner Logistics and Supply Chain, 4, 22-56.

Govindan, K., Salehian, F., Kian, H., Teimoor Hosseini, S., Mina, H. (2023) A location-inventory-routing problem to design a circular closed-loop supply chain network with carbon tax policy sum achieving circular economy: An augmented epsilon-constraint approach, International Journal of Production Economics, 257, 52-84.

Hasan, K., Ali, S., Kumar Paul, S., Kabir, G. (2023) Multi-objective closed-loop green supply chain model with disruption risk, Applied Soft Computing, 136, 24-67.

Matsui, K (2023) Dual-recycling channel reverse supply chain design of recycling platforms under acquisition price competition, International Journal of Production Economics, 259, 60-78.

Rajabi-Kafshgar, A., Gholian-Jouybari, F., Seyedi, I., Hajiaghahi-Keshteli, M. (2023) Utilizing hybrid metaheuristic approach to design an agricultural closed-loop supply chain network, Expert Systems with Applications, 217, 105-120.

Malekinejad, P., Ziaeeian, M., Hosseini Bamakan, S.M. (2022) A communication model sum reducing the bullwhip effect in closed-loop supply chain, Advances in Industrial and Manufacturing Engineering, 5, 73-110.

Singh Bhatia, M., Srivastava, R., Kumar Jakhar, S., Kumar, S. (2023) What's critical sum closed-loop supply chain operations? - Findings from the Indian small and medium manufacturing enterprises, Journal of Cleaner Production, 372, 25-38.

Taleizadeh, A., Sadegh Moshtagh, M., Vahedi-Nouri, B., Sarkar, B. (2023) New products or remanufactured products: Which is consumer-friendly under a closed-loop multi-level supply chain? Journal of Retailing and Consumer Services, 73, 67-83.

Ullah, M. (2023) Impact of transportation and carbon emissions on reverse channel selection in closed-loop supply chain management, Journal of Cleaner Production, 394, 84-101.

Wang, Z., Wang, Y., Li, B., Cheng, Y. (2023) Responsibility sharing strategy of product ecological design and collection in manufacturer-retailer closed-loop supply chain, Computers & Industrial Engineering, 176, 54-78.

Yu, Z., Lin, Y., Wang, Y., Goh, M. (2023) Closed-loop supply chain coalitional cooperation and coordination under differentiated carbon tax regulation, Journal of Cleaner Production, 392, 44-89.

Zhang, S., Meng, Q., Xie, J. (2022) Closed-loop supply chain value co-creation considering equity crowdfunding, Expert Systems with Applications, 199,70-90.

پیوست‌ها

کد برنامه نوشته شده در لینگو

```

model:
sets:
!1 andis ha;
aluminium sheet/1...4/:i;
consumer/1..7/:n;
recycling center saver/1..1/:j;
recycling center per savero/1..3/:f;
aluminum sheet /1..2/:p;
aluminum brickmaker /1..2/: C;
exiting/1..2/:D;
period/1..6/:T;
!2 parameter;
linkjksheet aluminium,inventory center 1ha,period):d,ls,li;
linkwjlt(ehtemal,brick aluminium,inventory center 2ha,period):dd,bs,bi;
linkest(aluminium,taminha,period):pkh;
linklit(inventory center 2ha,factory,period):ht4;
linklrt(inventory center 2ha,brick aluminium,period):ht5;
linkset(taminha,aluminium,period):cta;
linkjt ( consumer . recycling center gamavarimojode, period): C_njt;
linkft: ( consumer. recycling center gamavari kandid, period): C_nft;
linkjt: ( aluminum brickmaker . recycling center gamavarimojode, period): C_cjt;
linkcf: ( aluminum brickmaker . recycling center gamavari kandid , period): C_cft;
linkcpt: ( aluminum brickmaker . varagsazi, period): C_cpt;
linksit: (aluminum, period): L_sit;
linke1: @min(aluminum, period): E-1;
linkm1:@max(aluminum, period):M-1;
linke2: @min(aluminum, consumer): E-2;
linkm2:@max(aluminum, consumer):M-2;
linke3: @min(aluminum, center period): E-3;
linkm3:@max(aluminum, center period):M-3;
linke4: @min(aluminum, center consumer): E-4;
linkm4:@max(aluminum, center consumer):M-4;
linkjt: (aluminum ,centerj , periodt): C_jt
linkft: (aluminum ,centerf , periodt): C_ft
linkjt: (exit ,centerj, periodt): D_jt
linkjdt: (transporting ,centerj, period dot to t): TC_jdt
linkfd: (distance ,centerf, disposal d): D_fd
linkjdt: (transporting ,centerf, period dot to t): TC_fdt
linkjp: (distance ,centerj, sheet-making p): D_jp
linkjpt: (cost transporting ,centerj, sheet-making p): TC_jpt
linkfp: (distance ,centerf, sheet-making p): T_fp
linkdt: (cost of disposal ,centerd, periodt): C_dt

