بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم ریاضی

رشته ریاضی کاربردی، گرایش تحقیق درعملیات

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

طراحی شبکه‌ی زنجیره تأمین حلقه بسته سبز (مطالعه‌ی موردی زنجیره تأمین پلی استایرن)

نگارنده: مهناز بروغنی

استادان راهنما

دکتر مهرداد غزنوی
دکتر محمد فتاحی

استاد مشاور

دکتر مریم قرآنی

بهمن۹۶

شماره:
تاریخ:

باسمه‌تعالی

دانشگاه صنعتی شاهرود

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد **خانم مهناز بروغنی** با شماره دانشجویی ۹۴۰۳۶۱۴ رشته **ریاضی کاربردی** گرایش **تحقیق در عملیات** تحت عنوان: **طراحی شبکه ی زنجیره تأمین حلقه بسته سبز (مطالعه ی موردی زنجیره تأمین پلی استایرن)** که در تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۱۱ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: ...عالی.....) ☑ **مردود** ☐

نوع تحقیق: **نظری** ☐ **عملی** ☐

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنمای اول	دکتر مهرداد غزنوی	استادیار	
۲- استادراهنمای دوم	دکتر محمد فتاحی	استادیار	
۳- استاد مشاور	دکتر مریم قرآنی	استادیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر محمدهادی نوری اسکندری	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر علیرضا ناظمی	دانشیار	
۶ـ استاد ممتحن دوم	دکتر مجتبی غیاثی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر ابراهیم هاشمی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

پیشکش به آنان که در مسیر تکامل روح و جانم خورشید گونه بر سرزمین وجودم تابیدن گرفتند تا ظلمت و تاریکی از من زدوده گردد و بذر آگاهی، امید و خود شناختن را جوانه‌ای باشد که رویش آن شادابی و طراوت را ارمغان گردد.

مهناز بروغنی
بهمن۹۶

تعهد نامه

اینجانب **مهناز بروغنی** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته **ریاضی کاربردی علوم ریاضی** دانشگاه صنعتی شاهرود، نویسنده پایان‌نامه با عنوان **طراحی شبکه‌ی زنجیره تأمین حلقه بسته سبز (مطالعه‌ی موردی زنجیره تأمین پلی استایرن)** ، تحت راهنمایی **مهرداد غزنوی** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های دیگر پژوهش‌گران، به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب این پایان‌نامه، تا کنون توسط خود، یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ‌جا ارایه نشده است.
- حقوق معنوی این اثر، به دانشگاه صنعتی شاهرود تعلق دارد، و مقالات مستخرج با نام ‘‘ دانشگاه صنعتی شاهرود ’’ یا “ Shahrood University of Technology ” به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به‌دست آوردن نتایج اصلی پایان‌نامه تاثیرگذار بوده‌اند، در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در تمام مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در تمام مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته (یا استفاده شده است)، اصل رازداری و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

مهناز بروغنی
بهمن۹۶

مالکیت نتایج و حق نشر

- تمام حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی، در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در این پایان‌نامه بدون ذکر منبع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

در دهه اخیر، طراحی شبکه‌های لجستیک معکوس و بخصوص یکپارچه‌سازی آن با شبکه‌های لجستیک مستقیم به منظور پاسخگویی به نیازهای اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی مورد توجه قرار گرفته است. دولت و مشتری‌ها به کمپانی‌ها برای لحاظ تأثیرات محیطی فشار وارد کرده‌اند و مطالعاتی در طراحی زنجیره‌ی تأمین سبز صورت گرفته‌است. گستردگی و تنوع موضوعی سبب شده است تا مباحث بیشماری تحت همین عنوان مطرح گردد. زنجیره تأمین سیستمی است که سازندگان محصول یعنی تأمین‌کنندگان مواد اولیه، فرآیندهای تولید، توزیع‌کنندگان محصولات و مشتریان توسط یک جریان مواد از یک سو و یک جریان اطلاعات از سوی دیگر در ارتباط هستند. لجستیک معکوس زمانی مطرح می‌شود که فرآیند بازگشت محصول به زنجیره تأمین مد نظر قرار گیرد. این فرآیند از زمان تحویل کالا از مشتری تا بازگرداندن آن به دست مشتری را شامل می‌شود. جمع‌آوری محصولات بازگشتی، بازرسی، تصمیم‌گیری برای مقدار تعمیرات مورد نیاز جزئی یا اساسی و در انتها بازیافت محصولات به عنوان مواد خام از جمله فعالیت‌هایی است که در لجستیک معکوس مطرح می‌شود. در این پایان‌نامه، مسئله طراحی و برنامه‌ریزی یک شبکه لجستیکی حلقه بسته سبز چند محصولی و تک دوره‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد که دو بعد اصلی از ابعاد توسعه‌ی پایدار یعنی بعد اقتصادی و بعد محیط زیستی را لحاظ می‌کند. به منظور بعد محیط زیستی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در فرآیندهای تولید، بازیافت و حمل‌ونقل در زنجیره‌ی تأمین در نظر گرفته شده‌است. یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته [1] برای این مسئله توسعه یافته است و کاربرد آن در طراحی یک زنجیره به منظور تولید محصولات پلی استایرن و بازیافت پلی استایرن در تهران بررسی شده است. جهت مدل‌سازی ریاضی مسئله، از برنامه‌ریزی قطعی دو مرحله‌ای استفاده شده است. تصمیمات مرحله اول (که تصمیمات استراتژیک می‌باشند) شامل جایابی مراکز توزیع، مراکز بازیافت و تکنولوژی‌ها، میزان خرید مواد اولیه و بازیافتی، میزان موجودی انبارها و ... می‌باشد. تصمیمات مرحله دوم شامل تصمیمات تاکتیکال نظیر حمل‌ونقل در هر دوره و بازای هر سناریو می‌باشد. در نهایت نتایج حاصل از این تحقیق به بینش‌های مدیریتی در این زمینه منجر می‌شود.

کلمات کلیدی: زنجیره تأمین سبز، زنجیره‌ی تأمین حلقه بسته، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط، محدودیت لحاظ اثرات محیط زیستی

[1] MIP

فهرست مطالب

فهرست تصاویر ک

فهرست جداول م

۱ کلیات تحقیق ۱

۱.۱ هدف ۱

۲.۱ بیان مسئله ۳

۳.۱ مفروضات مسئله ۳

۴.۱ کاربرد تحقیق ۳

۵.۱ روش کار و تحقیق ۴

۶.۱ ساختار تحقیق ۴

۲ ادبیات مدیریت زنجیره تأمین و زنجیره تأمین سبز ۵

۱.۲ مدیریت زنجیره تأمین ۶

۲.۲ تاریخچه مدیریت زنجیره تأمین سبز ۸

۳.۲ برخی از مؤلفه‌های زنجیره تأمین سبز ۹

۱.۳.۲ طراحی سبز ۹

۲.۳.۲ مواد سبز ۹

۳.۳.۲ تولید سبز ۹

۴.۳.۲ بازیافت سبز ۹

۴.۲ فرآیند مدیریت لجستیک ۱۰

۵.۲ تصمیمات در زنجیره تأمین ۱۱

۶.۲ زنجیره تأمین سبز ۱۲

۱.۶.۲ طراحی محصول ۱۳

۲.۶.۲ زنجیره تأمین معکوس ۱۴

۳.۶.۲ بازساخت ۱۴

۷.۲ مقایسه مدیریت زنجیره تأمین سنتی و سبز ۱۵
۸.۲ سبز نمودن مدیریت زنجیره تأمین ۱۶
۹.۲ انواع زنجیره تأمین ۱۷
۱.۹.۲ زنجیره تأمین مستقیم ۱۷
۲.۹.۲ زنجیره تأمین معکوس ۱۸
۱۰.۲ پلی استایرن ۲۲

۳ ادبیات زنجیره تأمین حلقه بسته و لجستیک معکوس ۲۵
۱.۳ مقدمه ۲۵
۲.۳ مرور ادبیات مقالات لجستیک معکوس ۲۶
۳.۳ تأثیرات محیطی ۲۹

۴ مدل‌سازی ۳۳
۱.۴ معرفی مدل ۳۳
۲.۴ نمادها و علائم ۳۸
۳.۴ تابع هدف اقتصادی ۴۶
۴.۴ تابع هدف محیط زیستی ۴۶

۵ مطالعه موردی ۴۷
۱.۵ مقدمه ۴۷
۲.۵ ویژگی‌های شبکه ۴۷
۳.۵ حمل‌ونقل ۵۲
۴.۵ محصولات ۵۳
۵.۵ ارزیابی هزینه‌ها ۵۶
۶.۵ ارزیابی محیطی ۵۶
۷.۵ نتایج ۵۷
۸.۵ تحلیل حساسیت ۶۰
۹.۵ مقایسه تابع هدف اقتصادی و تابع هدف محیط زیستی ۶۵

۶ نتیجه‌گیری ۶۹
۱.۶ مقدمه ۶۹
۲.۶ نوآوری‌های مطرح شده ۷۰
۳.۶ پیشنهادات برای مطالعات آتی ۷۱

مراجع ۷۳

فهرست تصاویر

۱.۲ زنجیره تأمین سبز [۲۱] ۱۲
۲.۲ زنجیره تأمین مستقیم ۱۷
۳.۲ زنجیره تأمین معکوس ۱۸
۴.۲ زنجیره تأمین حلقه بسته ۲۰

۱.۵ کارخانه‌ها ۴۹
۲.۵ انبارهای ممکن ۴۹
۳.۵ مشتریان ۵۰
۴.۵ مراکز جمع‌آوری ۵۰
۵.۵ مراکز بازیافت ممکن ۵۱
۶.۵ مرکز دفع ۵۱
۷.۵ مرکز دفن زباله ”آرادکوه” ۵۲
۸.۵ ظروف یکبار مصرف ۵۴
۹.۵ کانال‌های پیش ساخته‌ی کولر ۵۴
۱۰.۵ عایق‌های حرارتی و رطوبتی ۵۵
۱۱.۵ مکان‌های مناسب برای استقرار انبارها ۵۷
۱۲.۵ مکان‌های مناسب برای استقرار مراکز بازیافت ۵۸
۱۳.۵ نمودار میزان هزینه‌های اقتصادی ۵۹
۱۴.۵ نمودار (الف) تغییرات هزینه حمل‌ونقل نسبت به هزینه وابسته به مسافت ۶۰
۱۵.۵ نمودار (ب) تغییرات تابع هدف اقتصادی نسبت به هزینه وابسته به مسافت ۶۱
۱۶.۵ نمودار (الف) تغییرات هزینه حمل‌ونقل نسبت به هزینه وابسته به زمان . . ۶۱
۱۷.۵ نمودار (ب) تغییرات تابع هدف اقتصادی نسبت به هزینه وابسته به زمان . ۶۲
۱۸.۵ نمودار (الف) تغییرات هزینه حمل‌ونقل نسبت به سرعت ماشین‌ها ۶۲
۱۹.۵ نمودار (ب) تغییرات تابع هدف اقتصادی نسبت به سرعت ماشین‌ها . . . ۶۳
۲۰.۵ نمودار (الف) تغییرات هزینه حمل‌ونقل نسبت به هزینه وابسته به بارگیری و تخلیه ۶۳

۲۱.۵ نمودار (ب) تغییرات تابع هدف اقتصادی نسبت به هزینه وابسته به بارگیری و تخلیه ۶۴
۲۲.۵ نمودار (الف) تغییرات هزینه‌های حمل‌ونقل نسبت به هزینه وابسته به ظرفیت ماشین‌ها ۶۴
۲۳.۵ نمودار (ب) تغییرات تابع هدف اقتصادی نسبت به هزینه وابسته به ظرفیت ماشین‌ها ۶۵
۲۴.۵ نمودار مقایسه همزمان تابع هدف اقتصادی و محیط‌زیستی ۶۶
۲۵.۵ نمودار تغییرات تابع هدف اقتصادی نسبت به افزایش تقاضا ۶۷
۲۶.۵ نمودار تغییرات تابع هدف کل نسبت به افزایش تقاضا ۶۸

فهرست جداول

۱.۵ جدول میزان هزینه‌های اقتصادی ۵۹

فصل ۱

کلیات تحقیق

۱.۱ هدف

در دنیای تجارت امروز راز بقای شرکت‌ها در قدرت رقابتی آن‌هاست. برای آن که شرکتی بتواند بطور کارار به رقابت با سایر شرکت‌ها بپردازد نیازمند مدیریت زنجیره تأمین خود می‌باشد. به عبارتی وظیفه مدیریت زنجیره تأمین را می‌توان این‌گونه برشمرد:’’بیشینه کردن ارزش افزوده و کاهش هزینه کل در طول فرآیندهای تجاری با تمرکز بر سرعت و پاسخ به نیاز بازار.’’ امروزه مدیریت زنجیره تأمین به عنوان یک الزام، بخصوص برای صنایع تولیدی که می‌خواهند محصولاتشان با هزینه‌ای رقابتی و کیفیتی بالاتر از رقبایشان در بازار عرضه شود درآمده است. امروزه، تجارت به سرعت تغییر کرده‌است و بیش از هر زمان دیگری رقابتی شده است. یک بنگاه تجاری امروز نه تنها نیازمند فعالیت با هزینه کمتر جهت رقابت است، بلکه باید مزایای رقابتی‌اش را تقویت کند تا در بازار و در میان رقبایش شاخص باشد. یک شیوه مهم برای شرکت‌ها در متمایز کردن خود از دیگران و همینطور بالا بردن سوددهی‌شان، در یک فضای کاملا رقابتی، استفاده از مدیریت خدمات، فعالیت‌ها و تعامل‌هایی است که در نتیجه‌ی فروش و بازخرید محصول مطرح می‌شوند. به عنوان نمونه، بقا، تأثیرگذاری و کارایی فعالیت‌های مدیریت خدمات تعمیر، تا حد بسیار زیادی بستگی به فعالیت‌های لجستیک معکوس مؤثر دارد.

با توجه به این‌که جهان امروز با مسائلی چون گرم شدن کره زمین، انواع آلودگی‌ها، افزایش

مقدار گازهای گلخانه‌ای و ... مواجه است و این مسائل بطور بالقوه می‌تواند به آسیب محیط زندگی بشر منجر شود لذا حفظ محیط زیست و استراتژی‌های مربوط به آن در اولویت برنامه‌های هر سازمانی قرار می‌گیرد. سازمان از یک طرف باید به سوددهی مزیت رقابتی و از طرف دیگر به از بین بردن یا به حداقل رساندن ضایعات (تولید گازهای گلخانه‌ای، مواد زائد جامد و مواد شیمیایی خطرناک) و کاهش مصرف انرژی توجه کند. بطور خلاصه در طراحی شبکه‌های زنجیره تأمین، لحاظ همزمان اهداف اقتصادی و محیط زیستی منجر به ایجاد زنجیره‌ی تأمین سبز می‌شود.

لجستیک معکوس در واقع '' پروسه جابجایی کالاها از مقصد نهایی معمول آن‌ها برای بازیابی ارزش و یا دفع مناسب '' است. حرکت بازگشتی محصولات و سرویس در زنجیره تأمین، بدون توجه به صنعت و یا محصول مورد نظر، تدریجا در حال تبدیل شدن به یک فعالیت تجاری حیاتی است. چون فعالیت‌های لجستیک معکوس و زنجیره‌های تأمین که این فعالیت‌ها را حمایت می‌کنند بطور خاصی از ساخت زنجیره‌های تأمین سنتی پیچیده‌تر هستند، سازمانی که در مقابله با چالش‌ها موفق می‌شود سود چشم‌گیری را به نمایش می‌گذارد که امکان همپایی با آن برای هیچ‌کدام از رقبای آن سازمان وجود ندارد.

با توجه به بازار رقابتی فعلی یکی از راه‌های بقا ارائه خدماتی متمایز به مشتریان و وفادار کردنشان است. کارشناسان بسیاری در زمینه‌های مختلف علوم مهندسی صنایع به طراحی، اجرا و ارزیابی زنجیره لجستیک معکوس پرداخته‌اند و نتایج کار آنان امروزه در بخش‌های مهمی از صنعت در حال استفاده است. بنابراین به عنوان هر یک از اعضای این زنجیره ناگزیر به نوعی از نگاه خواهیم بود که امروزه توجه بسیاری را به خود جلب کرده است و آن تأمین هدف زنجیره‌ی تأمین است که بجای عطف نظر هر جزء به هدف شخصی مد نظر می‌باشد. در برخورد با مبحث لجستیک معکوس به پنج سوال کلیدی و حساس بر می‌خوریم:

۱. چه جایگزین‌هایی برای بهبود فرآیند توزیع در زنجیره تأمین کالا، قطعات و مواد در دسترس می‌باشد؟

۲. چه کسی یا چه واحدی باید فعالیت‌های مختلف بهینه‌سازی فرآیند لجستیک را انجام دهد؟

۳. فعالیت‌های مختلف بهبود لجستیک چگونه صورت می‌گیرند؟

۴. آیا یکپارچه‌سازی فعالیت‌هایی که با لجستیک معکوس در ارتباط هستند با سیستم تولید و توزیع کلاسیک امکان‌پذیر است؟

۵. هزینه‌ها و مزایای لجستیک معکوس از دیدگاه زیست محیطی و اقتصادی چیست؟

مسائل حوزه مرتبط با زنجیره سبز، سالیان بیشماری است که به عنوان یک عنصر مؤثر در حیات اقتصادی و صنعتی شناخته شده است، که در سالیان اخیر و با تشدید فضای رقابتی بیش از پیش به عنوان یک مسئله بسیار مهم مورد توجه قرار گرفته است.

۲.۱ بیان مسئله

این تحقیق به ارائه یک مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با چندین کارخانه، انبار، مشتری، مرکز جمع‌آوری، مرکز بازیافت و مرکز امحا می‌پردازد، در شرایطی که تقاضای مشتریان برای کالاها و میزان بازگشت کالاها قطعی است. ادغام تصمیمات در سطوح استراتژیک و تاکتیکال از جمله مواردی خواهد بود که در این پایان‌نامه مورد استفاده قرار خواهد گرفت که از آن جمله می‌توان به جایابی تسهیلات و همچنین موجودی انبارها اشاره کرد. جهت مدل‌سازی ریاضی مسئله، از برنامه‌ریزی قطعی دو مرحله‌ای استفاده شده است. تصمیمات مرحله اول، تصمیمات استراتژیک شامل جایابی مکان انبارها، مراکز بازیافت و تکنولوژی‌ها، میزان مصرف مواد اولیه و بازیافتی برای تولید محصولات و ... می‌باشند. تصمیمات مرحله دوم شامل تصمیمات تاکتیکال نظیر حمل‌ونقل در هر دوره و به ازای هر سناریو می‌باشند.

۳.۱ مفروضات مسئله

در این پایان‌نامه، یک زنجیره تأمین چند سطحی متشکل از چند تولیدکننده، مراکز پخش و جمع‌آوری، مراکز بازیافت و مرکز امحا در نظر گرفته شده‌است. افق برنامه‌ریزی تک دوره‌ای است و سه محصول در کل زنجیره تأمین وجود دارد. تقاضای مشتری برای محصول نهایی که تنها توسط مراکز پخش در بازار ارائه می‌شود، در هر دوره قطعی است. اجزا زنجیره(مراکز تولید و پخش) که دارای انبار هستند از سیاست سطح موجودی مبنا [۱] برای مدیریت سیستم موجودی استفاده می‌کنند. به عبارت دیگر، در ابتدای هر دوره با توجه به میزان خروجی و ورودی دوره قبل، میزان موجودی انبار به مقداری از پیش تعیین شده می‌رسد. علاوه بر این، تولیدکننده بصورت تولید برای انبار کردن [۲] کار می‌کند و مواد اولیه را از یک تأمین‌کننده خارجی تهیه می‌کند. با توجه به میزان سوددهی، تولیدکننده تصمیم می‌گیرد که به چه نسبتی از مواد اولیه خام و مواد بازیافتی در تولید محصول استفاده کند.

۴.۱ کاربرد تحقیق

همان‌گونه که بیان شد، هدف این تحقیق ارائه مدلی برای زنجیره تأمین حلقه بسته و لجستیک معکوس است. تمام فعالیت‌های لجستیکی در امر جمع‌آوری و رسیدگی به کالاهای مصرفی دست دوم، قطعات و یا مواد به منظور تضمین کیفیت مطلوب، مرتبط با همین حوزه است. همچنین، گاهی محدودیت‌هایی از طرف دولت‌ها بر زنجیره‌های تأمین اجبار می‌شود و در

[1] Base stock level
[2] Make to stock

موارد دیگر نگرانی‌هایی در مورد محیط‌زیست و حفظ آن وجود دارد. تمامی شرایط فوق شرکت‌ها را به سمت استفاده از زنجیره تأمین حلقه بسته سوق می‌دهد. نحوه جمع‌آوری محصولات بازگشتی، تصمیم برای بازیافت و یا دور ریختن کالا، چگونگی سیستم لجستیکی، طراحی محصول قابل بازیافت و بسیاری موارد دیگر از جمله ابعاد کاربردی است که در این پایان‌نامه و کارهای آتی مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

۵.۱ روش کار و تحقیق

در این پایان‌نامه، ابتدا یک مدل برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته محصولات پلی استایرن در تهران ارائه شده است. برای نیل به این هدف، از مقالات معتبر در انتشارات بین المللی، کتاب‌های مرتبط، پایان‌نامه‌ها و سایت‌های علمی معتبر بهره جسته‌ایم. با توجه به نیاز ادغام تصمیمات بلند مدت و میان مدت در شبکه‌های زنجیره تأمین و نیز در نظر گرفتن محدودیت‌های لجستیک معکوس، یک مدل ریاضی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین تحت لجستیک معکوس معرفی می‌شود. در نهایت با توجه به ساختار مدل ارائه شده، به تجزیه و تحلیل نتایج پرداخته‌ایم.

۶.۱ ساختار تحقیق

در ادامه این پایان‌نامه خواهیم داشت:
در فصل دوم و سوم مروری بر ادبیات موضوع تحقیق انجام می‌گیرد. برای این منظور، ابتدا در فصل دوم زنجیره تأمین و حوزه‌های مرتبط با آن تعریف می‌گردد. در ادامه، مقدماتی از زنجیره تأمین سبز و رویکردهای اصلی در آن مطرح می‌شود.
همچنین در فصل چهارم با تعریف متغیرها و پارامترهای مسئله، مدل‌سازی زنجیره تأمین حلقه بسته انجام می‌پذیرد. مدل و محدودیت‌های آن به تفصیل، بسط داده خواهند شد.
در فصل پنجم طبق داده‌های بدست آمده از منابع معتبر، سایت‌ها و طبق نظر خبره یک مدل تقریبا واقعی ارائه می‌شود و در ادامه به تحلیل نتایج بدست‌آمده می‌پردازد.
در فصل ششم نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی ارائه خواهد شد.

فصل ۲

ادبیات مدیریت زنجیره تأمین و زنجیره تأمین سبز

مقدمه

در دو دهه ۶۰ و ۷۰ میلادی، سازمان‌ها برای افزایش توان رقابتی خود تلاش می‌کردند تا با استانداردسازی و بهبود فرآیندهای داخلی خود محصولی با کیفیت بهتر و هزینه کمتر تولید کنند. در آن زمان تفکر غالب این بود که مهندسی و طراحی قوی و نیز عملیات تولید منسجم و هماهنگ، پیش نیاز دستیابی به خواسته‌های بازار و در نتیجه کسب سهم بازار بیشتری است. به همین دلیل سازمان‌ها تمام تلاش خود را بر افزایش کارایی معطوف می‌کردند. در دهه ۸۰ میلادی با افزایش تنوع در الگوهای مورد انتظار مشتریان، سازمان‌ها به طور فزاینده‌ای به افزایش انعطاف پذیری در خطوط تولید و توسعه محصولات جدید برای ارضای نیازهای مشتریان علاقه‌مند شدند. در دهه ۱۹۹۰ به موازات بهبود در توانمندی‌های تولید، مدیران صنایع درک کردند که مواد و خدمات دریافتی از تأمین کنندگان مختلف تأثیر بسزایی در افزایش توانمندی‌های سازمان به منظور رفع نیازهای مشتریان دارد که این امر به نوبه خود، تاثیر مضاعفی در تمرکز سازمان و پایگاه‌های تأمین و استراتژی‌های منبع‌یابی برجا نهاد.
همچنین مدیران دریافتند که صرفا تولید یک محصول کیفی کافی نیست. در واقع تأمین محصولات با معیارهای مورد نظر مشتری (چه موقع، کجا، چگونه) و با کیفیت و هزینه مورد

نظر آن‌ها، چالش‌های جدیدی را به‌وجود آورد. در چنین شرایطی به‌عنوان یک نتیجه‌گیری از تغییرات مذکور دریافتند که این تغییرات در طولانی مدت برای مدیریت سازمانشان کافی نیست. لذا باید مدیریت همزمان کارخانجات و شرکت‌های مرتبط را بطور همزمان انجام داد. با چنین نگرشی رویکردهای «زنجیره تأمین» و «مدیریت زنجیره تأمین» پا به عرصه وجود نهادند. [۱]

۱.۲ مدیریت زنجیره تأمین

برای مدیریت زنجیره تأمین تعاریف متعددی بیان شده است. به عنوان مثال می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. یک زنجیره تأمین از تعدادی اجزای متفاوت (به عنوان مثال تأمین کننده مواد اولیه، تولید کننده، حمل کننده، خرده فروشان و غیره) تشکیل شده است که مسئولیت آن‌ها تبدیل مواد اولیه به محصول نهایی و قرار دادن آن در اختیار مشتری نهایی می‌باشد [۴۹] این کار با هدف برآورده کردن نیاز مشتری در زمان مناسب، مکان مناسب و با کمترین هزینه انجام می‌شود. در اصل کلیه قدم‌ها از تدارکات مواد اولیه تا تحویل محصول نهایی در زنجیره تأمین در نظر گرفته می‌شود. با این تعریف تأمین کنندگان مواد اولیه، تولید کنندگان، خرده فروشان و مشتری نهایی به یکدیگر متصل می‌شوند. بنابراین، می‌توان زنجیره تأمین را به صورت گروهی از شرکت‌ها در نظر گرفت که در تبدیل مواد اولیه به محصول نهایی و تحویل آن به مشتری نهایی نقش دارند.

۲. همچنین چپرا [1] و میندل [۹] اذعان می‌دارند که زنجیره تأمین دربردارنده تمام بخش‌هایی است که به صورت مستقیم یا غیر مستقیم برای برآورده کردن خواسته‌های مشتری فعالیت می‌کنند. این تعریف دربردارنده چند نکته است:

(آ) زنجیره تأمین دربرگیرنده چند جزء مختلف است که ماهیت عملیاتی آن‌ها لزوما ماهیت حقوقی ندارد (ممکن است مالک چند جزء از عملیات زنجیره تأمین یکی باشد)

(ب) یک زنجیره تأمین حول خواسته مشتری شکل می‌گیرد. در حقیقت چیزی که زنجیره تأمین را بوجود می‌آورد (و به تبع آن استراتژی و ساختار آن را شکل می‌دهد و نوع فعالیت‌ها و نحوه انجام آن‌ها را مشخص می‌کند) آن خواسته‌ای از مشتری است که انتخاب می‌شود تا زنجیره تأمین به آن پاسخ دهد.

(ج) درست است که خواسته‌های مشتری برای تک تک اعضای زنجیره تأمین اهمیت دارد اما نمی‌توان گفت که همه آن‌ها فقط به خواسته مشتری جواب می‌دهند.

[1] Chopra and Meindel

بسیاری از اعضای زنجیره‌ها در چند زنجیره تأمین مشترکند و فعالیت‌هایی را انجام می‌دهند که به خواسته مشتری یک زنجیره تأمین خاص مستقیما ارتباط ندارد. به عنوان مثال خدمات حمل‌ونقل یا بیمه. اگرچه بدون این اجزا ارتباطات بین اعضای زنجیره برقرار نمی‌شود، اما برای مشتری به عنوان یک مصرف کننده اهمیتی ندارد که تلویزیون او را کدام کشتی حمل کرده است، مهم آن است که ویژگی‌های فنی و کیفی خاصی را داشته باشد.

(د) مشتری خواسته‌های مختلفی دارد. بر مبنای این خواسته‌ها می‌توان بازار را بخش‌بندی کرد. معمولا هر زنجیره تأمین قرار است که به خواسته‌های بخش خاصی از بازار پاسخ دهد. این مسئله را می‌توان در طراحی ساختار زنجیره تأمین مشاهده کرد.

توسعه روزافزون فضای رقابتی و جهانی شدن بازار محصولات موجب شده است که سازمان‌ها در جهت بقای خود، تلاش چشمگیری را در راستای بهینه‌سازی زنجیره تأمین خود بکار گیرند تا توان پاسخ‌گویی به نیازهای متنوع مشتریان را در حداقل زمان و با صرف حداقل هزینه داشته باشند. مدیریت زنجیره تأمین، مدیریت همه فرآیندهای ساخت و تأمین از مواد اولیه تا مشتری نهایی می‌باشد که کل زنجیره ارزش از استخراج مواد تا پایان عمر مفید محصول را در بر می‌گیرد. برخی فراتر رفته و بازیافت اولیه را نیز در محدوده مدیریت زنجیره تأمین می‌دانند. مفهوم مدیریت زنجیره تأمین با کنترل مواد و تولید تفاوت دارد. برای توضیح بیشتر می‌توان به چند جنبه که از منظر این موارد، مدیریت زنجیره تأمین به میزان چشمگیری از کنترل مواد و تولید به شیوه سنتی متفاوت است اشاره کرد:

i. مدیریت زنجیره تأمین بجای محول ساختن مسئولیت‌های مجزای حوزه‌های کارکردی به بخش‌های مختلف، زنجیره تأمین را به منزله یک هویت واحد می‌بینند.
ii. مدیریت زنجیره تأمین به تصمیم گیری استراتژیک نیازمند است. تدارک یک هدف مشترک از تمامی وظایف عملی زنجیره تأمین است و به خاطر تاثیر بر روی هزینه‌ها و نیز سهم بازار از اهمیت خاصی برخوردار است.
iii. مدیریت زنجیره تأمین نیازمند رویکرد جدیدی به سیستم‌ها است: یکپارچگی عنصر اساسی است. مدیریت زنجیره تأمین شامل مفاهیم زیادی می‌شود که از این میان می‌توان به مدیریت موجودی، طراحی شبکه زنجیره تأمین، بازاریابی، مدیریت ریسک و غیره اشاره کرد.

در نهایت مدیریت زنجیره تأمین عبارتست از فرآیند برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل کلیه عملیات مرتبط با زنجیره تأمین در بهینه‌ترین حالت ممکن. مدیریت زنجیره تأمین دربرگیرنده تمامی جابجایی‌ها و ذخیره مواد اولیه، موجودی در حین کار و محصول تمام شده از نقطه شروع

اولیه تا نقطه پایان مصرف می‌باشد. وظیفه مدیریت زنجیره تأمین، مدیریت و هماهنگ‌سازی جریان‌های مختلف درون آن می‌باشد. یکی از چالش‌های مهم مدیریتی در این زمینه، در رابطه با هماهنگ‌سازی جریان مواد بین چندین تسهیل و در درون تسهیلات شبکه زنجیره تأمین است. به منظور نیل به این مهم، نیازمند استفاده از تکنولوژی‌ها و ابزارهایی جهت ردگیری مواد در مسیر طی شده از مبداء به مقصد و ثبت اطلاعات در هر مرحله می‌باشیم. در کنار جریان کالا دو جریان دیگر، یکی جریان اطلاعات و دیگری جریان منابع مالی و اعتبارات نیز حضور دارند. امروزه حوزه‌های مختلفی از زنجیره تأمین مورد مطالعه قرار می‌گیرند از جمله این حوزه‌ها می‌توان به شبیه‌سازی زنجیره تأمین، مدیریت ریسک زنجیره تأمین، رهگیری در زنجیره تأمین، مهندسی مجدد زنجیره تأمین، برنامه‌ریزی تولید پیشرفته زنجیره تأمین، مدیریت پروژه‌های زنجیره تأمین، مدیریت توزیع و شبکه‌های تأمین، مدیریت زنجیره تأمین سبز، مدیریت ناوگان توزیع، مدیریت منابع انسانی، مدیریت اطلاعات، سامانه اطلاعاتی زنجیره تأمین و غیره اشاره کرد.

۲.۲ تاریخچه مدیریت زنجیره تأمین سبز

مدیریت زنجیره تأمین سبز توسط انجمن پژوهش صنعتی دانشگاه ایالتی میشیگان در سال ۱۹۹۶ معرفی شد که در واقع مدل مدیریت نوینی برای حفاظت از محیط زیست است. مدیریت زنجیره تأمین سبز از منظر چرخه عمر محصول شامل تمامی مراحل از مواد اولیه، طراحی و ساخت محصول، فروش محصول و حمل‌ونقل، استفاده از محصول و بازیافت محصولات می‌باشد. با استفاده از مدیریت زنجیره تأمین و فناوری سبز، شرکت می‌تواند تأثیرات منفی زیست محیطی را کاهش داده و به استفاده مطلوب از منابع و انرژی دست یابد [۵۱]. سبز کردن زنجیره تأمین، فرآیند در نظر گرفتن معیارها یا ملاحظات زیست محیطی در سرتاسر زنجیره تأمین است. مدیریت زنجیره تأمین سبز، یکپارچه‌کننده مدیریت زنجیره تأمین با الزامات زیست محیطی در تمام مراحل طراحی محصول، انتخاب و تأمین مواد اولیه، تولید و ساخت، فرآیندهای توزیع و انتقال، تحویل به مشتری و بالاخره پس از مصرف، مدیریت بازیافت و مصرف مجدد به منظور بیشینه کردن میزان بهره‌وری مصرف انرژی و منابع همراه با بهبود عملکرد کل زنجیره تأمین است [۴۸]. در بررسی اثرات زیست محیطی فعالیت‌های زنجیره تأمین به تحلیل اثرات محصولات بر محیط زیست به کمک رویکردی کلی نگر (شامل تحلیل دوره عمر محصول از آغاز تا پایان عمر آن) پرداخته می‌شود.

۳.۲ برخی از مؤلفه‌های زنجیره تأمین سبز

۱.۳.۲ طراحی سبز

طراحی سبز به این معنی است که شرکت باید شرح کامل زیست محیطی، سلامت انسان و ایمنی محصول را در روند کسب مواد اولیه، تولید، توزیع در نظر بگیرد و هدف آن جلوگیري از آلودگی در منبع است. در این میان باید به اثرات مختلف ساخت، فروش، بازیابی و استفاده مجدد از منظر توسعه پایدار توجه نموده و از سه گزینه اقتصاد بازیافت (کاهش، استفاده مجدد و بازیافت) به عنوان اصلی براي توسعه زنجیره تأمین استفاده نمود [۲۹].

۲.۳.۲ مواد سبز

به موادي اشاره دارد که در فرآیند تولید، منابع و انرژي کمتر مصرف نموده و سر و صداي کمتر ایجاد می‌نماید، غیرسمی بوده و موجب نابودي محیط زیست نمی‌شود. بنابراین، شرکت‌ها باید در کنار حفظ عملکرد اصلی محصولات، از مواد سبز براي رسیدن به اهداف زیست محیطی و بالا بردن بازده اقتصادي و کاهش هزینه‌ها استفاده نمایند. در روند انتخاب مواد، باید مواد با سهولت بازیابی و مستقل از محیط انتخاب شود.

۳.۳.۲ تولید سبز

تولید سبز به عنوان تولید پاك نیز شناخته شده است. در مراحل مختلف توسعه و یا در کشورهاي مختلف، نام‌هاي تولید سبز متفاوت است. اما معناي اصلی آن استفاده از استراتژي‌هاي دفاع از آلودگی براي کاهش آلودگی محیط زیست و با دیدگاه افزایشی راندمان تولید و کاهش مخاطرات انسانی و زیست محیطی می‌باشد.

۴.۳.۲ بازیافت سبز

بازیافت سبز به معنی بازیافت محصول و یا محصولات زائد شرکت است که ممکن است نقص داشته باشد. دور نگهداشتن فرآیند تولید از هدر رفتن منابع و آلودگی کمتر و اجتناب از آسیب رساندن به محیط و جامعه در طول فرآیند از اهداف بازیافت سبز می‌باشد. بازیافت نقش مهمی در چرخه عمر محصول بازي می‌کند. روش‌هاي متفاوت بازیافت ممکن است چرخه حیات را به یک دایره تبدیل کند. بازیافت ضایعات محصول می‌تواند میزان مصرف منابع را کاهش دهد.

۴.۲ فرآیند مدیریت لجستیک

همان‌گونه که بیان گردید مدیریت زنجیره تأمین مدیریت کلیه فرآیندهای تأمین، تولید و توزیع از تأمین کننده تا مشتری را شامل می‌شود که این زنجیره می‌تواند محصولات، اطلاعات و یا سرمایه را در بر گیرد. در جهان رو به رشد فعلی، شرکت‌های جهانی با چالش‌های جدی در ارزیابی و شکل‌دهی به سیستم‌ها و استراتژی‌های تولید و توزیع خود با هدف حداقل نمودن هزینه، حداکثر نمودن درآمد خالص، حداقل نمودن زمان تحویل و غیره مواجه هستند. در چنین شرایطی در نظر گرفتن کلیه عوامل مؤثر در زنجیره به منظور تطابق هرچه بیشتر مدل‌های ارائه شده با شرایط واقعی ضروری به نظر می‌رسد [۷].
لجستیک یا سیستم یکپارچه تولید ـ توزیع یکی از عواملی است که اجزای مختلف سازمان‌ها را به یکدیگر پیوند می‌دهد. اجزای لجستیکی یک سازمان عبارتند از [۱۵]:

- کارخانه‌های تولیدی
- مراکز توزیع
- مشتریان
- تأمین کنندگان مواد اولیه
- مراکز بازیافت محصولات استفاده شده و یا معیوب
- کانال‌های توزیع جهت اتصال کلیه اجزای فوق

در مسائل واقعی برنامه‌ریزی در زنجیره‌های تأمین، اغلب اهداف متضادی همچون حداقل سازی هزینه کل زنجیره، حداکثر سازی ارزش کل خرید مواد و قطعات، حداقل سازی اقلام معیوب و کمینه کردن تأخیر در تحویل محصولات و ... مد نظر قرار می‌گیرند که این موضوع پیچیدگی در مدل‌های برنامه‌ریزی زنجیره تأمین را موجب شده است. شرکت‌هایی که به دنبال توسعه فعالیت‌های خود می‌باشند در مدیریت زنجیره تأمین خود و برنامه‌ریزی تولید و موجودی آن با مسائل گوناگونی مواجه می‌شوند که به برخی از آن‌ها اشاره می‌کنیم:

- با توجه به افزایش عدم قطعیت و نوسانات تقاضای مشتریان در دنیای امروز، چگونه می‌توان برآورد مناسبی از تقاضای مشتریان داشت؟
- با توجه به پیش بینی شرکت از تقاضا و سفارش مشتریان چگونه باید تولید کرد؟
- هریک از کارخانه‌های ساخت در هر دوره زمانی چه میزان از هر محصول را تولید کنند؟
- چگونه باید با محصولات بازگشتی برخورد کرد، به گونه‌ای که بیشترین سود را برایمان داشته باشد؟
- در هر انبار چه میزان کالا باید نگهداری کرد؟

۵.۲ تصمیمات در زنجیره تأمین

تصمیمات مطرح در زنجیره تأمین را می‌توان در سه سطح زیر طبقه بندی کرد:

- سطح استراتژیک

برنامه‌ریزی بلند مدت در این سطح مد نظر قرار می‌گیرد. مکان‌یابی تسهیلات، تعیین ظرفیت تولید، نوع وسایل حمل‌ونقل و نوع سیستم اطلاعاتی از مهمترین تصمیمات مطرح در این سطح تصمیم‌گیری از زنجیره تأمین می‌باشد.

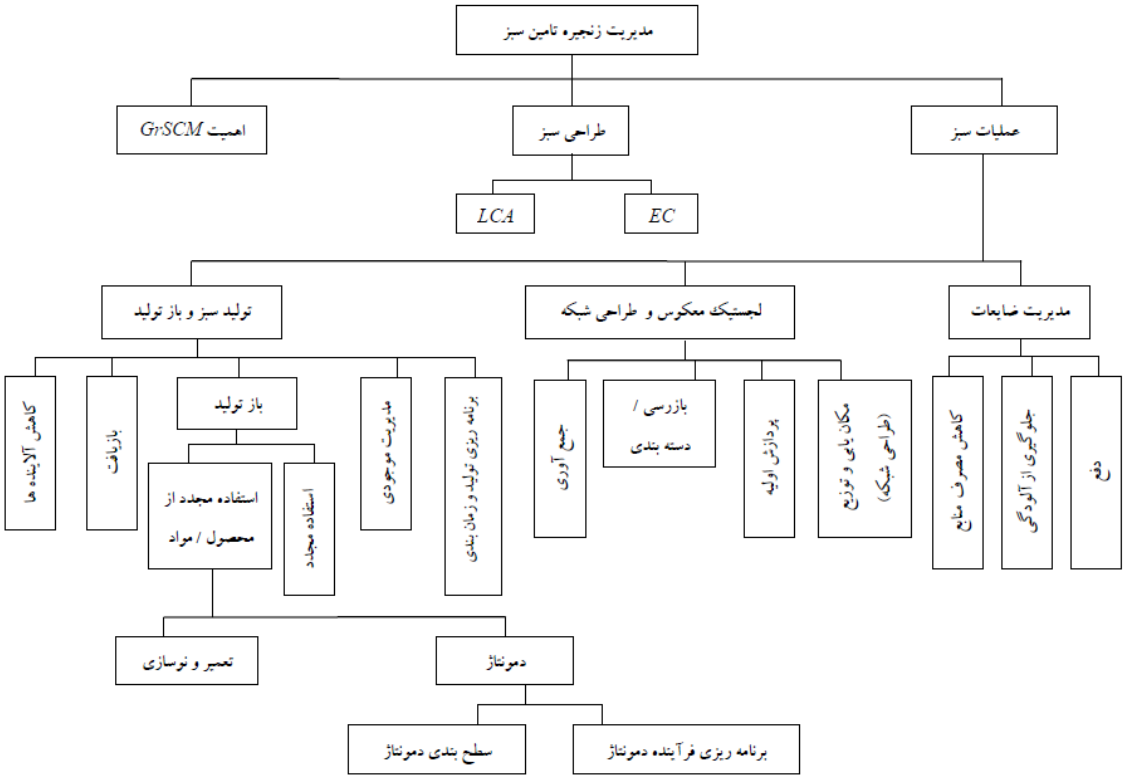
- سطح تاکتیکی

برنامه‌ریزی میان مدت با تصمیماتی همچون تعیین سطوح موجودی اقلام، برنامه‌ریزی تخفیف قیمت‌ها، تعیین تغذیه‌کنندگان هر یک از بازارها و ... در این سطح بررسی می‌گردد.

- سطح عملیاتی

برنامه‌ریزی کوتاه مدت در مورد چگونگی تخصیص محصولات به مشتریان، تعیین تاریخ تکمیل سفارشات، زمان‌بندی حرکت کامیون ها و ... در این سطح تصمیم‌گیری از زنجیره تأمین مد نظر قرار می‌گیرد.

۶.۲ زنجیره تأمین سبز



شکل ۱.۲: زنجیره تأمین سبز [۲۱]

زنجیره تأمین سبز، به زنجیره‌هایی اطلاق می‌شود که در آن‌ها مباحث محیطی بسیار مهم تلقی می‌شوند. دلیل بوجود آمدن چنین زنجیره‌هایی می‌تواند دو دلیل عمده داشته باشد. اول آن‌که نگرانی‌های عمومی در مورد شرایط محیطی بیش از پیش به چشم می‌خورد. دوم آن‌که قوانین محیطی شدید و بعضا جریمه‌های هنگفتی که سازمان‌های حفظ محیط زیست برای شرکت‌ها و کارخانه‌های خاطی در نظر می‌گیرد. نباید از این مسئله هم فارغ بود که منابع مواد خام کارخانه‌ها، محدود و تجدید ناپذیر است. دلایل فوق تنها جزئی کوچک از دلایلی است که امروزه، زنجیره تأمین سبز بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد. ابعاد و ابزار بسیاری در سبز کردن یک زنجیره تأمین وجود دارد.

به زعم آقای گوپتا [۲] [۲۱]، چهار مجموعه اصلی در سبز شدن یک زنجیره تأمین تاثیر دارند.

[2] Gupta

۱.۶.۲ طراحی محصول [۳]

در گذشته، طراحی محصول صرفا به گونه‌ای انجام می‌شد که از نظر هزینه، عملکرد و ساخت شرایط مطلوبی را داشته باشد. اما امروزه، مهم‌تر شدن مباحث مرتبط با محیط، سبب شده است تا طراحان محصول، بازگشت‌پذیری به محیط و دیگر عوامل محیطی را در نظر بگیرند. برای دسته‌بندی مدل‌ها و روش‌های طراحی محصول، سه دسته پیشنهاد شده است. اول طراحی برای ایکس [۴]، که از طراحان مختلف می‌خواهد تا به بررسی موشکافانه طراحی محصول از منظر کیفیت، ساخت و ...بپردازند به گونه‌ای که محصول امکان جداسازی قطعات از هم، بازیافت یا تعمیرات اساسی را دارا باشد.

برای این منظور طراحی برای ایکس به سه زیر مجموعه ''طراحی برای محیط'' [۵]، ''طراحی برای جداسازی قطعات'' [۶] و ''طراحی برای بازیافت'' [۷] تقسیم شده است. در طراحی برای محیط [۳۲] از روش خانه کیفیت سبز [۸] برای طراحی مؤثر استفاده شده است. در تحقیق صورت گرفته تأثیرات محیط زیستی، قیمت تمام شده و کیفیت محصول در فاز طراحی در نظر گرفته شده است.