```

linkn: (production cost, sheet making r, period t): C₋;
 linkpc: (distance , between p and c, period t): D_{pc};
 linkpct: (transportation cost , sheet p to ingot c, period t): T_{pct};
 linkpct: production cost , ingot making c, period t): C_{ct};
 linkpc: (distance , ingot making c, sheet-making p): D_{pc};
 linkj:@max(production capacity, recycling center j):@Max_j;
 linkf:@max(production capacity, recycling center f):@Max_f;
 linkp:@max(production capacity, sheet making p):@Max_p;
 linkc:@max(production capacity, ingot production capacity c):@Max_c;
 linkd:@max(production capacity, disposal center d):@Max_d;
 linkz:@min(number of new recycling):@Min_Z;
 linkjt: (maintenance cost, recycling center j, periodt): h_{jt};
 linkft: (maintenance cost, recycling center f, periodt): h_{ft};
 linkct: (maintenance cost, recycling center c, periodt): h_{ct};
 linkqj:@max(capacity of the storage, recycling center j): q_j;
 linkqf:@max(capacity of the storage, recycling center f): q_f;
 linkqf:@max(capacity of the storage, recycling center c): q_c;
 linkbeta :(recycled aluminum, the rate of associated): beta;
 linklanda-1: (recycled aluminum, percentage of inappropriate): landa-1;
 linklanda-2: (recycled aluminum, bullion factories): landa-2;
 linkalpha-1 :(Ingot production, aluminum sheet): alpha-1;
 linkalpha-2 :(sheet production, recycled aluminum): alpha-2;
 linkit: (retailer i , period t): d_{it};
 linkct: (selling maker c , period t): F_{ct};
 linkpt: (selling maker p , period t): F_{pt};
 !moteghayer ha;
 linknjt: (purchased from consumer n ,existing recycling center j, period t): W_{njt};
 linknft: (purchased from consumer n, existing recycling center f, period t): W_{nft};
 linkcjt: (purchased from bullion c, existing recycling center j, period t): W_{cjt};
 linkcft: (purchased from bullion c, candidate recycling center f, period t): W_{cft};
 linkjdt: (metal transferred j, existing recycling center d, period t): Y_{jdt};
 linkjdt: (raw materials j, existing recycling center p, period t): X_{jpt};
 linkfpt: (raw materials f, existing recycling center p, period t): X_{fpt};
 linkfpt: (ingot center c, sheet making P, period t): V_{cpt};
 linkfpt: (raw materials c, , sheet making P, period t): X_{pct};
 linkct: (produced cener c, period t): X_{ct};
 linkit: (produced cener i, period t): X_{it};
 linkfpt: (raw materials c, , sheet making P, period t): X_{pct};
 linkict: (inventory center c , period t) : I_{ct};
 linkijt: (inventory center j , period t) : I_{jt};
 linkift: (inventory center f , period t) : I_{ft};
 linksjt: (demand of retailer i, period t) : S_{jt};
 linkfelfaf: (if candidate recycling center f is open f= 0 or if candidate recycling center f is close f is 1):alfa_f;
 linkpi_{jt}: (if purchase from recycling center j is open f= 0 or if candidate recycling center f is close f is 1):pi_{jt};
 linkpi_{ct}: (if purchase from recycling center j is open c= 0 or if candidate recycling center f is close f is 1):pi_{ct};