از دیگر روش‌های بکار رفته که البته متداول‌ترین آن‌ها هم به شمار می‌رود، استفاده از آنالیز چرخه حیات [۹] است [۵۵]. در تحقیق ارائه شده توسط گروت [۱۹] از روش تریز، ابزارهای طراحی و چرخه حیات برای طراحی محصول استفاده شده است.

گاهی طراحی محصول به گونه‌ای انجام می‌شود که فرآیند جداسازی قطعات به آسانی انجام پذیرد [۵۶]. به عنوان نمونه در تحقیق کیواک [۲۷] روش جدیدی به نام ''آنالیز معماری اقتصادی'' [۱۰] معرفی شده است که در آن محصول به عنوان ترکیب ماژول‌هایی از قطعات در نظر گرفته می‌شود. برای طراحی بهتر، از استراتژی‌های بهینه برای نحوه ترکیب این ماژول‌ها استفاده می‌شود.

انتخاب مواد از جمله موارد دیگری است که در طراحی محصول مؤثر است. عوامل بسیاری در انتخاب مواد تأثیرگذارند که از جمله می‌توان به وزن، هزینه و فرآیندپذیری اشاره کرد. در تحقیقات اخیر عوامل زیست محیطی هم در انتخاب مواد با اهمیت تلقی می‌شود. برای نمونه [۵۲] به آنالیز هزینه مواد اولیه با رویکرد سبز [۱۱] پرداخته که در آن مواد اولیه‌ای با آلودگی کمتر پیشنهاد می‌شود.

---

[3] Product Design
[4] Design for X
[5] Design for Environment(DFE)
[6] Design for Disassembly
[7] Design for Recycling
[8] Green Quality Function Deployment (Green QFD)
[9] Life Cycle Analysis(LCA)
[10] Echo-architecture analysis
[11] Green material const analysis

۲.۶.۲ زنجیره تأمین معکوس [۱۲] و حلقه بسته

لجستیک معکوس تمامی فعالیت‌هایی را شامل می‌شود که به جمع‌آوری، بازیافت و حتی معدوم کردن [۱۳] محصولات استفاده شده در یک زنجیره تأمین می‌پردازد.
قوانین محیط زیستی شدید و از بین رفتن منابع اولیه تأثیر و اهمیت لجستیک معکوس را افزایش داده است. فعالیت‌های لجستیک معکوس نه تنها تأثیرات محیط زیستی دارد،بلکه حتی می‌تواند برای یک زنجیره تأمین سودده هم باشد. همچنین فعالیت‌های لجستیک معکوس می‌تواند هم‌افزایی برای فعالیت‌های لجستیک مستقیم یک زنجیره را داشته باشد بطوری‌که کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و تخصیص منابع مشترک از آن جمله است. با توجه به دلایل فوق، در سالیان اخیر به یکپارچگی سیستم‌های لجستیک در زنجیره تأمین توجه فراوانی شده است. به زنجیره‌هایی که تمام فعالیت‌های لجستیک معکوس و مستقیم را تواماً در نظر بگیرند، ”زنجیره تأمین حلقه بسته [۱۴] “ گویند. این پایان‌نامه نیز به طراحی مدل زنجیره تأمین حلقه بسته به عنوان بخشی از زنجیره تأمین سبز می‌پردازد.
تحقیقات مرتبط با زنجیره تأمین معکوس و حلقه بسته به چندین دسته تقسیم می‌شوند. بخش اعظمی از این پژوهش‌ها، مرتبط با مسائل طراحی شبکه زنجیره تأمین است، که یک از دسته‌بندی‌هایی که در این حوزه معمولا انجام می‌پذیرد، دو دسته قطعی [۱۵] و احتمالی [۱۶] نوع رویکرد مسئله، مدل‌سازی و نحوه حل مسائل قطعی و احتمالی بسیار متفاوت است. رویکرد غیرقطعی از نظر حل و مدل‌سازی دارای پیچیدگی‌های بیشتری است.
نحوه انتخاب محصولات دسته دوم، اندازه‌گیری کارایی، انتخاب و ارزیابی تأمین کنندگان [۱۷] ، مسائل مرتبط با بازاریابی محصولات دسته دوم، حمل‌ونقل و ... از موارد دیگری است که در بخش لجستیک معکوس مطرح می‌شوند.

۳.۶.۲ بازساخت [۱۸]

بازساخت، یک فرآیند صنعتی است که شامل تبدیل محصولات معیوب به محصولاتی با کیفیت از پیش تعیین شده و مشابه محصولات جدید می‌شود [۲]. در بازساخت، محصولات طی فرآیندی بصورت کامل قطعه به قطعه شده و قطعات معیوب، تعمیر یا تعویض می‌شود. محصول جدید تولید شده، به عنوان محصول مشابه نو، در بازارهای فروش محصولات دسته دوم عرضه می‌گردد.

[12] Reverse Logistics(RL)
[13] Disposal
[14] Closed-loop Supply Chain
[15] Deterministic
[16] Stochastic
[17] Supplier selection
[18] Remanufacture

تعداد متغیرهای دخیل در فرآیند بازساخت و مراحل آن، از محصول به محصولی دیگر می‌تواند متفاوت باشد. به همین دلیل است که محققان مبحث جداگانه‌ای را برای بازساخت مطرح کرده‌اند. پیش‌بینی [۱۹]، برنامه‌ریزی تولید [۲۰] و زمان‌بندی [۲۱]، مدیریت انبارداری [۲۲]، قیمت گذاری [۲۳] و بررسی تأثیرات قطعیت از جمله مباحثی است که در حوزه بازساخت توسط محققان مورد بررسی قرار گرفته‌است.

۷.۲ مقایسه مدیریت زنجیره تأمین سنتی و سبز

زنجیره تأمین سبز و زنجیره تأمین سنتی از جهاتی با یکدیگر متفاوت می‌باشند . اول اینکه، زنجیره‌هاي سنتی اغلب بر اهداف و ارزش‌هاي اقتصادي متمرکزند، در حالی که زنجیره‌هاي سبز به عوامل زیست محیطی ملاحظات قابل توجهی دارند. از سوي دیگر، زنجیره تأمین سبز، یکپارچه و بهینه از نظر بوم‌شناسی نه تنها در حوزه اثرات سموم انسانی گسترش یافته، بلکه به اثرات بوم‌شناسی منفی بر محیط زیست طبیعی نیز توجه دارد و الزامات بوم‌شناسی به عنوان معیارهاي کلیدي براي محصولات و تولیدات در نظر گرفته می‌شود.
معیارهاي انتخاب خریدار و فروشنده نیز در زنجیره تأمین سبز و سنتی از اساس متفاوت هستند. در زنجیره‌هاي سنتی، استاندارد غالب، قیمت می‌باشد. اما در زنجیره تأمین سبز، هدف زیست محیطی بخشی از معیارهاي انتخاب تأمین کننده است. قرار دادن این ضوابط زیست محیطی در ارزیابی تأمین کنندگان، موجب می‌شود تنها تعداد بسیار محدودي از تأمین کنندگان واجد معیارهاي تعریف شده باشند. از این رو، هرگونه تغییر در انتخاب تأمین کننده در یک زنجیره تأمین سبز نمی‌تواند به سرعت زنجیره‌هاي سنتی اتفاق بیفتد.
یکی از برداشت‌هاي اولیه در مورد معرفی محصولات سبز در بازار این است که منجر به هزینه‌هاي بالاتري از تولید در مقایسه با انواع سنتی می‌باشند. با این حال، یافته‌هاي اخیر نشان می‌دهد نوآوري‌ها و برنامه‌ریزي مطلوب تولید با استفاده از مواد بازیافتی می‌تواند به طور چشمگیري به کاهش هزینه‌ها در اکثر موارد کمک کند . براي اداره مؤثر مشکلات هزینه، بهره‌وری کل زنجیره تأمین باید ارزیابی شود. در مقایسه با زنجیره‌هاي سنتی، که درگیر تعداد زیادي مواد و تأمین کنندگان هستند، زنجیره تأمین سبز نسبتاً از لحاظ سرعت و انعطاف‌پذیري در سطح پایینی است.

[19] Forecasting
[20] Production planning
[21] Scheduling
[22] Inventory management
[23] Pricing

۸.۲ سبز نمودن مدیریت زنجیره تأمین

به طور کلی براي حرکت به سمت سبز نمودن زنجیره تأمین ۱۲ گام باید طی شود، این گام‌ها شامل موارد زیر می‌باشد [۳۹]:

۱. طراحی مجدد محصول
۲. پیکربندي مجدد کارخانه‌ها
۳. حرکت به سمت تأمین‌کنندگان سبز
۴. کوتاه نمودن مسافت‌ها
۵. اصلاح توافق‌نامه سطح خدمات
۶. بهینه‌سازي بسته‌بندي
۷. برنامه‌ریزي در خصوص فعالیت‌هاي زنجیره تأمین معکوس
۸. تحکیم حمل
۹. برنامه مسیریابی کوتاه‌تر
۱۰. هماهنگی با شرکا
۱۱. ارائه یک دید طول عمر
۱۲. آغاز

مطالعات حاکی از آن است که امروزه مدیریت زیست محیطی با تأکید بر حفاظت از محیط زیست به یکی از مهم‌ترین مسائل مشتریان، سهامداران، دولت‌ها، کارکنان و رقبا تبدیل شده و فشارهای جهانی، سازمان‌ها را ملزم به تولید محصولات و خدمات سازگار با محیط زیست کرده‌است. اغلب تصور می‌کنند زنجیره تأمین سبز یعنی کاهش یا استفاده نکردن از مواد مضر شیمیایی، که این تصور کاملا غلط بوده چرا که زنجیره پا را فراتر از این مرحله گذاشته و تمام بخش‌های یک سازمان یا کمپانی را مد نظر قرار می‌دهد. در واقع زنجیره تأمین سبز حاصل پیوند اهداف اقتصادی با اهداف زیست محیطی سازمان می‌باشد. مدیریت زنجیره تأمین سبز[۲۴] به دنبال تغییر مدل زنجیره خطی سنتی از تأمین کنندگان به کاربر است و سعی دارد اقتصاد بازیافت را به مدیریت زنجیره تأمین ملحق نماید. با انجام این کار، می‌توانیم یک شبکه حلقه بسته با حالت زنجیره چرخه‌ای داشته باشیم. اگر شرکت از مدیریت زنجیره تأمین سبز استفاده نماید، علاوه بر حل مشکلات محیط زیست به پیروزی نسبی در مزیت رقابتی نیز

[24] Green Supply Chain Management(GSCM)

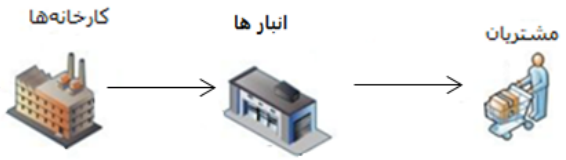
می‌تواند دست یابد. علاوه بر این، پیاده‌سازی مدیریت زنجیره تأمین سبز می‌تواند از موانع سبز در تجارت بین المللی اجتناب کند. بسیاری از شرکت‌های بزرگ خارجی مانند جنرال موتورز [۲۵]، هیولت پاکارد [۲۶]، پراکتر و گمبل [۲۷]، نایک [۲۸] و بسیاری از شرکت‌های دیگر، شهرت و تصویر نام تجاری خوبی برای محصول سبز از طریق پژوهش و پیاده‌سازی مدیریت زنجیره تأمین سبز به دست آورده‌اند.

مطالب بسیار زیادی درباره زنجیره تأمین در سال‌های اخیر منتشر شده است. بخشی از این مطالب به انواع زنجیره تأمین یا دیدگاه‌های مختلف زنجیره تأمین اشاره کرده است. در ادامه مطلب تلاش خواهد شد تا انواع زنجیره‌ی تأمین را معرفی کنیم.

۹.۲ انواع زنجیره تأمین

۱.۹.۲ زنجیره تأمین مستقیم [۲۹]

زنجیره مستقیم یا شبکه توزیع [۳۰] در واقع نماینده نگاه سنتی در مدیریت زنجیره تأمین است. زنجیره مستقیم به مراحلی اشاره دارد که محصول از مبدأ تأمین کننده تا مقصد مشتری نهایی را در زنجیره تأمین طی می‌کند. بنابراین بر هزینه‌های زنجیره تأمین و رضایت‌مندی مشتریان تأثیر مستقیم داشته و انگیزه اصلی در سودآوری کلی زنجیره محسوب می‌شود. همان‌گونه که در شکل ۲.۲ مشاهده می‌کنیم زنجیره مستقیم مدل طراحی شده شامل کارخانه‌ها، انبارها و مشتریان می‌باشد.

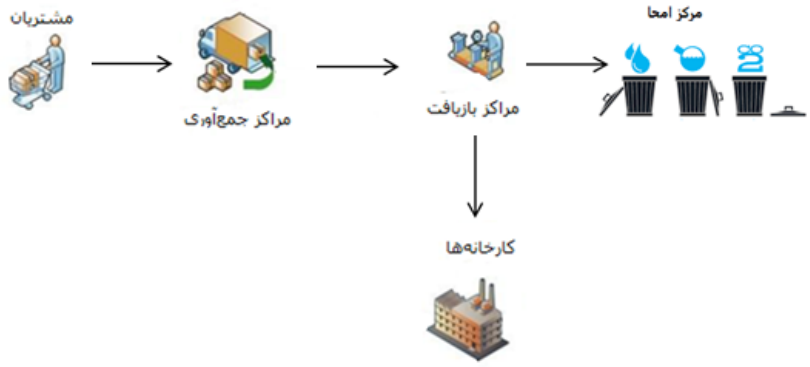


شکل ۲.۲: زنجیره تأمین مستقیم

[25] GM
[26] HP
[27] P & G
[28] NIKE
[29] Forward Supply Chain
[30] distribution network

۲.۹.۲ زنجیره تأمین معکوس [۳۱]

زنجیره تأمین معکوس نماینده نگاه نوین به زنجیره تأمین در قالب مدیریت زنجیره تأمین سبز می‌باشد. دلایل متعددی مانند توسعه پایدار، نگرانی‌های زیست محیطی، کمبود انرژی، کاهش منابع طبیعی و همچنین مسائلی مانند استفاده مجدد از محصولات معیوب، کاهش هزینه‌های بازگشت محصولات مرجوعی و بهبود آوازه شرکت موجب افزایش توجه به ایجاد زنجیره معکوس گردیده است. زنجیره تأمین معکوس به مراحلی اشاره دارد که محصول



شکل ۳.۲: زنجیره تأمین معکوس

برگشتی از مشتری نهایی تا مرحله بازگشت مجدد به بازار یا حذف از زنجیره را طی می‌کند. مشتری به دلایلی مانند پایان عمر محصول، خرابی محصول، از رده خارج شدن محصول و یا ملاحظات زیست محیطی، محصول را بر می‌گرداند و محصول یا بخشی از آن با طی مراحلی مانند جمع‌آوری، مونتاژ، بازگردانی، بازیافت و حذف دوباره به زنجیره بازگردانده شده و یا از زنجیره خارج می‌شود.

عمدتا فرآیندهای موجود در زنجیره‌های معکوس شامل جمع‌آوری، مرتب سازی و دسته‌بندی محصولات مرجوعی، انتقال محصولات مرجوعی به تسهیلات بازگردانی و بازیافت، انتقال محصولات قابل بازگردانی به تسهیلات تعمیر یا تولید مجدد و در نهایت حذف محصولات مرجوعی غیر قابل تعمیر و بازیافت می‌شود. به‌طور کلی زنجیره معکوس با چهار اصل دفع، جایگزینی، استفاده مجدد و بازیافت سر و کار دارد.

از جمله مباحثی که امروزه در حوزه لجستیک و مدیریت زنجیره تأمین صنایع مختلف مطرح است، موضوع ''لجستیک معکوس'' و ''مدیریت بازگشتی‌ها'' می‌باشد؛ امری که به نظر می‌رسد تاکنون در صنایع مختلف کشورمان به آن توجه جدی نشده است. طی دو دهه اخیر، شرکت‌ها و صنایع زیادی در کشورهای پیشرفته بررسی در این زمینه را آغاز کرده و لجستیک معکوس را یکی از فرآیندهای مهم در زنجیره تأمین خود در نظر گرفته‌اند. حتی به تازگی گواهینامه

[31] Reverse Supply Chain

ISO در خصوص فرآیندهای مرجوعی نیز توسط برخی از شرکت‌های پیشرفته دریافت شده است. امروزه در کشورهای پیشرفته جهان، سازمان‌های صنعتی، دولتی، تجاری و خدماتی بر فرآیندهای لجستیک معکوس و زنجیره تأمین تمرکز کرده‌اند که این مقوله در ایجاد ارزش اقتصادی واقعی کالاها و خدمات به همراه پشتیبانی از ملاحظات زیست محیطی نقش موثری دارد. این تمرکز اکنون در کلیه بازارها از جمله بخش‌های صنعتی و فناوری پیشرفته، تجاری و محصولات مصرفی رو به افزایش است.

آنچه که در جریان سنتی کالا وجود دارد و مدیران صنایع بر کنترل و مدیریت آن جریان تاکید می‌کنند جریان مستقیم یا رو به جلوی مواد و محصولات است که عمدتاً از طرف تأمین کنندگان به تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان، خرده‌فروشان و در نهایت مشتریان جریان دارد. اما در بسیاری از صنایع، جریان مهم دیگری نیز در زنجیره‌های تأمین وجود دارد که به طور معکوس شکل گرفته و در آن، محصولات از سطوح پائین زنجیره تأمین به سطوح بالاتر عودت داده می‌شوند. لجستیک معکوس به دنبال بررسی و مدیریت جریان‌های معکوس یا به عبارتی جریان‌های رو به عقب در زنجیره‌های تأمین است.

لجستیک معکوس را می‌توان به اینصورت تعریف کرد: « هماهنگی و کنترل کامل، بارگیری و تحویل فیزیکی مواد، قطعات و محصولات، از محل مصرف به محل عملیات و بازیابی یا دفع و سپس بازگرداندن متعاقب به محل مصرف در موارد مناسب ».

بکارگیری صحیح لجستیک معکوس نه تنها مدیریت را قادر می‌سازد که جریان محصولات بازگشتی را به‌طور مؤثر مدیریت کند بلکه باعث تشخیص فرصت‌هایی برای کاهش بازگشتی‌های ناخواسته و کنترل سرمایه‌های قابل استفاده مجدد می‌شود. مدیریت مؤثر بازگشتی‌ها در زنجیره‌های تأمین یک بخش مهم در مدیریت زنجیره تأمین است که فرصت حصول یک مزیت رقابتی پایدار را برای زنجیره تامین فراهم می‌سازد.

اگرچه فعالیت‌های زیادی را می‌توان در قالب لجستیک معکوس در نظر گرفت اما برخی از اهم فعالیت‌های لجستیک معکوس که عمدتاً به طور اختصاصی در این حوزه مطرح است، عبارتست از تعمیر و تعویض، نوسازی محصول، ساخت مجدد، بازیافت، فروش مجدد و استفاده مجدد. البته لجستیک معکوس تنها به استفاده مجدد یا بازیافت محدود نمی‌شود؛ بلکه طراحی مجدد بسته‌بندی‌ها به منظور استفاده کمتر از مواد در آن‌ها و یا کاهش انرژی و آلودگی ناشی از حمل محصولات را نیز می‌توان بخشی از لجستیک معکوس تحت عنوان ''لجستیک سبز'' دانست.

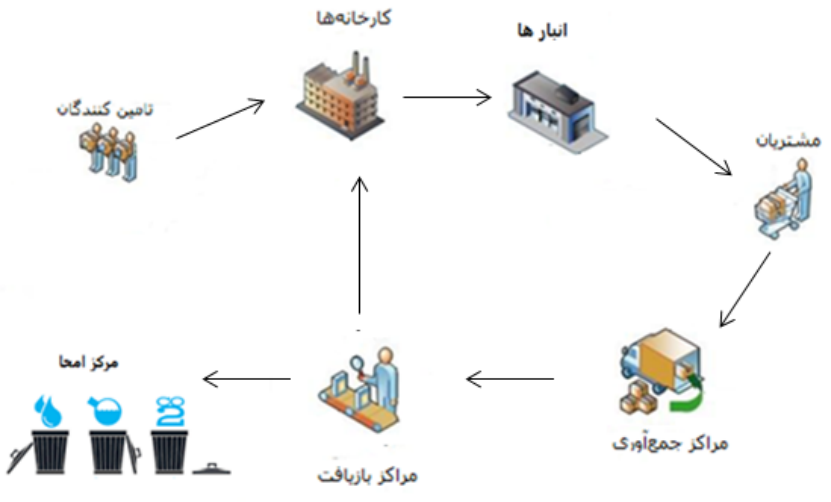
در خصوص اهمیت و جایگاه لجستیک معکوس در هزینه‌ها و قیمت تمام شده محصولات می‌توان به برخی از بررسی‌های صورت گرفته در آمریکا اشاره کرد. این بررسی‌ها نشان می‌دهند که در حدود ۴ درصد هزینه‌های لجستیکی هر شرکت، مربوط به لجستیک معکوس است که البته این سهم در شرکت‌ها و صنایعی که محصولات آن‌ها دارای کیفیت پایین‌تری بوده و از فناوری پیشرفته بهره‌مند نیستند بالاتر است. لازم به تاکید است که لجستیک معکوس به ماهیت هر صنعت بستگی دارد؛ اما آنچه که مسلم است، هزینه‌های مربوط به آن رقم قابل توجهی از هزینه‌های هر صنعت را به خود اختصاص می‌دهد.

به‌طور کلی، لجستیک معکوس در صنایعی که ارزش محصولات بسیار بالا است و یا درصد مرجوعی‌ها قابل توجه است، از اهمیت بیشتری برخوردار است. با دانستن این موضوع که هزینه پردازش یک محصول مرجوعی ممکن است دو تا سه برابر هزینه حمل‌ونقل بیرونی آن باشد، بیشتر به اهمیت و ضرورت توجه به مقوله لجستیک معکوس در صنایع پی می‌بریم.

زنجیره معکوس به دو نوع حلقه بسته و حلقه باز تفکیک می‌شود. لجستیک معکوس ارتباطی بین بازار محصولات جدید و بازار محصولات مرجوعی برقرار می‌کند. در صورتی که این دو بازار بر هم منطبق شوند، شبکه حلقه بسته و در غیر این صورت حلقه باز نامیده می‌شود. به عبارت ساده‌تر در صورتی که لجستیک مستقیم و معکوس یکپارچه شوند، تحت عنوان لجستیک حلقه بسته خوانده می‌شود. به عنوان نمونه، محصولات مرجوعی از دو مسیر به زنجیره مستقیم برمی‌گردند:

- در صورتی که بازیابی شوند، به عنوان محصول جدید برمی‌گردند.
- در صورتی که بازیابی نشوند، اجزا سالم آن به عنوان ماده اولیه برگشته و یا بازیافت می‌شوند.

لجستیک معکوس و زنجیره تأمین حلقه بسته، از لحاظ جنبه‌های محیطی، اجتماعی و اقتصادی، مورد توجه هر دو قشر دانشگاه و فعالان این عرصه قرار گرفته است. از آنجایی که باز کردن و بستن تسهیلات، هم زمان‌بر و هم پرهزینه هستند، تغییر طراحی شبکه در اجرای کوتاه مدت غیرممکن است. علاوه بر این، به دلیل این که بعد از انجام تصمیمات استراتژیک، تصمیمات عملیاتی و تاکتیکی انجام می‌شود لذا پیکربندی شبکه‌های لجستیک بر تصمیمات عملیاتی و تاکتیکی تأثیرگذار است و نیاز است به یک طراحی بهینه برای شبکه‌های لجستیک برسیم. [۳۵].



شکل ۴.۲: زنجیره تأمین حلقه بسته

در طول دهه‌های اخیر، توجه زیادی به سمت لجستیک معکوس معطوف شده‌است که نشان دهنده فعالیت‌هایی مانند جمع‌آوری، بازگردانی، تعمیر، بازیابی، تولید مجدد، دفع محصولات استفاده شده است. تعداد زیادی از کمپانی‌ها مانند دل [۳۲]، ژنرال موتور [۳۳]، کوداک [۳۴] و زیروکس [۳۵] روی این فعالیت‌ها تمرکز کرده و موفقیت‌های زیادی به دست آورده‌اند [۵۳]. دلایل اصلی این توجه زیاد فاکتورهای اقتصادی و محیط زیستی می‌باشد. این فاکتورهای محیط زیستی مربوط به تاثیرات محیط زیستی محصولات استفاده شده، قوانین زیست محیطی، مدیریت مواد زائد، توجه فزاینده مشتریان به مسائل زیست محیطی و کاهش آلودگی است. فاکتورهای اقتصادی شامل سودهای اقتصادی استفاده از محصولات بازگشتی، بهبود رضایت مشتری، افزایش به اشتراک گذاری بازار و کاهش هزینه‌ها است. [۳۴].

طراحی مناسب و کارای شبکه‌های لجستیک منجر به رسیدن به این اهداف می‌شود. از این رو، پیکربندی شبکه‌های لجستیک به صورت یک موضوع مهم در مدیریت زنجیره تأمین بیان می‌شود که تأثیر زیادی روی کارایی زنجیره تأمین دارد. ادبیات مربوط به مسائل طراحی شبکه‌های لجستیک می‌تواند به سه بخش کلی تقسیم شود که شامل

- طراحی شبکه‌های لجستیک مستقیم [۳۶]
- طراحی شبکه‌های لجستیک معکوس [۳۷]
- طراحی شبکه‌های لجستیک یکپارچه‌ی مستقیم و معکوس [۳۸]

است. شبکه‌های لجستیک معکوس روی شبکه رو به عقب تمرکز می‌کنند که به‌عنوان شبکه بازیابی نیز شناخته می‌شوند. با در نظر گرفتن این حقیقت که طراحی شبکه‌های لجستیک مستقیم و معکوس به صورت جدا منجر به طرح‌های زیر بهینه می‌شوند لذا، پیکربندی این شبکه‌ها باید به صورت یکپارچه صورت گیرد تا نتایج بهتری حاصل شود [۱۷، ۲۸]. در نهایت دلایل اصلی که باعث می‌شود محصولات مستعمل برای شرکت‌ها جذاب شوند، دو مورد است که اولین آن، جنبه زیست محیطی جمع آوری محصولات مستعمل است. امروزه به دلیل قوانین زیست محیطی سخت‌گیرانه، کارخانجات نیاز به طراحی محصولات و فرآیندهای تولیدی خواهند داشت که قادر به بازیابی محصولات مستعمل می‌باشد. مورد دوم، جنبه اقتصادی است. بازیابی می‌تواند هزینه‌های واحد تولید را ۴۰ تا ۶۰ درصد با استفاده مجدد از مواد بازیافتی کاهش دهد [۴]. هدف از این پایان‌نامه، ارائه مدلی برای طراحی یکپارچه شبکه‌های لجستیک مستقیم و معکوس می‌باشد. این مدل برای جایابی مراکز بازیافت پلی

[32] Dell
[33] General Motors
[34] Kodak
[35] Xerox
[36] FLND(Forward Lagastic Network Design)
[37] RLND(Reverse Lagastic Network Design)
[38] IFRLND(Integrated Forward/Reverse Lagastic Network Design)

استایرن در تهران مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شبکه که محصولات تولیدی آن

۱. ظروف یکبار مصرف
۲. عایق‌های حرارتی و رطوبتی
۳. کانال‌های پیش ساخته کولر

است برای تولید محصولاتش از پلی استایرن استفاده می‌کند. ابتدا بطور مختصر به معرفی پلی استایرن و کاربردهای آن می‌پردازیم:

۱۰.۲ پلی استایرن

استايرن يك مايع زلال، شفاف، بي رنگ و با بوي تند است كه هم در طبيعت يافت مي‌شود و هم به صورت مصنوعي از مواد نفتي به دست مي‌آيد. استايرن طبيعي در بعضي از سبزيجات، مواد خام و غذاها مانند توت فرنگي، دارچين، گوشت گاو، دانه‌هاي قهوه، بادام زميني، گندم، جو دوسر، هلو و شفتالو وجود دارد. استايرن مصنوعي در ساخت هزاران نوع از محصولات، از ظروف غذا و مواد بسته بندي تا خودرو، اسباب بازي، بدنه قايق و كامپيوتر و ... بكار مي‌رود.
اولین بار در سال ۱۹۴۰ پلی‌استایرن توسط شرکت آلمانی فاربن ایندااستریز [۳۹] تولید و به عنوان عایق در صنایع الکترونیک مصرف می‌شد.
امروزه پلی‌استایرن یکی از معروفترین پلاستیک‌هایی است که در صنایع مصرف می‌شود. این محصول در سال ۱۳۳۴ برای اولین بار در ایران به کوشش شرکت یونولیت تولید شد، از این‌رو در ایران به نام یونولیت شناخته می‌شود. از ترکیب اتیلن و بنزن، اتیل بنزن تولید شده و با هیدروژن‌گیری از اتیل بنزن، استایرن بدست می‌آید. استایرن به کمک اکسیژن، عامل اکسیداسیون و یا نور به عنوان کاتالیزور طی فرآیند پلیمریزاسیون رادیکال آزاد پلیمریزه شده و پلی‌استایرن تولید می‌شود. پلی‌استایرن را می‌توان به سه نوع زیر تقسیم کرد:

۱. گرید GPPS [۴۰] یا گرید معمولی، هموپلیمری است سخت و شفاف و دارای خصوصیت شکل‌پذیری عالی و دارای قیمت بسیار مناسب است. همچنین باید گفت این پلیمر در حالت اصلاح نشده شکننده است؛ در صنعت و بازار به این پلیمر، کریستال نیز گفته می‌شود و بیشترین مصرف آن تولید ظروف یکبار مصرف است. این بسپار به دلیل خواصی مانند شفافیت، مقاومت در برابر جذب رطوبت، نداشتن بو و مزه، عایق الکتریسته و نیز خاصیت قالب‌پذیری خوب با استقبال فراوانی روبرو شد. به همین جهت این بسپار در ساخت وسایلی نظیر لوازم بهداشتی، ورزشی، صنایع اتومبیل سازی، لوازم خانگی، صنایع الکتریکی، کامپیوتر، پنکه، ریش تراش و ... بکار می‌رود.

[39] I.G.Farben industries
[40] General Purpose Polystyrene

۲. گرید HIPS [۴۱] یا گرید مقاوم و ضدضربه، کوپلیمری از پلی استایرن است که با مولکول‌های الاستومری مانند بوتادین ضربه‌پذیری آن اصلاح شده است. ضربه‌پذیری پایین گرید معمولی باعث گردید که پلی استایرن اصلاح شده یا مقاوم، به شدت رشد کرده و در رده‌ی بسپارهای پرمصرف قرار گیرد .از خصوصیات برجسته‌ی این گرید، خواص مکانیکی، به خصوص ضربه‌پذیری خوب همراه با قیمت مناسب است که کاربرد آن را در ساخت انواع وسایل و تجهیزات میسر می‌سازد .اصلاح پلی استایرن موجب افزایش چقرمگی، استحکام ضربه‌ای و افزایش کشش طول می‌گردد. این عمل شفافیت پلی استایرن را نیز از بین می‌برد. پلاستیک‌های پلی استایرن اصلاح شده با لاستیک، معمولا در ساخت تلویزیون، لوازم خانگی، قسمت‌های داخلی یخچال نظیر سینی‌ها، طبقات، پوشش‌های داخلی، ظروف نگهداری و ... بکار می‌رود.

۳. گرید EPS [۴۲] یا گرید انبساطی که اگر عامل پف کردن به گرانول پلی استایرن افزوده شود به آن EPS گویند که گرانول آن سبک و سفید رنگ است. گرانول EPS حاوی گاز پنتان است که در صورت خروج از دانه‌های پلی استایرن این دانه‌ها تا ۴۰ برابر اندازه اولیه با افزایش حجم رو به رو می‌شوند. این گرانول‌ها در قالب به همراه جریان هوای داغ یا بخار داغ پف کرده و به صورت فوم در می‌آیند و کل قالب را پر می‌کنند. از مهم‌ترین مزایای این پلیمر ضدحریق بودن و مقاومت عالی در برابر آب و رطوبت است . کاربردهای مهم آن در صنعت ساختمان و در ساخت عایق‌ها و بلوک‌های سقفی و دیواری و پانل‌های سه بعدی است. پلی استایرن انبساطی یا پلاستوفوم، نوعی پلیمر سفید رنگ و عایق رطوبت و صدا و حرارت است .این ماده برای اولین بار در جنگ جهانی دوم توسط آلمان برای ساخت پل‌های شناور روی آب ساخته شد. از این ماده برای عایق‌سازی، ساخت وسایل نیازمند عایق حرارتی، بسته‌بندی ابزار حساس الکتریکی، الکترونیکی و مکانیکی نظیر ساخت سردخانه، عایق‌سازی صوتی و حرارتی دیوارها، ساخت ماکت و کاردستی، دکور فضای موقت، ساخت سازه‌های سبک، یخدان و ... استفاده می‌شود و به نام‌های تجاری دیگر نظیر '' پلی فوم '' و ''استایروفوم '' نیز شناخته می‌شود.

در چند دهه گذشته، تجزیه ضایعات پلاستیکی به عنوان یکی از مسائل مهم محیط زیست مطرح شده است و بازیافت ضایعات به عنوان راه‌کاری برای بازیابی منابع و رفع دغدغه‌های زیست محیطی مورد توجه قرار گرفته است. بخش قابل توجهی از ضایعات شهری و صنعتی از ترکیبات پلی‌استایرن می‌باشند که این موضوع نیاز به بازیافت پلی‌استایرن را به خوبی نشان می‌دهد. در این پایان‌نامه، مدل طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته را توضیح می‌دهیم که کاربرد آن در تولید همزمان محصولات از پلی استایرن و بازیافت مواد پلاستیکی برای تولید پلی استایرن بررسی می‌شود.

[41] High Impact Polystyrene
[42] Expandable polystyrene

در بخش بعدی، ادبیات پیش زمینه‌ای در مورد زنجیره تأمین حلقه بسته و لجستیک معکوس ارائه شده است که روی ارزیابی‌های محیطی و اقتصادی تمرکز کرده است. در بخش جهارم، مدل ریاضی توسعه داده شده بیان می‌شود. در بخش پنجم، مطالعه موردی بیان می‌شود و با تحلیل حساسیت روی برخی از داده‌ها به بررسی نتایج حاصله می‌پردازیم. در بخش ۶، نتیجه‌گیری‌های نهایی و کارهای آتی بیان شده است.

فصل ۳

ادبیات زنجیره تأمین حلقه بسته و لجستیک معکوس

۱.۳ مقدمه

مطالعات زیادی در مورد طراحی شبکه‌های لجستیک به عنوان کاربردی از مدل‌های تعیین مکان تسهیلات وجود دارند که بسیاری از آن‌ها بر اساس مدل برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح با آزادسازی خطی عدد صحیح [۱] طراحی شده‌اند. این مطالعات یک دامنه وسیعی از مدل‌ها شامل مدل‌های چند مرحله‌ای، تک دوره‌ای و چند محصولی را بیان می‌کنند. ملو و همکاران [۲] [۳۶] و همچنین کلیبی و همکاران [۳] [۲۵] مرور جامعی از مسائل طراحی شبکه‌های لجستیک ارائه دادند. در ادامه، ما ادبیات مدل‌های بیان شده در مورد مسئله طراحی شبکه‌های لجستیک را با تقسیم آن‌ها به شبکه‌های لجستیک رو به جلو [۴] ، شبکه‌های لجستیک معکوس [۵] و شبکه‌های لجستیکی یکپارچه مستقیم و معکوس [۶] را مرور می‌کنیم.

[1] MILP
[2] Melo et al.
[3] Klibi et al.
[4] FLN
[5] RLN
[6] IFRLN

در زمینه شبکه لجستیک رو به جلو که به صورت زنجیره تأمین سنتی شناخته می‌شود، مدل‌های زیادی توسعه داده شده است. امیری [۳] یک مدل MILP برای لجستیک مستقیم چند مرحله‌ای با تسهیلاتی ارائه کرد که دارای سطوح ظرفیتی چندگانه است. مدل او، نه تنها قادر به پیدا کردن تعداد و مکان تسهیلات بود، بلکه سطح ظرفیت بهینه برای هر تسهیلات را تعیین می‌کرد. میراندا و گاریدو [۷] [۳۷] یک برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح با آزادسازی غیرخطی [۸] برای لجستیک مستقیم ارائه کردند که تصمیمات کنترلی موجودی مانند سطوح موجودی انبار را نیز در بر می‌گرفت و یک رویکرد ابتکاری براساس آزادسازی لاگرانژ برای حل آن توسعه داده شد.

۲.۳ مرور ادبیات مقالات لجستیک معکوس

مقالات زیادی در مورد لجستیک معکوس تاکنون به چاپ رسیده است. اما بسیاری از آن‌ها تا پیش از سال ۲۰۰۱ تنها شامل لجستیک معکوس بودند. اما فلایشمن و همکاران [۹] [۱۷] شبکه‌ای را ارائه نمودند که شامل کارخانه‌ها، انبارها و مراکز مونتاژ بود. آن‌ها با ارائه این مدل قصد داشتند نشان بدهند در صورتی‌که لجستیک رفت و معکوس را همزمان با یکدیگر در نظر بگیریم، هزینه‌ی کمتری نسبت به زمانی که آن‌ها را بصورت جداگانه در نظر بگیریم، متقبل خواهیم شد. آن‌ها دو مورد را بدین منظور در صنعت بررسی کردند: بازیافت کاغذ و دستگاه‌های تکثیر.

در مقالات دیگری نیز سعی شد با بررسی و مثالی از صنعت به اهمیت موضوع اشاره نمایند. بطور مثال مقاله‌ی [۵۰] که در آن به بررسی کارخانه‌های تولید کامپیوتر در تایوان پرداخته شده و یا مقاله‌ی [۱۳] که در زمینه‌ی مکانیک فلزات [۱۰] بود.

این روند در مقالات چاپ شده پس از آن نیز ادامه داشت. بطور مثال در زمینه‌ی تک‌دوره‌ای و در فضای قطعی [۳۱] شبکه‌ای را ارائه نمودند که شامل تولید کنندگان، مراکز بازسازی [۱۱]، مراکز اسقاط و مراکز واسطه بود. در مدل آن‌ها کالاها پس از ساخت توسط تولید کنندگان تحویل مشتریان می‌شود. کالاهای بازیافتی پس از جمع‌آوری توسط مراکز واسطه به دو دسته تقسی می‌شوند. کالاهایی که باید از رده خارج شوند و کالاهایی که برای انجام یک سری عملیات به تولید کنندگان تحویل داده شوند.

اخیراً نیز وانگ و همکاران [۱۲] [۵۷] مقاله‌ای در فضای قطعی و تک‌دوره‌ای ارائه دادند. شبکه ارائه شده شامل ۴ لایه بود: کارخانه‌ها، مراکز پخش، تأمین کنندگان و مراکز بازیافت. در

[7] Miranda and Garrido
[8] MINLP
[9] Fleischmann et al.
[10] Metal - mechanic
[11] Remanufacturing
[12] Wang et al.

این مدل مراکز پخش، کار جمع‌آوری کالاهای بازگشتی را انجام می‌دادند. پس از جمع‌آوری کالاها، آن‌ها به مراکز بازیافت فرستاده و در آنجا با توجه به نوع آن‌ها، یا به کارخانه‌ها فرستاد و یا بطور کامل از رده خارج می‌شدند. در نهایت الگوریتم ژنتیک حل مدل به کار گرفته شد. باید توجه داشت که تقاضای مشتریان و میزان کالاهای بازگشتی لزوماً مقدار معینی نمی‌باشد، لذا عدم قطعیت نقش مهمی در این زمینه ایفا می‌کند. مقالات متعددی در این زمینه وجود دارد، برای کارهای صورت گرفته چه در این زمینه و چه در فضای قطعی می‌توان به مقاله‌های [۱۶] و [۳۶] مراجعه نمود.

اما از کارهایی اخیراً صورت گرفته، می‌توان به مقاله [۴۵] اشاره کرد. در این مقاله سعی بر تجمیع کارهایی بود که پیش از آن‌ها صورت گرفته است. آن‌ها علاوه بر این‌که برنامه‌ریزی تولید و پخش را در مدل لحاظ کردند، محدودیت ظرفیت را نیز در مدل لحاظ نمودند. از دیگر مواردی که می‌توان به آن اشاره کرد، در نظر گرفتن هم‌زمان چندین محصول است. شبکه‌ی آن‌ها شامل کارخانه‌ها، انبارها، مراکز دمونتاژ و مشتریان بود. در نهایت آن‌ها عدم قطعیت را از طریق سناریو در مدل گنجاندند و به کمک نرم‌افزار GAMS و CPLEX مدل را حل نمودند.

لجستیک معکوس همانطور که توسط فلایشمن و همکاران [۱۳] [۱۶] تعریف شد، ”به فعالیت‌های لجستیکی می‌پردازد که در آن محصولات مستعمل که مورد نیاز کاربر نیستند به محصولاتی که دوباره در فروشگاه‌ها مورد استفاده هستند تبدیل می‌شود“. شبکه لجستیک معکوس، تاکید را در جریان رو به عقب مواد و محصولات از مشتری به سمت تامین کننده، کارخانه و یا مراکز پخش قرار می‌دهد.

از دیدگاه آراس و همکاران [۱۴] [۴]، انگیزه اصلی شرکت‌ها برای جمع‌آوری محصولات استفاده شده کاربران، حفظ محیط زیست است که مقداری از این هزینه از طریق بازیابی محصولات برگردانده می‌شود. تعداد زیادی از مطالعات انجام شده برای کاربردهای مختلف در این زمینه عبارتند از: بازیابی شن و ماسه ساختمانی [۵] ، بازیابی فرش [۳۰، ۴۳] ، بازیابی کاغذ [۲۴] ، بازیابی باتری [۲۳] و صنعت فولاد و آهن [۵۴] از این موارد هستند. یکی از کارهای اصلی در مسئله لجستیک معکوس، مدل MILP ارائه شده توسط باروس و همکاران [۱۵] [۵] برای شبکه بازیافت شن و ماسه ساختمانی است که با استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری حل شده است.

جایارمن و همکاران [۱۶] [۲۲] ، یک مدل MILP برای لجستیک معکوس طبق سیستم کششی [۱۷] بر اساس تقاضاهای مشتریان برای محصولات بازگشتی ارائه دادند. هدف رویکرد پیشنهادی، کمینه‌سازی هزینه‌های کلی است. علاوه بر این، کریکه و همکاران [۱۸] [۲۶] یک مدل MILP

[13] Fleischmann et al.
[14] Aras et al.
[15] Barros et al.
[16] Jayaraman et al.
[17] pull
[18] Krikke et al.

برای لجستیک معکوس دو مرحله‌ای برای کارخانه دستگاه کپی ارائه کردند. در بسیاری از تحقیقات اخیر، طراحی لجستیک‌های رو به جلو و معکوس، به صورت جداگانه بررسی شده‌است. به هر حال، پیکربندی لجستیک مستقیم به صورت مؤثری تحت تأثیر لجستیک معکوس قرار گرفته است. از این رو، برای پرهیز از زیربهینگی ، طراحی رو به جلو و معکوس در شبکه‌های لجستیک باید ادغام شود [۲۸].
یک شبکه‌ی لجستیک یکپارچه مستقیم و معکوس شامل تأمین مواد برای تأمین کننده‌ها، تبدیل این مواد به محصولات نهایی، حمل آن‌ها به مراکز انبار مناسب و تحویل آن‌ها به نواحی مشتری، سپس جمع‌آوری محصولات استفاده شده از مشتری و در نهایت بازیابی و یا تولید مجدد و دفع آن‌ها به روش درست است. اولین بار، این نوع از شبکه‌های لجستیک توسط فلایشمن و همکاران[۱۹] [۱۷] ارائه شد. برای نشان دادن کارایی و سود رسانی ترکیب شبکه‌ها، دو نوع از کارخانه‌های تولید دستگاه کپی و بازیافت کاغذ، برای بررسی مدل استفاده شدند. آن‌ها دریافتند که یک رویکرد ترکیبی، موجب بهینه‌سازی شده و می‌تواند منافع هزینه‌ای مناسبی در برابر رویکردهای جداگانه داشته باشد.

فلایشمن و همکاران [۱۶] بیان می‌کنند که با وجود بیشتر شدن پیچیدگی‌های مسئله بایستی جریان های مستقیم و معکوس بطور همزمان در نظر گرفته شوند تا در نهایت منجر به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی مناسب شوند. در واقع، تحقیقات زنجیره تأمین حلقه بسته [۲۰] به طور قابل ملاحظه‌ای تکامل یافته و در بسیاری از مقالات به چاپ رسیده است.
در ادامه فلایشمن و همکاران [۱۷] تاثیرات بازیابی محصولات در تصمیمات تعیین مکان را بررسی کردند. گاید و ون‌وسنهو [۲۱] [۲۰] ادعا می‌کنند که زنجیره تأمین باید به صورت یک سیستم حلقه بسته بررسی شود که در آن فعالیت‌های لجستیک معکوس مانند جمع‌آوری، انتقال و پردازش مجدد محصولات جمع‌آوری شده در نظر گرفته شوند. سالما و همکاران [۲۲] [۴۶] نیز برنامه‌ریزی تاکتیکی و استراتژیکی برای طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته در یک چارچوب مدل‌سازی عمومی در نظر گرفت.
در مدل ارائه شده توسط برونا موتا و همکاران [۲۳] [۸] سه بعد پایداری اقتصادی، محیط زیستی و اجتماعی در یک مرکز تولید کننده و توزیع کننده باتری در کشور پرتغال در نظر گرفته شده است. هدف مسئله بیان شده در این مقاله، تعیین شبکه زنجیره تأمین و تصمیمات مربوط به آن است که بطور همزمان هزینه‌ها و تأثیرات زیست محیطی را کم کرده و سودهای اجتماعی را زیاد کند. در این چهارچوب مدل‌سازی عمومی، تصمیمات در سطح طراحی برای بازه زمانی مشخصی مثلاً یک سال در نظر گرفته شده‌اند که بایستی میزان عرضه و تقاضا را ارضا کنند.