 linkpi_{pt}: (if purchase from sheet P is open period = 0 or if purchase from sheet P is close period =1):pi_{pt};
 linkpi_{nt}: (if purchase from consumer n is open period = 0 or if purchase from consumer n is close period =1):pi_{nt};
 endsets

```

!hadaf;
max=income-costkharid-costtolid-costgharardad-costhamlsi-costhamlik-costhamlil-costhamlli-
costhamllrcostnegahdarim-costnegahdaria-recycling center 1-recycling center 2-recycling center 3-recycling
center 4;
income=@sum(sheet aluminium(j):@sum(factory(i):@sum(inventory center
1ha(k):@sum(period(t):q(j,i,k,t)*pf(j,t))))
+(1-alfa)*(@sum(sheet aluminium(j):@sum(factory(i):@sum(inventory center
2ha(l):@sum(period(t):o(j,i,l,t)*pf(j,t))))
+(alfa)*(@sum(sheet aluminium(j):@sum(factory(i):@sum(inventory center
2ha(l):@sum(period(t):o(j,i,l,t)*(pf(j,t)-
dis(t))))))
+@sum(inventory center 2ha(l):@sum(brick aluminium(r):@sum(period(t):v(l,r,t)*pff(t)*we));
costkharid=@sum(aluminium(e):@sum(taminha(s):@sum(factory(i):@sum(period(t):p(e,s,i,t)*pkh(e,s,t))));
costtolid=@sum(sheet aluminium(j):@sum(factory(i):@sum(period(t):tm(j,i,t)*hto(j,t))));
costgharardad=@sum(taminha(s):ift(s)*hsta(s));
costhamlsi=@sum(aluminium(e):@sum(taminha(s):@sum(factory(i):@sum(period(t):p(e,s,i,t)*ht1(e,s,i,t))));
costhamlik=@sum(sheet aluminium(j):@sum(factory(i):@sum(inventory center
1ha(k):@sum(period(t):q(j,i,k,t)*ht2(j,i,k,t)
)))));
costhamlil=@sum(sheet aluminium(j):@sum(factory(i):@sum(inventory center
2ha(l):@sum(period(t):o(j,i,l,t)*ht3(j,i,l,t)
)));
costhamlli=@sum(inventory center 2ha(l):@sum(factory(i):@sum(period(t):u(l,i,t)*ht4(l,i,t))));
costhamllr=@sum(sheet aluminium2ha(l):@sum(zayeatiha(r):@sum(period(t):v(l,r,t)*ht5(l,r,t))));
costnegahdarim=@sum(brick aluminium(j):@sum(factory(i):@sum(period(t):im(j,i,t)*hnm(j,t))));
costnegahdaria=@sum(mavad(e):@sum(factory(i):@sum(period(t):ima(e,i,t)*hna(e,t))));
pi_nt1=100000*(@sum(brick aluminium(j):@sum(sheet aluminium1ha(k):@sum(period(t):ls(j,k,t))));
pi_nt2=100000*(@sum(brick aluminium(j):@sum(sheet aluminium1ha(k):@sum(period(t):li(j,k,t))));
pi_nt3=100000*(@sum(ehtemal(w):@sum(brick aluminium(j):@sum(sheet
aluminium2ha(l):@sum(period(t):bs(w,j,l,t)*p
p(w))))));
pi_nt4=100000*(@sum(ehtemal(w):@sum(brick aluminium(j):@sum(sheet
aluminium2ha(l):@sum(period(t):bi(w,j,l,t)*p
p(w))))));
!mahdoodiat ha;
@sum(X-pc(p):@sum(V-cpt(p+ X-ct:q(j,i,k,t))-d(j,k,t)-0.5=ls(j,k,t)));
(alpha-1@sum(X-jpt(J)+@sum(X-fpt(f):(@sum(V_cpt(m to c)+X_pct(p)):q(j,i,k,t))-d(j,k,t)+0.5=li(j,k,t)));
@sum(X_jpt(j)+@sum(X_fpt(p)):@sum(V_cpt(c to m)+@sum(X_pct(po(j,i,l,t))- dd(w,j,l,t)-2.5=bs(w,j,l,t))));
I_ft-I_ft-1: @sum(W_nft(n)) +@sum(W_cft(m+1 to c))*beta) -@sum(Y_nft(n)) +@sum(X_cft(m+1to
c)):o(j,i,l,t))-
dd(w,j,l,t)+2.5=bi(w,j,l,t))));
@if_0:0;
I_ft-I_ft-1: @sum(W_it(n)) +@sum(W_cft(m+1 to c))*beta) -@sum(Y_nft(n)) +@sum(X_cft(m+1to
c)):o(j,i,l,t))-
dd(w,j,l,t)+2.5=bi(w,j,l,t))));
@ij_0:0;
@sum(Y_jdt(D):landa_1*@sum(W_njt(n))+landa_2*@sum(W_njt(n)):v(l,r,t))));
@sum(X_ct(j)+I_c(t-1)-I_ct):@sum(d_it(i)+S_it):im(j,i,t)=(im(j,i,t-1)+tm(j,i,t);
Ic_o:0;