[19] Fleischmann et al.
[20] Close Loop Supply Chain
[21] Guide and Van Wassenhove
[22] Salema et al.
[23] Bruna Mota et al.

مدل بصورت یک مسئله برنامه‌ریزی خطی ترکیبی صحیح [۲۴] ارائه شده‌است. محدودیت‌های مدل شامل محدودیت جریان مواد، عرضه و تقاضا، ظرفیت انبارها و کارخانه‌ها و ... می‌باشد. سپس در ادامه به بررسی هزینه‌های اقتصادی، تأثیرات محیط زیستی و تأثیرات اجتماعی می‌پردازد. از جمله هزینه‌های اقتصادی در نظر گرفته‌شده هزینه حمل‌ونقل، هزینه خرید مواد اولیه از تأمین کنندگان، هزینه نیروهای انسانی و ... است. ارزیابی تأثیرات محیط زیستی با استفاده از Re-CiPe 2008 مشخص می‌شوند و میزان آلودگی‌ها در تمام واحدها و قسمت حمل‌ونقل اندازه‌گیری می‌شوند. در قسمت ارزیابی اجتماعی، تأثیرات منفی نداشتن کارمند روی جامعه را بررسی می‌کنند. هدف مدل طراحی شده ارائه یک جواب توافقی بین تأثیرات اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی است. این کار به یک روش چندهدفه نیاز دارد. در بین روش‌های در دسترس، روش $\epsilon - Constraint$ به دلیل سادگی و کاربرد پذیر بودن پیاده‌سازی انتخاب می‌شود. لذا در این مطالعه بر اساس روش فوق هزینه و تاثیر محیطی را کمینه و سود اجتماعی را بیشینه کنند یعنی یکی از توابع هدف را بهینه کرده درحالی‌که توابع دیگر را بعنوان محدودیت در نظر می‌گیرند. با تغییر کران‌های محدودیت‌ها، نقاطی را تحت نام کارای سره [۲۵] یافته‌اند که مرز پارتو را تشکیل داده‌است. سپس برای محاسبه دامنه توابع هدف روی مجموعه کارا، یک بهینه‌سازی با قاعده الفبایی که توسط ماوروتاس [۲۶] [۳۳] بیان شده‌است به کار گرفته می‌شود. در این مدل تمامی انبارها به عنوان یک مرکز فروش مستقیم در نظر گرفته شده‌اند. از جمله تحلیل حساسیت‌های انجام شده در مدل آن‌ها کاهش تعداد انبارها و تأثیر آن بر روی هزینه‌ها، افزایش و کاهش میزان تولید و حمل‌ونقل بر روی تابع هدف محیط زیستی، مقایسه تابع هدف اقتصادی و محیط زیستی و ... را می‌توان نام برد.

۳.۳ تأثیرات محیطی

روش و چارچوب‌های زیادی برای ارزیابی تأثیرات محیط زیستی در زنجیره‌های تأمین ارائه شده است. نس و همکاران [۲۷] [۳۸] بر این عقیده‌اند که امروزه ارزیابی چرخه عمر [۲۸] به عنوان علمی‌ترین رویکرد در دسترس برای مطالعه و ارزیابی تأثیرات محیطی محصولات خاص و یا فرآیندها شناخته می‌شود که ارزیابی گذشته‌نگر و آینده‌نگر را ممکن می‌سازد.

این رویکرد از زمانی که کمیسیون اروپا [۱۰] اعلام کرد که ارزیابی چرخه عمر بهترین چارچوب برای ارزیابی تأثیرات محیطی بالقوه محصولات است و آن را جزو استراتژی توسعه‌ی پایدار خود قرار داد، تقویت شده‌است. روش ارزیابی چرخه عمر یک روش ارزیابی تأثیرات زیست محیطی است که تمامی انتشارات و منابع مصرف شده و تأثیرات زیست محیطی و سلامتی و

[24] MILP
[25] Pareto efficient
[26] Mavrotas 2009
[27] Ness et al.
[28] Life-Cycle Assessment

موضوعات مربوط به تخریب منابع مربوط به هر سرویس یا کالا را ارزیابی می‌کند.
طبق نظر کمیسیون اروپا [۱۱] این رویه، کل چرخه عمر خدمات و محصولات از استخراج منابع تا تولید، استفاده، بازیابی و دفع ضایعات را در نظر می‌گیرد.
روش‌های متفاوت زیادی از ارزیابی تأثیرات محیط زیستی در دسترس بوده و در حال توسعه می‌باشند که از جمله آن‌ها می‌توان IMPACT2002+ ، EI-99 و CML92 را نام برد. رنو و همکاران [29] [۴۴] به تأثیرات محیط زیستی تصفیه فاضلاب با استفاده از روش LCA اشاره کردند. پیزول و همکاران [30] [۴۱] ، هشت روش متفاوت در تاثیر فلزات روی اکوسیستم آبزی و زمینی را بررسی کردند. آن‌ها [۴۲]، نه روش در مورد تأثیرات فلزات در سلامت انسان را بررسی کردند. همچنین کمیسیون اروپا [۱۲] یک روش برای ارزیابی تأثیرات چرخه زندگی در متن اروپا ارائه کرد.
فروتانتو و همکاران [31] [۱۸] یک چهارچوب برای طراحی و ارزیابی شبکه‌های لجستیک پایدار بصورت نمونه با استفاده از صنعت کاغذ، ارائه کردند. بوجارسکی و همکاران [32] [۶] نیز بهینه‌سازی برنامه‌ها و طراحی‌های زنجیره تأمین را با در نظر گرفتن مسائل محیطی و اقتصادی بررسی کردند. تأثیرات محیطی در این زمان از طریق IMPACT2002+ ارزیابی می‌شدند.
دوکو و همکاران [33] [۱۴] یک مدل MILP ارائه کردند که قادر به نشان دادن راه‌های بهینه و حمل‌ونقل بود. تأثیرات محیطی در این مدل از طریق EI-۹۹ بررسی می‌شوند. سانتیبانز و همکاران [34] [۴۷] یک مدل چند معیاره برای برنامه‌ریزی بهینه یک کارخانه زباله ساز ارائه کردند که توسط روش EI-۹۹ ارزیابی شد.
در حقیقت EI-۹۹ یکی از روش‌های پرکاربرد در مدل‌های بهینه‌سازی است. همان‌طور که ملاحظه شد، روش‌های متعددی برای ارزیابی چرخه عمر وجود دارد و انتخاب یک روش درست کار بسیار سختی است. برتری EI-۹۹ یا Re-cipe این است که براحتی می‌تواند در مدل‌های بهینه‌سازی به‌عنوان تابع هدف محیط زیستی گنجانده شود. با این وجود پیشوایی و رزمی [35] [۴۰] ادعا می‌کنند که روش ارزیابی چرخه عمر پرهزینه‌تر، وقت‌گیرتر و نیاز به تجربه و تخصص در مدیریت محیط زیستی دارد.

نوآوری‌های این تحقیق با مرور ادبیات صورت گرفته به شرح زیر است:

- ارائه‌ی مدل طراحی شبکه‌های لجستیک یکپارچه‌ی مستقیم و معکوس است که تصمیمات انتخاب تسهیلات، مدل‌های حمل‌ونقلی و انتخاب تکنولوژی‌های بازیافت را دارد.

[29] Renou et al.
[30] Pizzol et al.
[31] Frota Neto et al.
[32] Bojarski et al.
[33] Duque et al.
[34] Santibanez-Aguilar et al.
[35] pishvaee and Razmi

- توسعه‌ی مدل برای یک مطالعه‌ی موردی واقعی در شبکه‌ی تولید مواد پلی استایرن و بازیافت آن در تهران
- لحاظ محدودیت‌های محیط زیستی در طراحی شبکه‌ی لجستیکی یکپارچه‌ی مستقیم و معکوس

فصل ۴

مدل‌سازی

۱.۴ معرفی مدل

هدف مسئله طراحی یکپارچه‌ی شبکه لجستیک مستقیم و معکوس [۱]، تعیین ساختار شبکه زنجیره تأمین و تصمیمات مربوط به آن است که بطور همزمان هزینه‌ها و تأثیرات محیط زیستی را کاهش می‌دهد. مسئله بصورت یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط [۲] ارائه شده است. این مسئله طراحی یک شبکه لجستیک یکپارچه مستقیم و معکوس چندمحصوله و تک‌دوره‌ای است که شامل کارخانه‌ها، انبارها، نواحی مشتری، مراکز جمع‌آوری، مراکز بازیافت و مرکز امحا می‌باشد که برای برخی از آن‌ها مکان مشخصی در نظر گرفته شده است و برخی از آن‌ها با توجه به طراحی مسئله مکان‌یابی می‌شوند.
معماری اصلی شبکه لجستیک یکپارچه مستقیم و معکوس در شکل ۴.۲ نشان داده شده است. در این مقاله، لجستیک ترکیبی مستقیم و معکوس تعریف شده بر اساس استراتژی کششی–فشاری [۳] طراحی شده است. در این روش، سطح موجودی انبارها بر اساس میزان محصول تولیدی کارخانه‌ها و تقاضای مشتریان تنظیم می‌شود که این همان مفهوم کششی–فشاری است یا به عبارتی جریان محصولات در شبکه مستقیم، بصورت کششی و وابسته به

[1] IFRLN
[2] MIP
[3] Push-Pull

تقاضای مشتریان و در شبکه معکوس، بصورت فشاری و بر اساس بازگشت محصولات از سوی مشتریان است. در جریان لجستیک مستقیم کارخانه‌ها، انبارها و مشتریان و در جریان لجستیک معکوس مراکز جمع‌آوری، مراکز بازیافت و مرکز امحا وجود دارند.
این مسئله علاوه بر در نظر گرفتن تجهیزات پردازش رو به جلو (انبارها) تجهیزات پردازش رو به عقب (مراکزجمع‌آوری) را نیز به صورت مجزایی در نظر گرفته است. در جریان لجستیک مستقیم ابتدا کارخانه‌ها که همان مراکز تولید مدل طراحی شده می‌باشد را در نظر می‌گیریم. اولین فرض مبنی بر این است که مکان کارخانه‌ها، ظرفیت تولید و هزینه خرید مواد اولیه جدید از تأمین کنندگان و ... در آن‌ها مشخص باشد. بخشی از مواد اولیه مورد نیاز کارخانه‌ها از تأمین کنندگان و درصدی از آن از طریق بازیافت مواد بازگشتی حاصل از مراکز بازیافت تهیه می‌شود که برای خرید هرکدام از آن‌ها هزینه مشخصی را در نظر گرفته‌ایم. برخلاف مطالعات قبلی، به منظور طراحی یک شبکه قابل اجرا برای مسائل حیات واقعی فرض می‌کنیم محصولات توسط سطوح مختلف فرآیند تولید در شبکه تولید می‌شوند.
یک فرآیند تولید شامل مجموعه‌ای از تکنولوژی‌های موجود در کارخانه‌هاست که تعیین می‌کند هر محصول بایستی چگونه و از ترکیب چه میزان مواد اولیه جدید و مواد بازیافتی تولید شود که با توجه به تولید محصولات پلی استایرن در این مدل، هرچه میزان مواد اولیه جدید به کار رفته در تولید این محصولات بیشتر باشد، کیفیت محصولات بیشتر است. هر محصول نهایی، نتیجه فرآیند تولید از مواد اولیه خام جدید و مواد خام بازیافتی ورودی به کارخانه است. با توجه به پیش‌نویس ساختار محصولات تولیدی می‌توان فهمید که چه میزان ماده خام جدید و ماده خام بازیافتی برای تولید یک واحد از محصول مورد نظر لازم است.
این فرض، مدل ریاضی قابل اجرائی در زمینه‌های صنعتی ارائه می‌دهد. موضوع حائز اهمیت آن است که میزان مواد خام جدید و بازیافتی وارد شده به کارخانه باید از ظرفیت کارخانه کمتر باشد و میزان محصولات خروجی بستگی به ضریب تولید تکنولوژی‌های موجود در کارخانه، میزان تقاضای مشتریان و سپس ظرفیت انبارها دارد. پس از تکمیل فرآیند تولید، محصولات آماده عرضه به بازار خواهند بود.
فرض می کنیم در جریان رو به جلو، محصولات پس از تولید توسط ماشین‌های حمل به انبارها منتقل شوند. در این مرحله مکان انبارها با ظرفیت خاصی تعیین می‌شوند و بازای میزان محصول ورودی، مدل تصمیم می‌گیرد که چه میزان محصول به کدام انبار منتقل شود. در طول مدت برنامه‌ریزی، تقاضا و نیازهای مشتریان از طریق انبارها تأمین می‌شود. باید در نظر گرفت که میزان محصولات ورودی به انبارها نباید از ظرفیت محدود تعیین شده آن‌ها بیشتر باشد و از طرفی این مقدار باید به گونه‌ای باشد که نیاز و تقاضای مشتریان را پاسخگو باشد زیرا در غیر اینصورت با کمبود مواجه می‌شویم. علاوه بر هزینه مکان‌یابی انبارها، پردازش و نگهداری محصولات موجود در آن نیز هزینه‌هایی را به دنبال دارد. با ارسال محصولات به مشتریان به آخرین مرحله جریان رو به جلو می‌رسیم.
در جریان رو به عقب، محصولات پس از استفاده توسط مشتریان دور انداخته شده و به مراکز

جمع‌آوری بازگردانده می‌شود. طبیعتاً مقداری از این محصولات به مراکز بازیابی ارسال شده و مابقی در طبیعت باقی می‌ماند. بنابراین محصولات قابل بازیافت، به مراکز بازیابی که از نظر موقعیت مکانی جای ثابتی برای آن‌ها در نظر گرفته شده‌است انتقال می‌یابد. هر مرکز بازیافت دارای تکنولوژی‌هایی با ظرفیت و ویژگی‌های خاص خود می‌باشد که بسته به نوع محصول برگشتی وارد شده، مدل طراحی شده بایستی تصمیم بگیرد که از چه نوع تکنولوژی و با چه ظرفیتی استفاده کند.

تکنولوژی‌های بکار رفته در این مراکز از اهمیت زیادی برخوردارند زیرا هرچه بازدهی آن‌ها بیشتر باشد به اهداف مدل برنامه‌ریزی شده نزدیک‌تر می‌شویم. منظور از بالا بودن میزان بازدهی تکنولوژی‌ها، بالا بودن ضریب تبدیل مواد بازیافتی به مواد خام مورد استفاده کارخانه‌ها در طول فرآیند بازیابی می‌باشد یعنی در مدت زمان معین شده بتواند میزان مواد خام بازیافتی بیشتری را برای استفاده مجدد کارخانه‌ها تولید کند و در راستای آن بتواند مواد دفع شدنی کمتری را به مراکز امحا منتقل کند. محصولات از دو نوع ماده خام تولید می‌شوند:

۱. مواد خام نو

۲. مواد خام بازیافتی

همانطور که قبلا ذکر کردیم ما در این مدل شهر تهران را در نظر گرفتیم که در آن تنها یک مرکز امحا بنام ''آرادکوه'' وجود دارد. باید توجه داشت که بعد از فرآیند بازیابی، محصولات بازیافت شده دوباره وارد زنجیره تأمین می‌شوند. حفاظت از محیط زیست را می‌توان انگیزه اصلی بسیاری از شرکت‌ها برای انجام عملیات جمع‌آوری در نظر گرفت. در مدل شبکه لجستیک یکپارچه مستقیم و معکوس، هر مشتری خود تصمیم می‌گیرد که محصول استفاده شده را بازگردانده و یا آن را نگهدارد. این موضوع به سیاست‌های شرکت مربوط می‌شود که با شیوه‌های مختلف مشتریان را به بازگرداندن مجدد محصولات مصرف شده ترغیب کند. به عنوان مثال شرکت می‌تواند با در نظر گرفتن قیمتی برای محصولات بازگشتی مشتریان را ترغیب به بازگرداندن این محصولات کند بطوریکه هم از نظر اقتصادی ضرر نکند و و هم از طرفی به کاهش اثرات زیست محیطی کمک کند.

طبق مطالعات انجام شده از گذشته تا به امروز حمل‌ونقل و امکانات صنعتی به ترتیب ۲۷٪ و ۳۱٪ از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را در جهان به خود اختصاص داده‌اند. یکی از ساده‌ترین روش‌ها برای گنجاندن معیارهای زیست محیطی در مدل‌های اقتصادی محاسبه گازهای گلخانه‌ای و ذرات منتشر شده حاصل از حمل‌ونقل می‌باشد. مدل‌های حمل‌ونقل بطور کلی روی هزینه، اثرات زیست محیطی و ظرفیت رقابت می‌کنند. انتخاب مدل‌های مختلف حمل‌ونقل با توجه به چگونگی بارگیری یا تخلیه محصولات، تعداد دفعات بارگیری و ... مشخص می‌شود. از آنجایی‌که در اغلب این مسائل به داده‌های کلی توجه می‌شود ویژگی‌های عملیاتی مانند سرعت تراک [۴] های حمل و تغییرات روزانه عمدتا نادیده گرفته

[4] Truck

می‌شوند که ما در این مدل به پنج عامل موثر در حمل‌ونقل اشاره کرده‌ایم:

۱. میزان مسافت طی شده توسط تراک‌ها
۲. مدت زمان طی شده توسط تراک‌ها
۳. سرعت تراک‌ها
۴. ظرفیت تراک‌ها
۵. هزینه ثابت بازای بارگیری هر واحد کالا [۵]

هیچ مرجعی را پیدا نمی‌کنیم که عامل حمل‌ونقل را عامل اصلی ارزیابی محیط زیستی جهانی در نظر نگیرد. پس منشأ اصلی آلودگی‌های محیط زیستی در شبکه زنجیره تأمین، شبکه حمل‌ونقل محصولات در طی جریان‌ها می‌باشد که این جریان‌ها در مدل شبکه لجستیک یکپارچه مستقیم و معکوس شامل کارخانه به انبار، انبار به مشتری، مراکز جمع‌آوری به مراکز بازیافت، مراکز بازیافت به مراکز امحا و مراکز بازیافت به کارخانه‌ها می‌باشد. برای تمام این جریان‌ها در این مدل سه نوع تراک در نظر گرفته شده است که مدل طراحی شده با توجه به میزان محصول قابل انتقال تصمیم می‌گیرد که چه میزان محصول طی چند مرحله و با کدام تراک حمل گردد تا طبق تابع هدف بتوان از انتشار بیش از حد گازهای گلخانه‌ای در محیط زیست جلوگیری کرد.
همانطور که قبلاً ذکر کردیم از علل دیگر انتشار این آلودگی‌ها در جریان لجستیک یکپارچه مستقیم و معکوس، می‌توان به آلودگی‌های ناشی از تکنولوژی‌های بکار رفته در فرآیندهای تولید و بازیافت اشاره کرد زیرا هرکدام از تکنولوژی‌های بکار رفته در این نقاط بسته به ویژگی‌های ساختاری خود میزان قابل توجهی گاز گلخانه‌ای تولید می‌کنند.
از آنجا که محل قرارگیری تکنولوژی‌ها در مراکز بازیافت یکی از تصمیمات اصلی مدل است لذا در نظر گرفتن تأثیرات زیست محیطی آن‌ها و تبدیل آن‌ها به مدل‌های ریاضی به نظر طبیعی می‌رسد. اغلب معیارهای کلاسیک برای اندازه‌گیری میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تکنولوژی‌ها، مصرف انرژی است چرا که بستگی به چگونگی تصمیم‌ها و انتخاب تکنولوژی‌ها دارد.
همانطور که قبلاً گفته شد فقط درصدی از محصولات بازگشتی موجود در مراکز جمع آوری به مراکز بازیافت منتقل می‌شوند لذا مقدار محصولات بازگشتی باقیمانده در محیط زیست آلودگی‌هایی را به دنبال دارد. در آخرین مرحله از جریان لجستیک معکوس نیز که ارسال محصولات غیرقابل بازیافت به مراکز امحا می‌باشد، با آلودگی‌هایی ناشی از سوختن محصولات، دفن و یا حتی رها شدن زباله‌ها در آب دریاها روبرو هستیم. اغلب گازهای گلخانه‌ای منتشر شده عبارتند از: VOC، NO_2، CO_2 ، CH_4 و ...

[5] Loading/Unloading

نکته قابل توجه در این مدل این است که علاوه بر در نظر گرفتن میزان اثرات زیست محیطی، طبق ارزیابی محیط زیستی جهانی برای هر کدام از آلودگی‌ها در هر مرحله از چرخه زنجیره تأمین هزینه قابل قبولی در نظر گرفته شده‌است لذا در نهایت بایستی علاوه بر کاهش هزینه‌های اقتصادی مدل طراحی شده، هزینه‌های ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای را نیز کاهش دهیم. علاوه بر موارد بیان شده در بالا، محدودیت‌ها و پارامترهای زیر باید در توسعه مدل شبکه لجستیک یکپارچه مستقیم و معکوس در نظر گرفته شوند:

۱. مدل طراحی شبکه لجستیک یکپارچه مستقیم و معکوس یک مدل چندمحصوله و تک دوره‌ای است.

۲. در چرخه رو به جلو، تمامی تقاضای مشتریان بایستی برآورده شود و در غیر اینصورت با هزینه کمبود روبرو می‌شویم.

۳. ظرفیت جریان مواد در طول شبکه با محدودیت روبرو می‌باشد.

۴. شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته در نظر گرفته شده شامل انواع هزینه‌ها از جمله هزینه‌های نگهداری، امحا، بازیابی ، جمع‌آوری، پردازش انبار ، تولید و یک سری هزینه‌های ثابت دیگر می‌باشد.

۵. طول افق برنامه‌ریزی شبکه برای یک دوره (یک سال) طراحی شده است.

۶. کارخانه‌ها قادر به تولید چند محصول در سطوح مختلف تولید می‌باشند.

۷. تمامی پارامترها بصورت قطعی در نظر گرفته می‌شوند.

۸. طول جریان‌ها یا مسافت بین تسهیلات مختلف شبکه برای انتقال محصولات تعیین می‌شود.

۹. هزینه کمبود بر اثر ارضا نشدن تقاضای مشتری بایستی محاسبه و در نظر گرفته شود.

۱۰. هزینه حمل‌ونقل بین هر دو تسهیل متوالی از زنجیره تأمین در نظر گرفته می‌شود.

۱۱. هدف از مسئله، کاهش هزینه‌های اقتصادی و آلودگی‌های محیط‌زیستی، جایابی انبارها، مراکز بازیافت و انتخاب تکنولوژی‌ها می‌باشد.

۱۲. برای تولید محصولات دو فرآیند موجود است که در فرآیند تولید از محصولات بازیافتی از مواد خام غیر بازیافتی و مواد خام بازیافتی استفاده می‌شود و فرآیند تولید محصولات از مواد نو که فقط از مواد خام جدید و غیر بازیافتی استفاده می‌شود.

با در نظر گرفتن فرضیات بیان شده در بالا، مسائل اصلی که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته‌اند شامل تعیین موقعیت مکانی انبارها و مراکز بازیافت، تعیین ظرفیت تجهیزات و

تکنولوژی‌ها، تعیین میزان محصولات موجود در انبارها و ... است. اینک پارامترها، متغیرها و در نهایت محدودیت‌ها و اهداف مسئله را به صورت ریاضی بیان می‌کنیم:

۲.۴ نمادها و علائم

مجموعه‌ها:

I: کارخانه‌ها $(\forall i \in I)$
J: مجموعه انبارهای ممکن برای جایابی $(\forall j \in J)$
K: مشتریان $(\forall k \in K)$
K′: مراکز جمع‌آوری محصولات $(\forall k\prime \in K\prime)$
L: مجموعه مراکز بازیافت ممکن برای جایابی $(\forall l \in L)$
D: مراکز امحا $(\forall d \in D)$
P: محصولات $(\forall p \in P)$
P′: محصولات بازیافتی $(\forall p\prime \in P\prime)$
T: تکنولوژی‌های ممکن در مراکز بازیافت $(\forall t \in T)$
E: ظرفیت تکنولوژی‌های ممکن در مراکز بازیافت $(\forall e \in E)$
M: تراک‌های موجود برای جریان محصولات $(\forall m \in M)$
G: گازهای گلخانه‌ای منتشرشده $(\forall g \in G)$

پارامترها:

$R_{k'p'}$: میزان محصول بازگشتی p' وارد شده به مرکز جمع‌آوری k'
β_p: ضریب استفاده از ظرفیت کارخانه‌ها برای تولید محصول p
β'_p: ضریب استفاده از ظرفیت مراکز بازیافت برای بازیافت محصول p'
CAP_i: ظرفیت کارخانه i
CAP_j: ظرفیت انبار j
CAP_{te}: ظرفیت تکنولوژی t با سطح ظرفیت e
D_{kp}: میزان تقاضای مشتری k برای محصول p
$\partial_{p\prime t}$: ضریب تولید ماده بازیافتی غیر قابل استفاده از محصول p′ توسط تکنولوژی t
$\partial'_{p't}$: ضریب تولید ماده خام بازیافتی از محصول p′ توسط تکنولوژی t
γ_p: ضریب مصرف مواد خام نو برای تولید محصول p با استفاده از مواد خام نو
γ'_p: ضریب مصرف مواد خام نو برای تولید محصول p با استفاده از مواد خام نو و بازیافتی

λ'_p: ضریب مصرف مواد خام بازیافتی برای تولید محصول p با استفاده از مواد نو و بازیافتی
αdi: هزینه وابسته به مسافت
αT: هزینه وابسته به زمان
V_m:سرعت ماشین m به ازای کیلومتر بر ساعت
∂_{ij}: مسافت بین کارخانه i تا انبار j بر حسب کیلومتر
∂_{jk}: مسافت بین انبار j تا مشتری k بر حسب کیلومتر
∂_{ik}: مسافت بین کارخانه i تا مشتری k بر حسب کیلومتر
$\partial_{k'l}$: مسافت بین مرکز جمع‌آوری k′ تا مرکز بازیافت l بر حسب کیلومتر
∂_{ld}: مسافت بین مرکز بازیافت l تا مرکز امحا d بر حسب کیلومتر
∂_{li}: مسافت بین مرکز بازیافت l تا کارخانه i بر حسب کیلومتر
λ'_m: ظرفیت ماشین m
β'_m: هزینه‌های ثابت ماشین m بازای بارگیری و تخلیه [۶] بار هر واحد کالا
C_{ip}: هزینه تولید یک واحد محصول p از مواد اولیه جدید در کارخانه i
C'_{ip}: هزینه تولید یک واحد محصول p از مواد اولیه جدید و بازیافتی در کارخانه i
$Cdis_{p'}$: هزینه دفع بازای یک واحد محصول بازگشتی p′ در مرکز امحا d
Cso_p: هزینه کمبود محصول p
CRM: هزینه خرید مواد اولیه جدید برای تولید محصولات
$CL_{p'}$: هزینه خرید یک واحد محصول قابل بازیافت p′
$CR_{p'}$: هزینه بازیافت بازای یک واحد محصول بازیافتی p′
$NC_{p'}$: هزینه بازیافت نکردن محصولات باقیمانده در طبیعت
C_{jp}: هزینه پردازش و نگهداری انبار j بازای یک واحد محصول p
F_l: هزینه جایابی مرکز بازیافت l
F'_{te}: هزینه جایابی تکنولوژی t با ظرفیت e
F_j: هزینه جایابی انبار j
α_p: ضریب ظرفیت تولید کارخانه i از مواد خام جدید برای تولید محصول p
$\alpha_{p'}$: ضریب ظرفیت تولید کارخانه i از مواد خام جدید و بازیافتی برای تولید محصول p
θ_{gm}: میزان گاز گلخانه‌ای g منتشر شده از ماشین m بازای هر تن جابجایی در یک کیلومتر
θ_{tg}: میزان گاز گلخانه‌ای g منتشر شده از تکنولوژی t بازای پردازش هر واحد محصول بازگشتی
C_g: هزینه گاز گلخانه‌ای g

متغیرهای باینری:

$Y(j)$: اگر انبار j وجود داشت ۱ و اگر وجود نداشت ۰

[6] Loading/Unloading

$X(l)$: اگر مرکز بازیافت l وجود داشت ۱ و اگر وجود نداشت ۰
Y'_{lte}: اگر تکنولوژی t با ظرفیت e در مرکز بازیافت l وجود داشت ۱ و اگر وجود نداشت ۰

متغیرهای پیوسته‌ی مثبت:

Z_1: تابع هدف اقتصادی
Z_2: تابع هدف محیط‌زیستی
q_{ip}: میزان محصول تولیدی p از مواد خام جدید در کارخانه i
q'_{ip}: میزان محصول تولیدی p از مواد خام بازیافتی و نو در کارخانه i
S_i: میزان ماده خام جدید وارد شده به کارخانه i
S_{lim}: میزان ماده خام بازیافتی وارد شده از مرکز بازیافت l به کارخانه i توسط ماشین m
f_{ijpm}: میزان محصول p منتقل شده از کارخانه i به انبار j توسط ماشین m
f_{ikpm}: میزان محصول p منتقل شده از کارخانه i به مشتری k توسط ماشین m
f_{jkpm}: میزان محصول p منتقل شده از انبار j به مشتری k توسط ماشین m
$f'_{k'lp'm}$: میزان محصول p′ منتقل شده از مرکز جمع آوری k' به مرکز بازیافت l توسط ماشین m
$f'_{ldp'm}$: میزان محصول p′ منتقل شده از مرکز بازیافت l به مرکز امحا d توسط ماشین m
L_{kp}: میزان کمبود محصول p در تقاضای مشتری k
$R'_{k'p'}$: میزان محصولات بازگشتی p′ بازیافت نشده در مرکز جمع‌آوری k′

محدودیت‌ها

همان‌طور که قبلا بیان کردیم با فرض اینکه تأمین کنندگان پلی استایرن جدید وجود دارند، لایه تأمین کنندگان پلی استایرن در مدل آورده نشده است. اکنون محدودیت‌های مربوط به آن را بیان کرده و به شرح آن‌ها می‌پردازیم:

محدودیت‌های لجستیک مستقیم:

$$\sum_{p\in P} q_{ip}\times\gamma_p + \sum_{p\in P} q'_{ip}\times\gamma'_p \le S_i \qquad (\forall i) \tag{۱.۴}$$

محدودیت (۱.۴) بیان می‌کند کل میزان مصرف مواد خام نو برای تولید محصولات در هر کارخانه از میزان خرید کمتر است.

$$\sum_{p\in P} q'_{ip}\times\lambda'_p \le \sum_{l\in L}\sum_{m\in M} S_{lim} \qquad (\forall i) \tag{۲.۴}$$

محدودیت (۲.۴) بیان می‌کند برای تولید محصولات از مواد خام بازیافتی در هر کارخانه، میزان مصرفی مواد خام بازیافتی نباید از میزان وارد شده به آن کارخانه بیشتر باشد.

$$\sum_{p\in P} q_{ip} \times \alpha_p + \sum_{p\in P} q'_{ip} \times \alpha'_p \leq CAP_i \qquad (\forall i) \tag{۳.۴}$$

محدودیت (۳.۴) تضمین می‌کند که مجموع محصولات تولیدی حاصل از مواد خام جدید و مواد خام بازیافتی بایستی از ظرفیت کارخانه کمتر باشد. پس از تولید، محصولات آماده ارسال به انبارها می‌باشند لذا محدودیت زیر را خواهیم داشت:

$$q_{ip} + q'_{ip} = \sum_{j\in J} \sum_{m\in M} f_{ijpm} \qquad (\forall i\ , \forall p) \tag{۴.۴}$$

محدودیت (۴.۴) بیان می‌کند که بازای هر کارخانه و بازای هر محصول، مجموع محصولات تولیدی حاصل از مواد خام جدید و مواد بازیافتی با مجموع محصولات ارسال شده از کارخانه به انبارها برابر است. دومین مؤلفه پس از کارخانه انبار می‌باشد که محدودیت‌های زیر را برای آن در نظر گرفتیم:

$$\sum_{i\in I} \sum_{m\in M} f_{ijpm} \geq \sum_{k\in K} \sum_{m\in M} f_{jkpm} \qquad (\forall j\ , \forall p) \tag{۵.۴}$$

محدودیت (۵.۴) تضمین می‌کند که بازای هر انبار و بازای هر محصول، میزان محصولات ارسال شده از کارخانه به انبار توسط وسایل نقلیه مختلف از میزان محصولات ارسال شده از انبار به مشتری بیشتر است.

$$\sum_{p\in P} \sum_{i\in I} \sum_{m\in M} f_{ijpm} \times \beta_p \leq CAP_j \times Y_j \qquad (\forall j) \tag{۶.۴}$$

محدودیت (۶.۴) بیان می‌کند که بازای هر انبار، مجموع محصولات ارسالی از کارخانه به انبار توسط وسایل نقلیه مختلف باید از ظرفیت انبار کمتر باشد.

$$\sum_{j\in J} \sum_{m\in M} f_{jkpm} + L_{kp} \geq D_{kp} \qquad (\forall k\ , \forall p) \tag{۷.۴}$$

محدودیت (۷.۴) تضمین می‌کند میزان ارسال هر محصول، از انبارها به هر مشتری به علاوه میزان کمبود آن محصول برای آن مشتری بزرگتر یا مساوی تقاضای آن مشتری برای آن محصول است.

محدودیت‌های لجستیک معکوس:

$$\sum_{l\in L} \sum_{t\in T} \sum_{m\in M} f'_{k'ltp'm} \leq R_{k'p'} \qquad (\forall k'\ , \forall p') \tag{۸.۴}$$

محدودیت (۸.۴) به این معناست که بازای هر مرکز جمع‌آوری و بازای هر محصول بازیافتی، کلیه محصولات بازگشتی از سوی مشتریان بایستی از میزان محصولات بازیافتی روانه شده از مرکز جمع‌آوری به سمت مراکز بازیافت بیشتر باشد.

$$\sum_{k'\in K'}\sum_{p'\in P'}\sum_{m\in M} f'_{k'ltp'm}\times\beta_{p'} \le \sum_{e\in E(t)} Y'_{lte}\times CAP_{te} \qquad (\forall l\ ,\forall t) \qquad (۹.۴)$$

محدودیت (۹.۴) بیان می‌کند بازای هر مرکز بازیافت و بازای هر تکنولوژی، میزان محصولات بازیافتی که از مراکز جمع‌آوری به مراکز بازیافت به تناسب ظرفیت مرکز بازیافت ارسال می‌گردد باید از ظرفیت تکنولوژی بکار رفته در آن مرکز بازیافت کمتر باشد.

$$\sum_{e\in E(t)} Y'_{lte} \le X_l \qquad (\forall l\ ,\forall t) \qquad (۱۰.۴)$$

محدودیت (۱۰.۴) بیان می‌کند بازای هر مرکز بازیافت و بازای هر تکنولوژی، تنها یک سطح ظرفیت بر آن تکنولوژی قابل انتخاب است به شرطی‌که مرکز بازیافت باز شده باشد.

$$\sum_{k'\in K'}\sum_{t\in T}\sum_{m\in M} f'_{k'ltp'm}\times\partial_{p't} = \sum_{d\in D}\sum_{m\in M} f'_{ldp'm} \qquad (\forall p'\ ,\forall l) \qquad (۱۱.۴)$$

محدودیت (۱۱.۴) بیان می‌کند بازای هر محصول بازیافتی و بازای هر مرکز بازیافت، میزان مواد زائد تولید شده از بازیافت محصولات بازگشتی برابر با میزان ضایعات منتقل شده از مرکز بازیافت به مرکز امحا می‌باشد.

$$\sum_{k'\in K'}\sum_{t\in T}\sum_{m\in M} f'_{k'ltp'm}\times\partial'_{p't} = \sum_{i\in I}\sum_{m\in M} S_{lim} \qquad (\forall p'\ ,\forall l) \qquad (۱۲.۴)$$

محدودیت (۱۲.۴) بیان می‌کند بازای هر محصول بازیافتی و بازای هر مرکز بازیافت، میزان مواد بازگشتی بازیافت شده که به مواد خام بازیافتی تبدیل شده‌است برابر با میزان مواد بازیافتی وارد شده از مرکز بازیافت به کارخانه‌ها می‌باشد.

$$R'_{k'p'} = R_{k'p'} - \sum_{l\in L}\sum_{t\in T}\sum_{m\in M} f'_{k'ltp'm} \qquad (\forall k'\ ,\forall p') \qquad (۱۳.۴)$$

محدودیت (۱۳.۴) مربوط به مواد بازیافت نشده می‌باشد بدین صورت که میزان محصولات بازیافت نشده برابر با تفاضل کلیه محصولات بازگشتی و مجموع محصولات منتقل شده به مراکز بازیافت می‌باشد.

همان‌طور که بیان کردیم مدل طراحی شده شامل ۱۳ محدودیت در سرتاسر عملیات لجستیکی خود می‌باشد. حال در مرحله بعد می‌خواهیم به شرح و تفسیر تابع هدف مدل بپردازیم. طبق آنچه در قبل ذکر کردیم مدل طراحی شده دارای دو تابع هدف محیط زیستی و اقتصادی می‌باشد. از طرفی تصمیم گرفتیم بجای در نظر گرفتن میزان گازهای گلخانه‌ای تولید شده، هزینه حاصل از تولید آن‌ها در محیط زیست را در نظر بگیریم. لذا برای رسیدن به این اهداف بایستی ابتدا هزینه‌های موجود در مراحل مختلف عملیات لجستیک یکپارچه مستقیم و معکوس را بررسی کنیم:

هزینه‌های اقتصادی

هزینه حمل‌ونقل:

$$C_{transportation} = \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{p\in P}\sum_{m\in M} f_{ijpm} \times C_{mij} + \sum_{j\in J}\sum_{k\in K}\sum_{p\in P}\sum_{m\in M} f_{jkpm} \times C_{mjk} + \sum_{k'\in K'}\sum_{l\in L}\sum_{p'\in P'}\sum_{t\in T}\sum_{m\in M} f'_{k'ltp'm} \times C_{mk'l} + \sum_{l\in L}\sum_{d\in D}\sum_{p'\in P'}\sum_{m\in M} f'_{ldp'm} \times C_{mld} + \sum_{l\in L}\sum_{i\in I}\sum_{m\in M} S_{lim} \times C_{mli} \quad (۱۴.۴)$$

که در آن

$$C_{mij} = \Big(\frac{(\alpha di + (\frac{\alpha T}{V_m})) \times \partial_{ij}}{\lambda'_m} + \beta'_m\Big) \quad (۱۵.۴)$$

$$C_{tmjk} = \Big(\frac{(\alpha di + (\frac{\alpha T}{V_m})) \times \partial_{jk}}{\lambda'_m} + \beta'_m\Big) \quad (۱۶.۴)$$

$$C_{mk'l} = \Big(\frac{(\alpha di + (\frac{\alpha T}{V_m})) \times \partial_{k'l}}{\lambda'_m} + \beta'_m\Big) \quad (۱۷.۴)$$

$$C_{mld} = \Big(\frac{(\alpha di + (\frac{\alpha T}{V_m})) \times \partial_{ld}}{\lambda'_m} + \beta'_m\Big) \quad (۱۸.۴)$$

$$C_{mli} = \Big(\frac{(\alpha di + (\frac{\alpha T}{V_m})) \times \partial_{li}}{\lambda'_m} + \beta'_m\Big) \quad (۱۹.۴)$$

اجزای هزینه‌های حمل‌ونقل است و این هزینه‌ها بستگی به میزان مسافت سرعت و ظرفیت ماشین‌ها دارد.

هزینه تولید:

$$C_{production} = \sum_{i\in I}\sum_{p\in P}(q_{ip} \times C_{ip} + q'_{ip} \times C'_{ip}) \quad (۲۰.۴)$$

هزینه دفع محصولات بازیافتی توسط مراکز امحا:

$$C_{Disposal} = \sum_{l\in L}\sum_{d\in D}\sum_{p'\in P'}\sum_{m\in M} f'_{ldp'm} \times Cdis_{p'} \quad (۲۱.۴)$$

هزینه کمبود:

$$C_{Stock\ Out} = \sum_{k\in K}\sum_{p\in P} L_{kp} \times Cso_p \qquad (۲۲.۴)$$

هزینه خرید مواد اولیه جدید

$$C_{Raw\ material} = \sum_{i\in I} S_i \times CRM \qquad (۲۳.۴)$$

هزینه خرید مواد قابل بازیافت:

$$C_{Raw\ material} = \sum_{k'\in K'}\sum_{l\in L}\sum_{p'\in P'}\sum_{t\in T}\sum_{m\in M} f'_{k'ltp'm} \times CL_{p'} \qquad (۲۴.۴)$$

هزینه بازیافت:

$$C_{Recycling} = \sum_{k'\in K'}\sum_{l\in L}\sum_{p'\in P'}\sum_{t\in T}\sum_{m\in M} f'_{k'ltp'm} \times (۱ - \partial_{p't}) \times CR_{p'} \qquad (۲۵.۴)$$

هزینه پردازش و نگهداری انبار:

$$C_{Process} = \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{p\in P}\sum_{m\in M} f_{ijpm} \times C_{jp} \qquad (۲۶.۴)$$

هزینه انتخاب تکنولوژی و جایابی انبار و مرکز بازیافت:

$$C_{Location} = \sum_{l\in L} X_l \times F_l + \sum_{l\in L}\sum_{t\in T}\sum_{e\in E(t)} Y'_{lte} \times F'_{te} + \sum_{j\in J} Y_j \times F_j \qquad (۲۷.۴)$$

محدودیت (۲۰.۴) تا محدودیت (۲۷.۴) بترتیب هزینه تولید، هزینه دفع محصولات بازیافتی، هزینه کمبود، هزینه خرید مواد اولیه و مواد بازیافتی، هزینه بازیافت، هزینه پردازش و نگهداری انبار، هزینه انتخاب تکنولوژی و جایابی انبار و مرکز بازیافت را بیان می‌کند. سپس با محدودیت‌های

محیط زیستی روبرو هستیم. محدودیت‌های (۲۸.۴) و (۳۰.۴) بترتیب هزینه آلودگی‌های ناشی از حمل‌ونقل محصولات، هزینه آلودگی‌های ناشی از بازیافت و همچنین هزینه بازیافت نکردن محصولات باقیمانده در طبیعت را بیان می‌کند.

هزینه‌های محیط زیستی

همانطور که گفته شد تمامی فعالیت‌های مراحل مختلف لجستیک یکپارچه مستقیم و معکوس با انتشار گازهای گلخانه‌ای همراه است اما درصد حائز اهمیت آن مربوط به بخش حمل‌ونقل و بازیافت محصولات است که در این مدل گنجانده شده‌است و بصورت زیر بیان می‌شود:

هزینه آلودگی‌های ناشی از حمل‌ونقل:

$$\begin{aligned} C_{TransportEnvironment\ cost} = & \sum_{g\in G}\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{p\in P}\sum_{g\in G} f_{ijpm}\times\theta_{gm}\times C_g\times\partial_{ij} \\ & + \sum_{g\in G}\sum_{j\in J}\sum_{k\in K}\sum_{p\in P}\sum_{m\in M} f_{jkpm}\times\theta_{gm}\times C_g\times\partial_{jk} \\ & + \sum_{g\in G}\sum_{p'\in P'}\sum_{k'\in K'}\sum_{l\in L}\sum_{t\in T}\sum_{m\in M} f_{k'ltp'm}\times\theta_{gm}\times C_g\times\partial_{k'l} \\ & + \sum_{g\in G}\sum_{l\in L}\sum_{d\in D}\sum_{p'\in P'}\sum_{m\in M} f'_{ldp'm}\times\theta_{gm}\times C_g\times\partial_{ld} \\ & + \sum_{g\in G}\sum_{l\in L}\sum_{i\in I}\sum_{m\in M} S_{lim}\times\theta_{gm}\times C_g\times\partial_{li} \end{aligned} \qquad (۲۸.۴)$$

هزینه آلودگی ناشی از بازیافت محصولات:

$$C_{RecycleENV\,cost} = \sum_{g\in G}\sum_{m\in M}\sum_{k'\in K'}\sum_{l\in L}\sum_{p'\in P'}\sum_{t\in T} f'_{k'ltp'm}\times\theta_{tg}\times C_g \qquad (۲۹.۴)$$

هزینه آلودگی ناشی از بازیافت نکردن محصولات باقیمانده در طبیعت:

$$C_{NotRecycling} = \sum_{k'\in K'}\sum_{p'\in P'} R'_{k'p'}\times NC_{p'} \qquad (۳۰.۴)$$

۳.۴ تابع هدف اقتصادی

$$Z_۱ = C_{transportation} + C_{Production} + C_{Disposal} + C_{Stock\ Out} + C_{Raw\ material} + C_{Recycling} + C_{Process} + C_{Location} \quad (۳۱.۴)$$

۴.۴ تابع هدف محیط زیستی

$$Z_۲ = C_{TransportEnvironment\ cost} + C_{RecycleENVcost} + C_{NotRecycling} \leq ۹۰۰۰۰۰۰ \quad (۳۲.۴)$$

روابط (۳۱.۴) و (۳۲.۴) به ترتیب تابع هدف اقتصادی و محیط زیستی را نشان می‌دهد. مجموع کلیه هزینه‌های اقتصادی، تابع هدف اقتصادی را نتیجه می‌دهد. همچنین از مجموع سه هزینه محیط زیستی، تایع هدف محیط زیستی حاصل می‌شود که بصورت یک نامساوی ظاهر شده است. در واقع برای تابع هدف محیط زیستی یک کران بالا در نظر گرفته‌ایم. در فصل بعدی به ارائه یک مدل واقعی می‌پردازیم.