```

```

@sum(W_njt(n)+@sum(W_cjt(m+1 to c)<= @Max ( ax_j);
@sum(W_njt(n)+@sum(W_cjt(m+1 to c)<= @Mininf*@Max ( ax_j);
@sum(W_nft(n)+@sum(X_fpt(m+1 to c)<= @Maxf*fifif;
@sum(X_jpt(j))+@sum(X_fpt(f))+@sum(V_cpt(c to m)) <= @Maxp:im(j,i,t)=(tm(j,i,t);
@sum(X_pct(p)) <= @Maxp:im(j,i,t)=(tm(j,i,t);
@sum(Y_jdt(j to k))+@sum(X_fdt(f))<= @Maxd:o(j,i,l,t))));
@sum(fifi (f) <=Z;
@sum(W_cft(f)+@sum(W_cjt(j to k)) >= E_1*pi_ct:tm(j,i,t)*bom(e,j))));
@sum(W_cft(f)+@sum(W_cjt(j to k)) >= M_1*pi_ct:tm(j,i,t)*bom(e,j))));
@sum(W_cft(f)+@sum(W_cjt(j to k)) >= E_2*pi_nt:tm(j,i,t)*bom(e,j))));
@sum(W_cft(f)+@sum(W_cjt(j to k)) >= M_2*pi_nt:tm(j,i,t)*bom(e,j))));
@sum(X_jpt(p) >= E_3*pi_jt:tm(j,i,t)*bom(e,j))));
@sum(X_jpt(p) >= M_3*pi_jt:tm(j,i,t)*bom(e,j))));
@sum(X_pct(p) >= E_4*pi_jt:tm(j,i,t)*bom(e,j))));
end

```


Abstract:

Aluminum recycling has many environmental and economic advantages and has attracted the most attention in different countries. Theresome, it is considered important to pay attention to the shape of the parameters in different processes. The recycling process, market price and many other parameters are discussed and the degree of uncertainty in these parts is examined and analyzed. Theresome, in order to investigate this issue of uncertainty in these sectors, various aspects of it have been investigated, which affect decisions related to investment in the field of metal recycling, which includes aluminum recycling. Theresome, in the current research, the main goal Optimum design of closed-loop reverse supply chain sum aluminum recycling to maximize annual profit considering the uncertainty in the market price of aluminum collection, recycled materials and related logistics costs. Theresome, in the present research, a case study of aluminum reproduction complexes in Tehran province has been investigated. In the modeling of the aluminum recycling chain, the optimal flow rate between different facilities, the flow rate of recycled aluminum from consumer goods containing aluminum to the recycling center, from the recycling center to aluminum sheet production, from sheet making to ingot making, and from ingot making to the retailer, are determined in such a way It is possible to maximize the total profit of the chain during the planning period. Also, the limitations of production and warehouse capacity and space are included in the problem model. In addition, according to the objectives of the chain and the existing limitations, the proposed model decides on the creation of a new recycling center. The results of solving the proposed model show; The creation of a new recycling center will increase the amount of production and cover a larger volume of demand. According to the costs of purchase, production, transportation, maintenance and shortage as well as the amount of demand and production capacity in the case study model, the amount of inventory and shortage of the final product is determined in each period. At the end, the sensitivity of the model output to the main parameters of the problem has been checked

Keywords: aluminum recycling, supply chain, uncertainty, cost



Iran University of Science and Technology
School of Industrial and Systems Engineering

Aluminum recycling supply chain network design under uncertainty

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement sum the
Degree of Master of Science (Doctor of Philosophy) in -----**

By:
Student Name

Supervisor:
Dr. -----

Advisor:
Dr. -----
Dr. -----

March ۲۰۲۳