فصل ۵

مطالعه موردی

۱.۵ مقدمه

به منظور نشان دادن ویژگی‌های مدل و اجرایی کردن آن، مدل پیشنهاد شده برای حل یک مثال عددی بکار گرفته شده است. بنابراین بهینه‌سازی شبکه لجستیک فعلی به عنوان یک تصمیم استراتژیک زنجیره تأمین تعریف شده است که در آن نه تنها هزینه‌های لجستیک باید در نظر گرفته شود، بلکه اثرات زیست محیطی نیز بایستی مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.
برای بیان این مسئله، مدل تک دوره‌ای بیان شده حل می‌شود. این روش به طور همزمان تولید، ذخیره سازی، فعالیت‌های جمع‌آوری و بازیافت را در نظر می‌گیرد. این مسئله برای یک سال ارائه و بررسی شده است. همان‌طور که در فصل‌های قبل نیز اشاره شد، مکان مورد مطالعه شهر تهران می‌باشد چرا که تهران به عنوان پرجمعیت ترین شهر ایران دارای بیشترین متقاضیان مصرف محصولات پلی استایرن و همچنین بیشترین مواد زائد پلاستیکی دارای پلی استایرن می‌باشد.

۲.۵ ویژگی‌های شبکه

ساختار کلی این شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته از موجودیت‌های شبکه‌ای زیر تشکیل یافته است: کارخانه‌ها، انبارها، مشتریان، مراکز جمع‌آوری، مراکز بازیافت و مرکز امحا. حال فرض

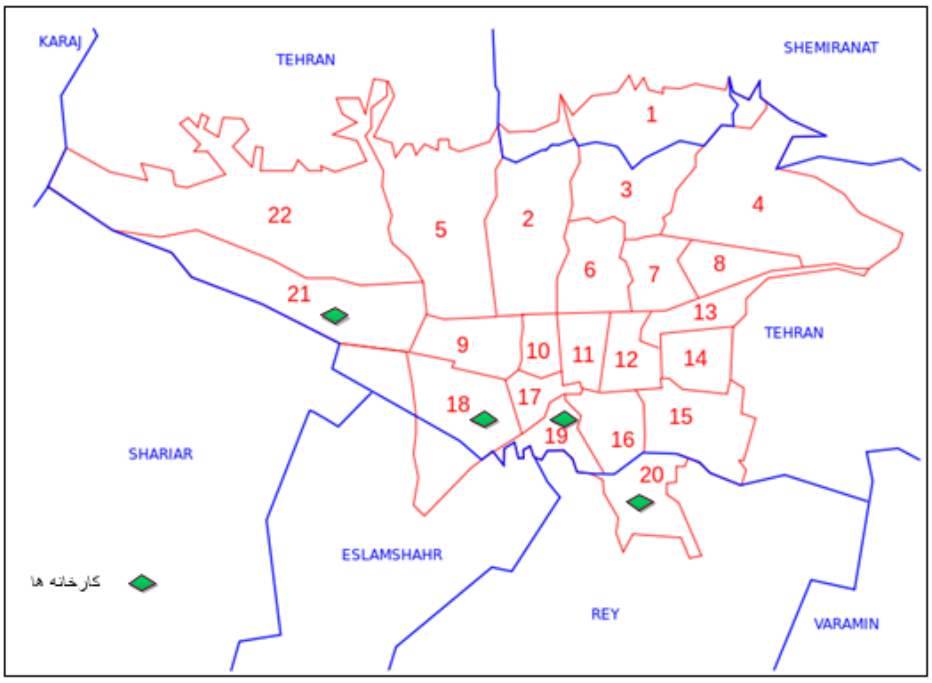
می‌کنیم مساله مورد نظر شامل ۴ کارخانه، ۲۲ انبار، ۲۲ منطقه مشتری، ۲۲ مرکز جمع آوری، ۲۰ مرکز بازیافت و در نهایت یک مرکز امحا است. در جریان مدل مربوطه سه محصول تولیدی پلی استایرن شامل: ظروف یکبار مصرف، عایق حرارتی و کانال‌های پیش ساخته کولر وجود دارد. در ابتدای زنجیره با فرض داشتن ۴ کارخانه مسئله را در نظر می‌گیریم.

در مرحله بعد انبارها وجود دارند که ۲۲ انبار از نظر عملکرد و ابعاد متفاوت می‌باشند. علاوه بر توزیع، تمامی انبارها به صورت یک نقطه فروش مستقیم عمل کرده و بیش از ۳۶ هزار مشتری دارند که در کل شهر تهران تقسیم شده‌اند. با توجه به ماهیت استراتژی این کار، مشتری‌ها، بر اساس منطقه خود گروه‌بندی می‌شوند که شامل ۲۲ منطقه است. بر اساس ۲۲ منطقه موجود، کارخانه‌ها تقریبا بیش از ۹۰ درصد از این موارد را پوشش می‌دهد لذا تقاضای تمامی مشتریان به طور کامل قابل پاسخ می‌باشد.

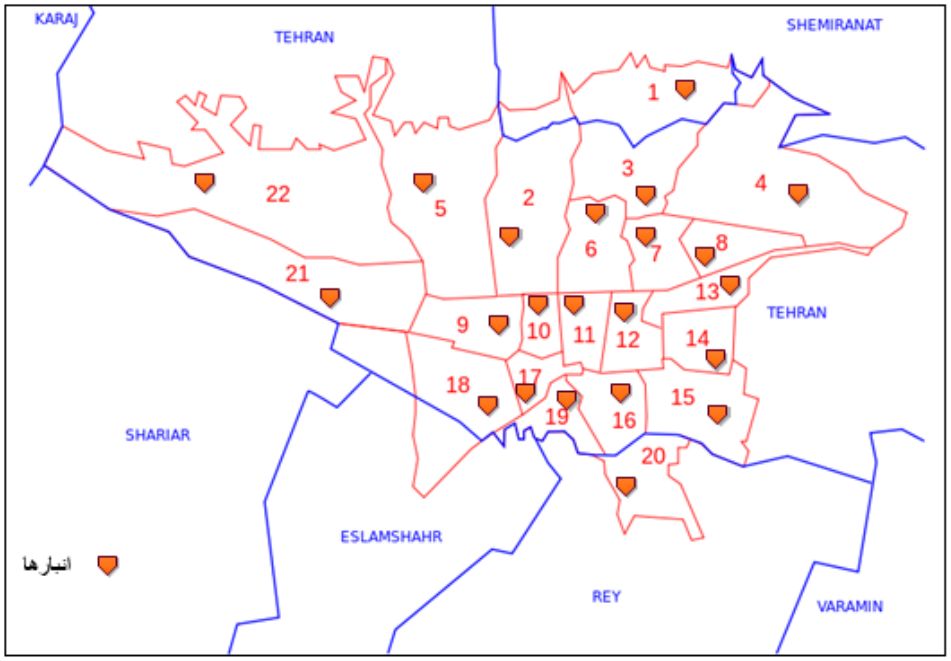
از این رو، فرض می‌شود که تمامی سفارشات عرضه شده به صورت اقتصادی مورد تایید است. همچنین مکان هر انبار ممکن با حداکثر ظرفیت ذخیره‌سازی و هزینه ثابت مشخص می‌شود. کارخانه نیز با حداکثر ظرفیت تولیدی مشخص می‌شود. برای دیگر موجودیت‌ها نیز با توجه به میزان محصولات ورودی و خروجی به آن‌ها ظرفیت‌های مناسبی در نظر گرفته شده‌است. از آنجایی‌که فقط محصولات زائد پلاستیکی قابل تبدیل به پلی استایرن هستند لذا فقط یک نوع محصول بازگشتی در نظر گرفته‌ایم.

مراکز بازیافت با سه نوع تکنولوژی که هرکدام دارای سه سطح ظرفیتی هستند، روبرو هستیم که یکی از تصمیمات مهم مسئله جایابی تکنولوژی‌ها و تعیین سطح ظرفیت آن‌هاست؛ یعنی مشخص شود چه تکنولوژی با چه ظرفیتی از نظر هزینه‌های اقتصادی و محیط‌زیستی مقرون به صرفه است. مدل مربوطه در نرم افزار GAMS24.1 برنامه نویسی شده و توسط نرم‌افزار حل شده است. تمام محاسبات به کمک رایانه با پردازشگر CPUIntel®CoreI7 و RAM 6GB در سیستم عامل ویندوز ۱۰ انجام شده است.

برای درک بهتر موضوع مکان تسهیلات شامل کارخانه‌ها، انبارها، مناطق مشتری و ... بترتیب روی نقشه شهر تهران نمایش داده شده است که براحتی مشاهده می‌شود هر کدام از آن‌ها در چه منطقه‌ای مستقر شده‌اند:



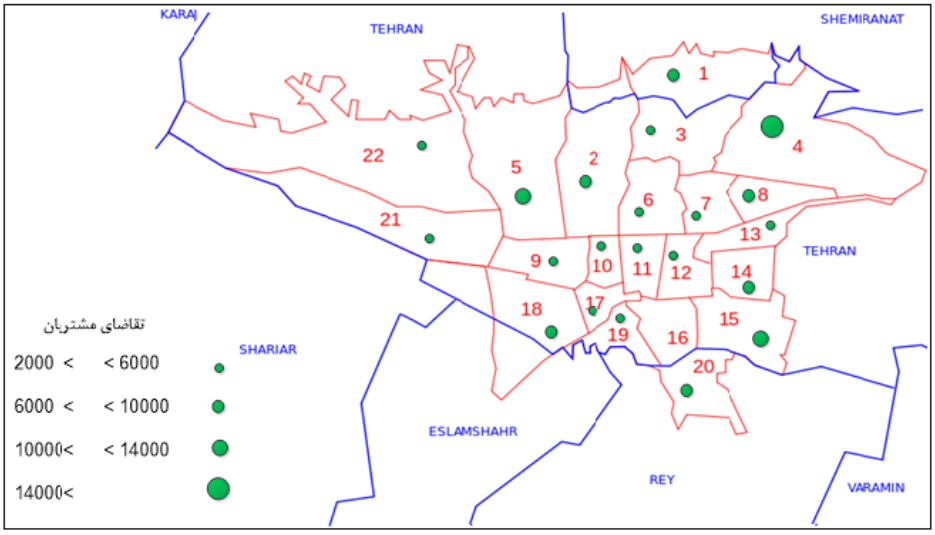
شکل ۱.۵: کارخانه‌ها



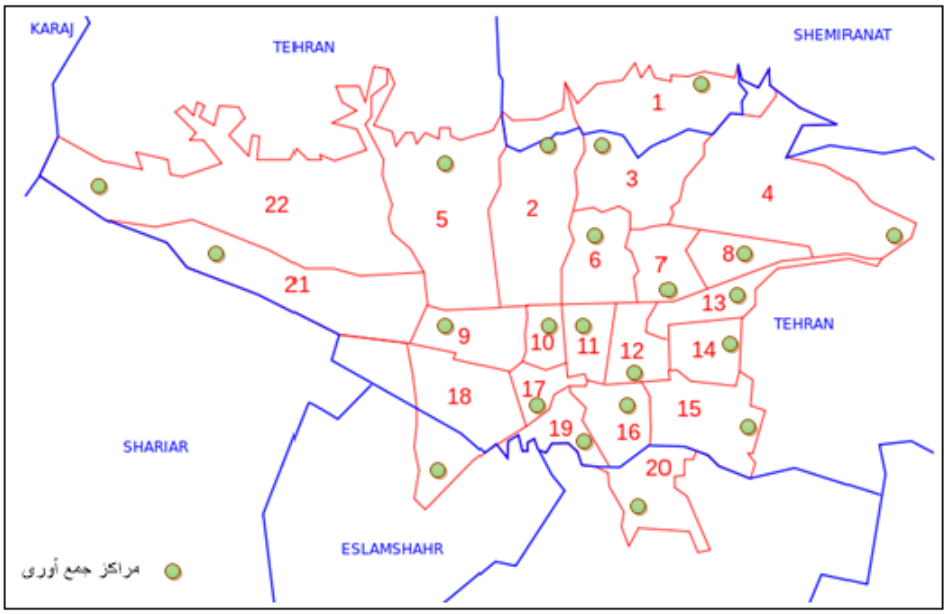
شکل ۲.۵: انبارهای ممکن

با توجه به پیشرفت صنایع و ارتقا سطح فرهنگ جوامع، تهیه و توزیع محصولات پلی استایرن رو به افزایش است. بالاخص در کلان شهرها که با افزایش روزافزون مصرف این محصولات

روبرو هستیم. پس در تمام ۲۲ منطقه شهر تهران شاهد تقاضای این محصولات با مقادیر مختلف خواهیم بود که بسته به میزان جمعیت متمرکز در هر منطقه میزان تقاضا در هر منطقه مشخص شده است که در شکل زیر می‌توان دید:

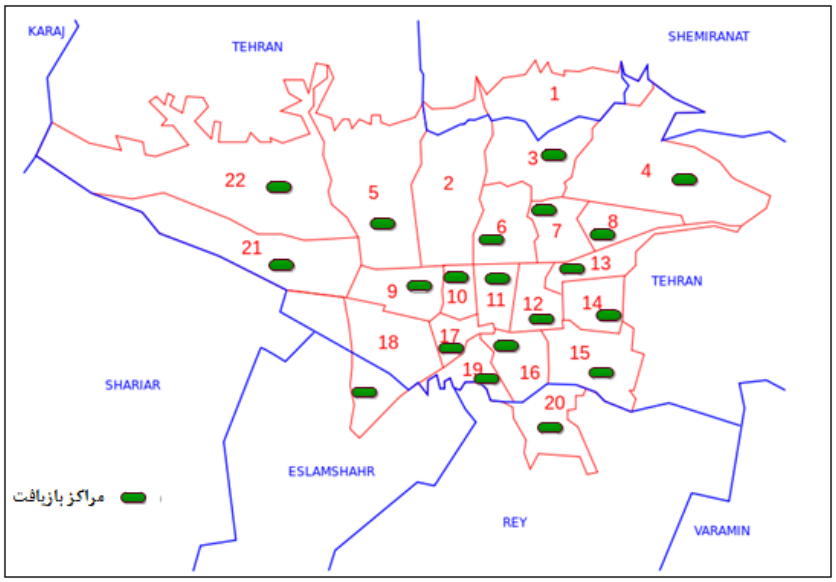


شکل ۳.۵: مشتریان

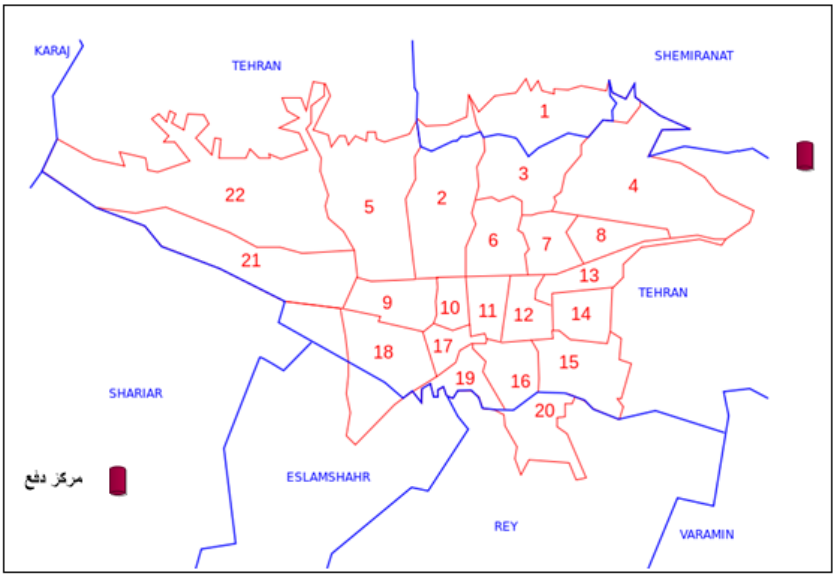


شکل ۴.۵: مراکز جمع‌آوری

فرض بر این است که در تمام ۲۲ منطقه، مرکز جمع‌آوری زباله‌های قابل تبدیل به پلی استایرن موجود هستند که میزان تولید این ضایعات بر اساس جمعیت این مناطق در نظر گرفته شده است و داده‌های موجود از شهرداری تهران بدست آمده است.



شکل ۵.۵: مراکز بازیافت ممکن



شکل ۶.۵: مرکز دفع

مجتمع پردازش و بازیافت زباله آرادکوه کهریزک در کیلومتر ۲۳ جاده قدیم تهران – قم و در جنوب کهریزک واقع شده‌است. این مرکز روزانه به طور متوسط ۸۰۰۰ تن انواع پسماندهای مختلف از منابع مختلف تولید همچون مناطق ۲۲ گانه، شهرک و شهرهای اطراف، مراکز بهداشتی و درمانی، لجن و سرشاخه و ... جهت امحا و دفع به این مرکز ارسال می‌شود.

شکل ۷.۵: مرکز دفن زباله ''آرادکوه''

۳.۵ حمل‌ونقل

این زنجیره دارای یک ناوگان بزرگ خودرویی است. با توجه به پیامدها و توزیع امکانات شبکه، هزینه‌های مربوط به توزیع محصولات بین مشتریان بالاست لذا هدف مسئله کاهش این هزینه‌ها را شمل می‌شود. برای توزیع و جمع‌آوری محصولات، وسایل نقلیه زیر قرارداد هستند. این مسئله مربوط به جریان مستقیم و معکوس است که کارخانه‌ها را به انبارها و مشتریان مجاز و سپس به مراکز جمع‌آوری، مراکز بازیافت، مرکز امحا و در نهایت مجددا به کارخانه‌ها متصل می‌کند.

با توجه به استراتژیک بودن مسئله تاکتیکی، سه خودروی متفاوت بسته به ظرفیت در نظر گرفته‌ایم. هنگام حمل‌ونقل محصولات توسط خودروها با پارامترهای خاصی مانند: هزینه وابسته به زمان، هزینه وابسته به مسافت، سرعت خودروها، ظرفیت خودروها و هزینه‌های ثابتی مواجه خواهیم بود که این پارامترها در سه نوع خودرو منتخب مقادیر متفاوتی دارند. این ۵ ویژگی در انتقال محصولات و همچنین در میزان آلایندگی و هزینه‌های اقتصادی بسیار مؤثر می‌باشند که در قسمت‌های بعدی به آن اشاره می‌شود.

۴.۵ محصولات

- ظروف یکبار مصرف:

مواد پلیمری در بسیاری از کاربردها که با سلامت انسان سر و کار دارند مورد استفاده‌اند؛ به نحوی که زندگی و حیات انسان‌ها در بسیاری از موارد علی الخصوص علم پزشکی به مواد پلیمری وابسته شده است. از میان کاربردهای متنوع محصولات پلیمری، ظروف یکبار مصرف نیز نقش بسیار پررنگی را در زندگی انسان امروزی به خود اختصاص داده است.

استفاده صحیح از ظروف یکبار مصرف پلیمری و توجه به تفکیک زباله در مبدأ توسط مردم و از طرفی فرهنگ‌سازی مصرف درست بر اساس دستورالعمل هر کدام از ظروف یکبار مصرف و توجه ویژه به مبحث بازیافت ظروف یکبار مصرف توسط دولتمردان امری است که علاوه به کمک بسیار به صنعت اشتغال‌زای پلاستیک کشور علی الخصوص ظروف یکبار مصرف باعث کاهش نگرانی‌های زیست محیطی خواهد بود. بطور کلی ظروف یکبار مصرف پلاستیکی از دو روش و سیستم قابل تولید می‌باشد:

۱. تولید ظروف یکبار مصرف پلاستیکی با سیستم تولید نیمه فرمینگ:
درسیستم تولید ظروف یکبار مصرف بصورت نیمه فرمینگ تمامی فرآیند در یک دستگاه انجام می‌شود. مواد اولیه به شکل گرانول پتروشیمی در قسمتی از خط تولید که اکسترودر [1] نامیده می‌شود، ذوب و تبدیل به ورق گرم شده و قبل از سرد شدن ورق البته با توجه به نوع و امکانات دستگاه این ورق، بدون نورد و یکنواخت شدن، ورق گرم وارد قسمت پرس شده و در زیرقالب عملیات فرم‌دهی و تولید ظروف یکبار مصرف انجام می‌پذیرد.

۲. تولید ظروف یکبار مصرف پلاستیکی با سیستم تولید ترموفرمینگ:
در فرآیند تولید ظروف یکبار مصرف پلاستیکی بصورت ترموفرمینگ محصول با کیفیت بسیار بهتری نسبت به فرآیند تولید ظروف یکبار مصرف سیستم نیمه فرمینگ بوده که خط تولید ترموفینگ بر خلاف نیمه فرمینگ شامل دو دستگاه بوده که در دستگاه اول مواد اولیه بصورت گرانول به ورق تبدیل و به صورت رول تولید می‌شود و در دستگاه دوم که به نام پرس ترموفرمینگ می‌باشد ورق آماده تولید شده با عبور از کوره حرارتی و رسیدن به درجه حرارت لازمه برای فرم‌گیری وارد قسمت پرس شده و در زیرقالب عملیات تولید ظروف انجام می‌پذیرد.

در هر دوی این فرآیندهای تولیدی امکان استفاده از مواد بازیافتی می‌باشد.

- کانال‌های پیش ساخته‌ی کولر:

[1] Extuder

شکل ۸.۵: ظروف یکبار مصرف

کانال پیش ساخته پلیمری کولر و هواساز جایگزینی مناسب برای کانال‌های گالوانیزه است که از مشخصات این کاناپلاست‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. اجزاء پیش ساخته و بدون ضایعات و پرتی
۲. سرعت نصب بالا
۳. تبادل حرارتی ۸۰ درصد کمتر نسبت به گالوانیزه
۴. قابلیت شستشو و ضدعفونی
۵. بسیار سبک
۶. بدون زنگ‌زدگی و پوسیدگی و کاملاً بهداشتی

شکل ۹.۵: کانال‌های پیش ساخته‌ی کولر

- عایق‌های حرارتی و رطوبتی:

عایق‌های پلی استایرن یا یونولیت یکی از بهترین عایق‌های حرارتی و رطوبتی بوده که بسیار مناسب برای عایق‌کاری کف و دیواره ساختمان‌ها می‌باشد. این محصول در ضخامت‌های مختلف تولید می‌شود و دارای کاربردهای متنوعی در داخل و خارج از ساختمان است. عایق‌های پلی استایرن در دو دسته بندی منبسط شده و اکسترود شده در بازار موجود است. عایق‌های پلی استایرن غیر قابل نفوذ در برابر رطوبت و بخار آب می‌باشند و جذب آب بسیار کمی دارند. وزن این محصول کم است و نسبت استحکام به وزن بالایی را دارا می‌باشد، پلی استایرن پایدار است و از آن می‌توان برای قالب‌گیری‌های متنوعی نیز استفاده نمود. این محصول بسیار مقرون به صرفه از لحاظ اقتصادی می‌باشد، غیر سمی است و صد در صد قابلیت بازیافت را دارا می‌باشد.

شکل ۱۰.۵: عایق‌های حرارتی و رطوبتی

سه محصول فوق در ۴ کارخانه در نظر گرفته‌شده تولید می‌شوند و از طریق انبارها به بازارها عرضه می‌شوند و پس از استفاده توسط مشتریان دوباره به محیط زیست بازگردانده شده و طبق شبکه زنجیره تأمین مدل‌سازی شده به مراکز بازیافت منتقل شده و درصدی از آن به شکل مواد خام بازیافتی پلی استایرنی به کارخانه‌ها ارسال می‌شوند.

۵.۵ ارزیابی هزینه‌ها

برای اهداف اقتصادی، هزینه‌های زیر در نظر گرفته می‌شوند. از آن‌جایی که تمام انبارهای موجود مکان‌های اجاره‌ای هستند، هزینه‌های اجاره به صورت یک هزینه ثابت بیان می‌شود زیرا در صورت پر و یا خالی بودن بایستی این هزینه پرداخت گردد. علاوه بر انبارها، چنین هزینه‌ای برای مراکز بازیافت نیز در نظر گرفته می‌شود که با توجه به بالا بودن میزان هزینه جایابی‌ها می‌توان گفت یکی از تدابیر مدل طراحی شده کاهش چنین هزینه‌هایی می‌باشد.
همانطور که می‌دانیم محصولات تولیدی از ترکیب معین مواد خام جدید و مواد بازیافتی تولید می‌شود لذا خرید آن‌ها برای کارخانه‌ها هزینه‌ای را به دنبال دارد که طبیعتا هزینه خرید مواد خام نو خیلی بیشتر از مواد بازیافتی خواهد بود. در این مدل هزینه تولید یک تن محصول با استفاده از مواد خام جدید خریداری شده توسط کارخانه‌ها ۲۰ تا ۴۰ دلار و همچنین هزینه تولید یک تن محصول با استفاده از ترکیب مواد خام نو و بازیافتی بین ۱۰ تا ۲۹ دلار در نظر گرفته شده‌است. هزینه دیگر مربوط به نگهداری و پردازش انبارهاست که از جمله آن می‌توان به تعداد نیروهای به کار گرفته‌شده، خدمات و تاسیسات نگهداری محصولات موجود در انبارها و ... اشاره کرد.

۶.۵ ارزیابی محیطی

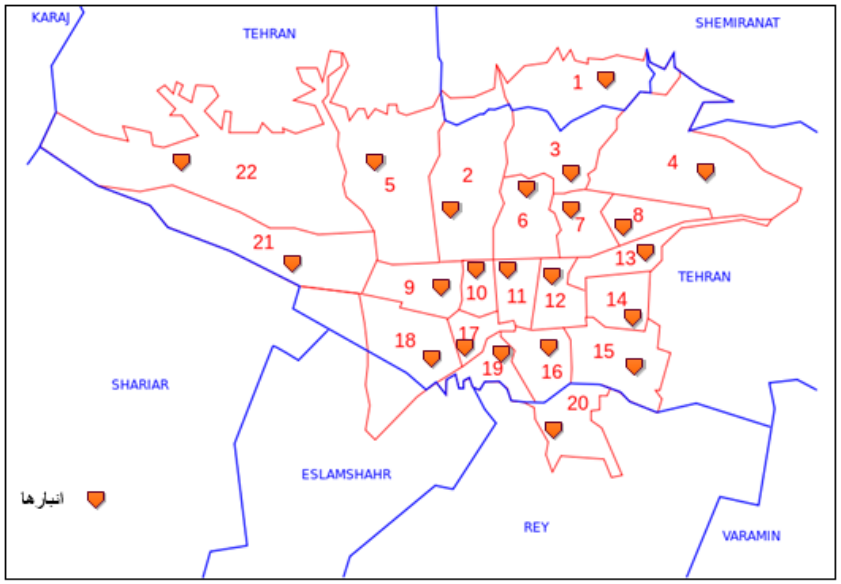
هنگام اعمال این مدل برای مطالعه موردی، سه فعالیت زیر به عنوان سهم اصلی در تأثیرات محیط‌زیستی زنجیره تأمین حلقه بسته در نظر گرفته می‌شود: تولید، حمل‌ونقل و راه‌اندازی تسهیلات
که با توجه به میزان آلایندگی و نوع گاز آزادشده در محیط‌زیست، یک هزینه گرمایش جهانی در نظر گرفته می‌شود که این هزینه برای گازهای VOC, NO_x, CO_2

بترتیب ۰/۰۲۳، ۷.۵ و ۴.۴ دلار بر تن می‌باشد.

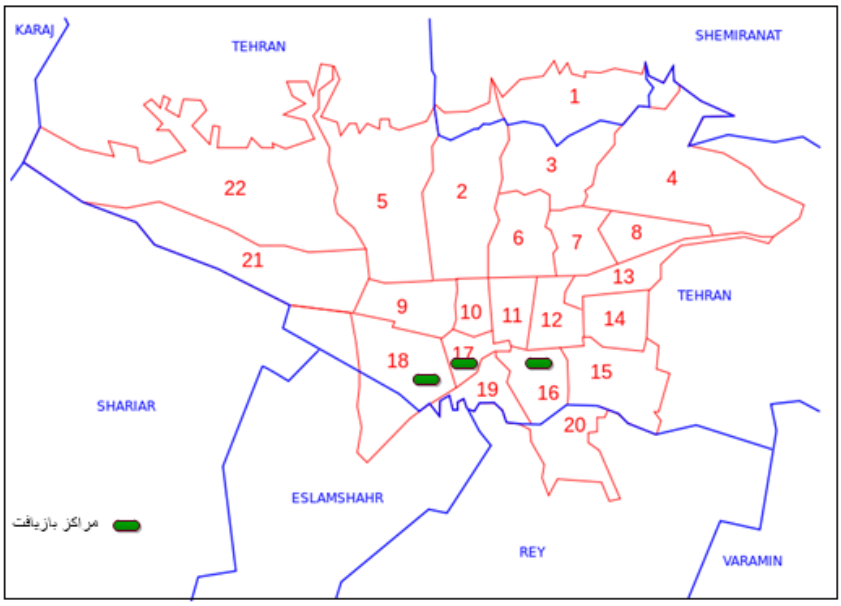
۷.۵ نتایج

مدل پیشنهادی با در نظر گرفتن دو تابع هدف اقتصادی و محیط زیستی بصورت یک تابع هدف واحد حل شده است. ابتدا تمامی نتایج بدون در نظر گرفتن تابع هدف محیط زیستی لحاظ می‌گردد و سپس با در نظر گرفتن تابع هدف محیط زیستی که بصورت هزینه بیان شده‌است می‌توان رابطه بین این دو تابع هدف را نشان داد.

حال با وارد کردن داده‌های موجود در برنامه GAMS و با فرض ۴ کارخانه، ۲۲ انبار، ۲۲ منطقه مشتری، ۲۲ مرکز جمع‌آوری، ۲۰ مرکز بازیافت و یک مرکز امحا، ۳ نوع گاز گلخانه‌ای، ۳ نوع ماشین، سه نوع تکنولوژی با سه سطح ظرفیت، یک محصول بازیافتی و دیگر داده‌های موجود برنامه را اجرا می‌کنیم. مدت زمان اجرا ۱۵ دقیقه است و میزان تابع هدف اقتصادی یا Z_1 برابر ۵۷۴۴۴۳۴/۴۰۴ دلار می‌باشد. مسئله به گونه‌ای طراحی شده است که باید طبق اصول بهینه‌سازی انبارها و مراکز بازیافت را مکان‌یابی کند در نتیجه شکل‌های (۱۱.۵) و (۱۲.۵) بترتیب مکان‌های مناسب برای جایابی انبارها و مراکز بازیافت را ارائه می‌دهد:



شکل ۱۱.۵: مکان‌های مناسب برای استقرار انبارها

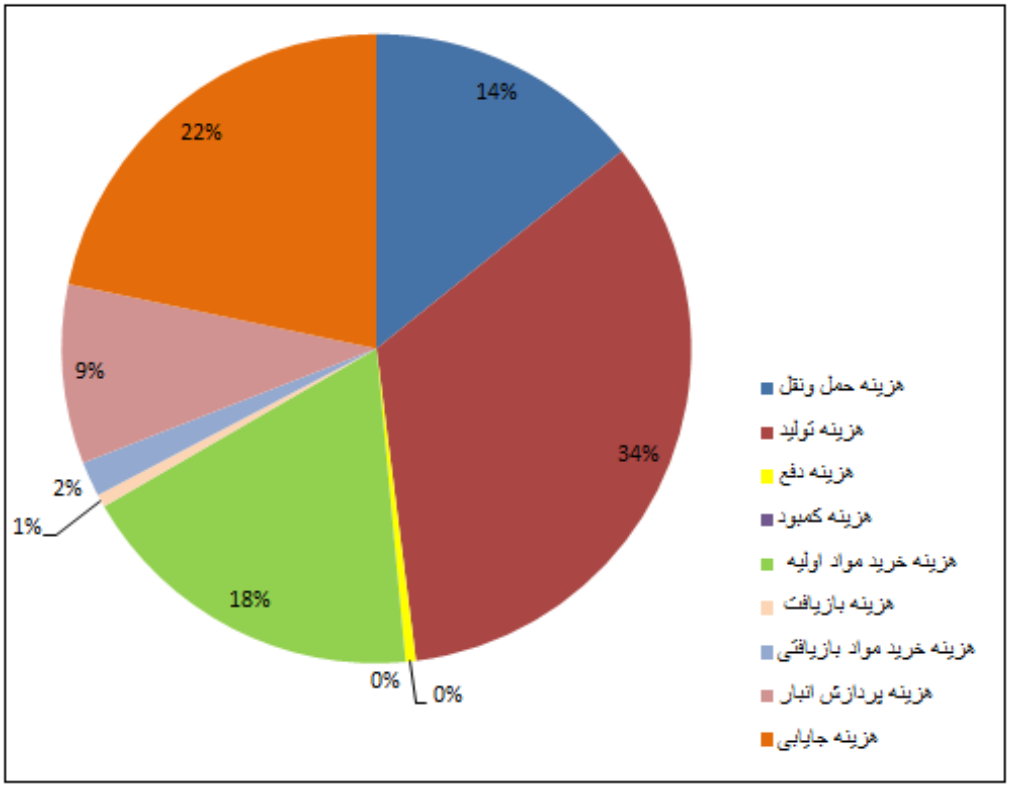


شکل ۱۲.۵: مکان‌های مناسب برای استقرار مراکز بازیافت

از آن‌جایی که برای هر تکنولوژی سه سطح ظرفیت در نظر گرفتیم، مدل ترجیح می‌دهد از سه نوع تکنولوژی با بالاترین سطح ظرفیت در سه مرکز بازیافت منتخب استفاده کند. از آنجاکه ابتدا فقط تابع هدف اقتصادی در نظر گرفته می‌شود لذا بررسی نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که در میان کلیه هزینه‌های موجود در این زنجیره، هزینه‌های تولید، جایابی و خرید مواد اولیه بترتیب بیشترین مقادیر را به خود اختصاص داده‌اند. جدول (۱.۵) و نمودار (۱۳.۵) به خوبی این موضوع را نمایش می‌دهد:

هزینه‌ها	مقادیر
تولید	۱۹۴۰۱۵۲/۵۷۷
بازیافت	۳۷۷۶۸/۵۴۴
دفع	۳۰۹۰۱/۵۳۶
کمبود	۰
نگهداری انبار	۵۲۹۲۸۴/۸۸۶
جایابی	۱۲۴۶۷۰۰/۰۰۰
خرید مواداولیه	۱۰۴۰۱۴۳/۶۸۰
خرید مواد بازیافتی	۱۰۳۰۰۵/۱۲۰
حمل‌ونقل	۸۱۶۴۷۸/۰۶۱
مجموع هزینه‌ها	۵۷۴۴۴۳۴/۴۰۴

جدول ۱.۵: جدول میزان هزینه‌های اقتصادی



شکل ۱۳.۵: نمودار میزان هزینه‌های اقتصادی

نمودار فوق نشان می‌دهد که هزینه تولید، جایابی و خرید مواد اولیه بترتیب ۳۴٪ ، ۲۲٪ و ۱۸٪ از کل هزینه‌های اقتصادی را شامل می‌شود. همچنین طبق نتایج بدست‌آمده از مسئله و باتوجه به هزینه‌های جاری، مدل تصمیم می‌گیرد برای تولید محصولات پلی استایرن ۸۳٪ از فرآیند استفاده از مواد خام بازیافتی و نو و ۱۷٪ از فرآیند استفاده از مواد خام نو استفاده کند.

۸.۵ تحلیل حساسیت

هزینه‌های حمل‌ونقل، هزینه‌های اقتصادی را تحت شعاع خود قرار می‌دهند. این هزینه‌ها به موراد زیر وابسته هستند:

۱. هزینه وابسته به مسافت

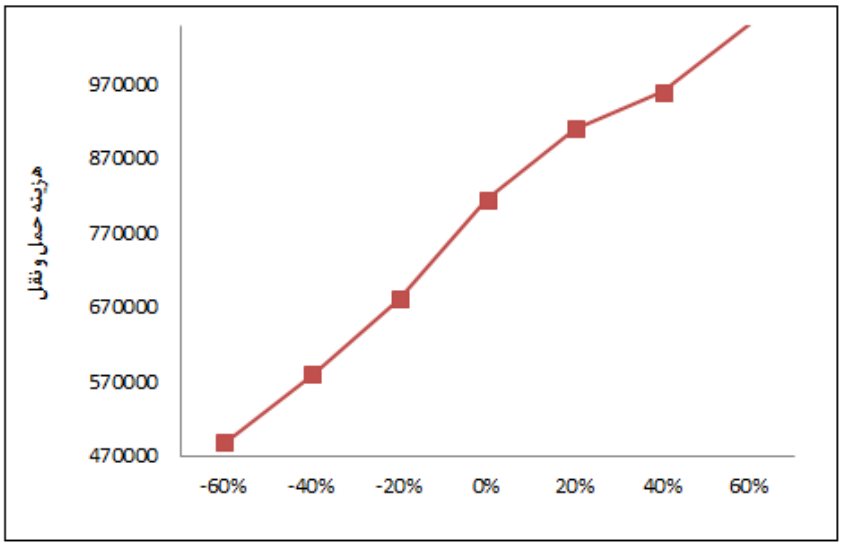
۲. هزینه وابسته به زمان

۳. سرعت ماشین‌ها

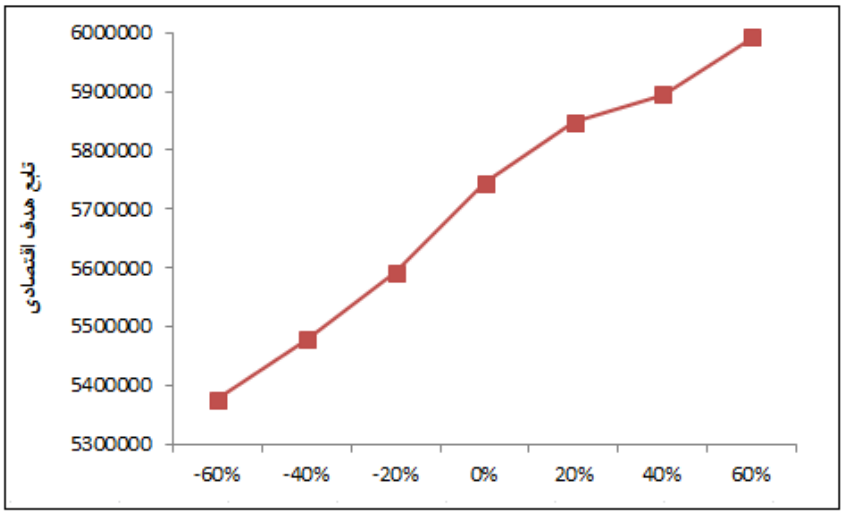
۴. هزینه وابسته به بارگیری و تخلیه

۵. ظرفیت ماشین‌ها

پس میزان این هزینه‌ها را تا ۶۰٪ کاهش و افزایش می‌دهیم. نمودار (الف) در هر قسمت چگونگی تغییرات هزینه‌های حمل‌ونقل و نمودار (ب) چگونگی تغییرات هزینه‌های اقتصادی تابع هدف را نمایش می‌دهد. نمودارهای (۱۴.۵) تا (۲۳.۵) بیانگر این تغییرات می‌باشند.

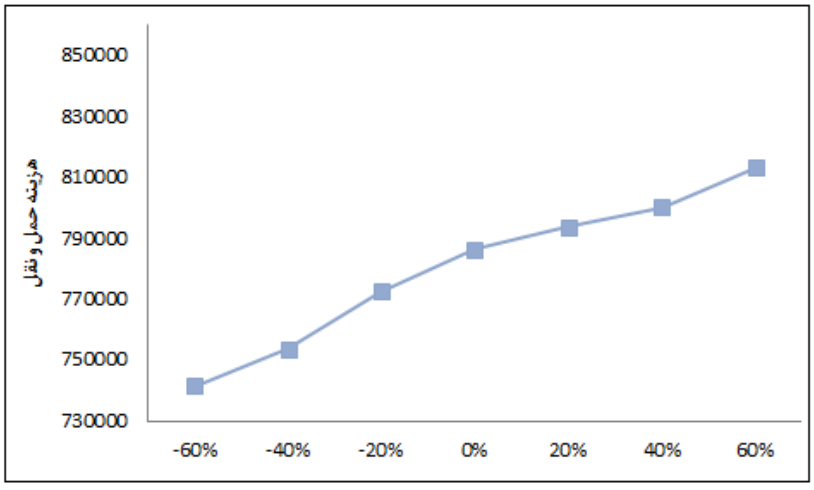


شکل ۱۴.۵: نمودار (الف) تغییرات هزینه حمل‌ونقل نسبت به هزینه وابسته به مسافت

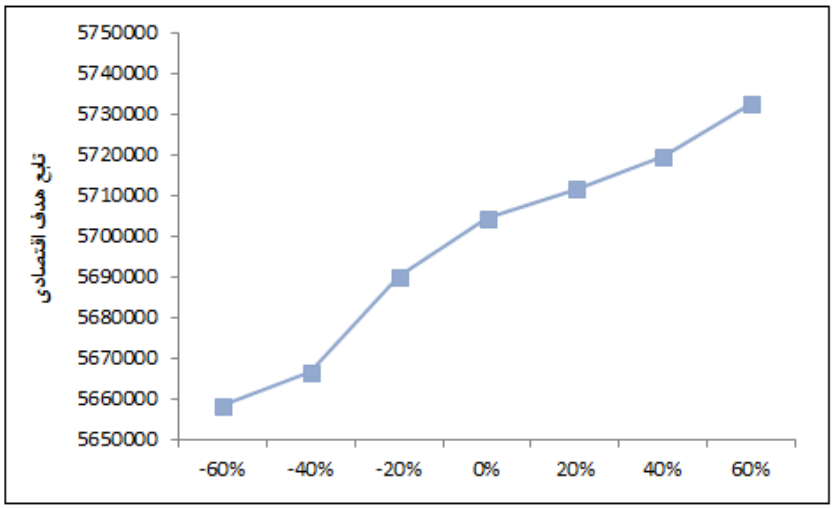


شکل ۱۵.۵: نمودار (ب) تغییرات تابع هدف اقتصادی نسبت به هزینه وابسته به مسافت

همانطور که مشاهده می‌شود هزینه وابسته به مسافت را تا ۶۰٪ افزایش و کاهش داده‌ایم که بوضوح می‌توان دید هرچقدر هزینه‌ی وابسته به مسافت بیشتر شود، هزینه‌های حمل‌ونقل و اقتصادی افزایش می‌یابد. این نمودار دارای شیب صعودی می‌باشد.

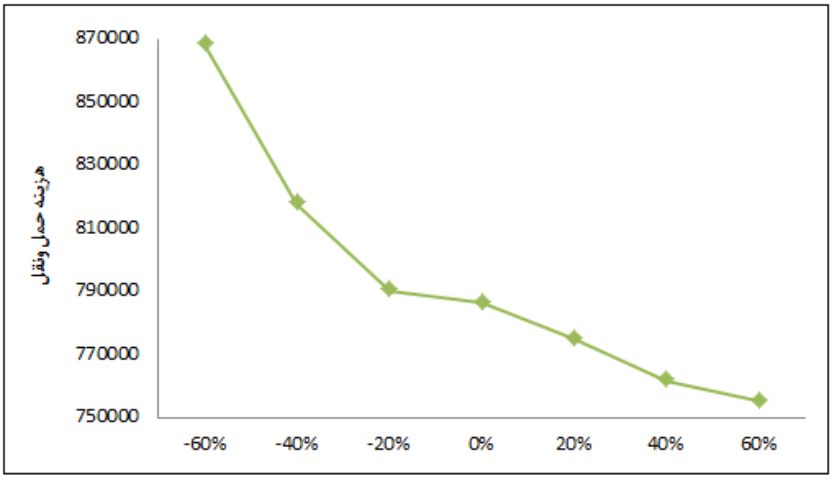


شکل ۱۶.۵: نمودار (الف) تغییرات هزینه حمل‌ونقل نسبت به هزینه وابسته به زمان

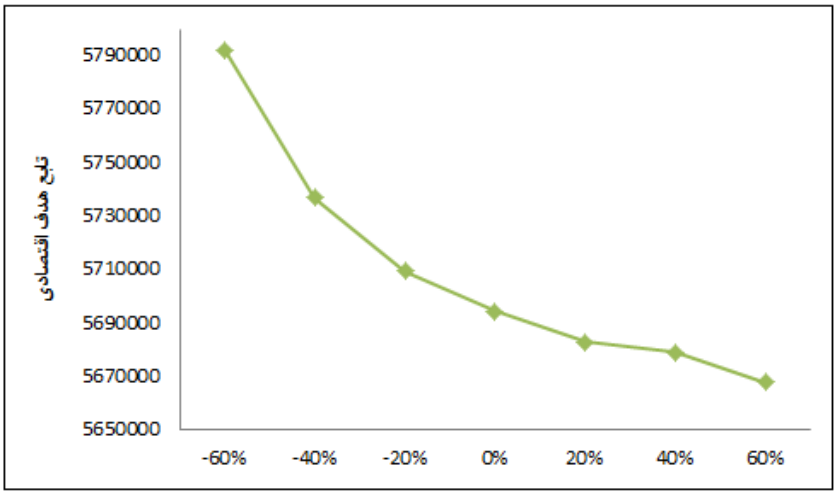


شکل ۱۷.۵: نمودار (ب) تغییرات تابع هدف اقتصادی نسبت به هزینه وابسته به زمان

همانطور که مشاهده می‌شود با ۶۰% افزایش و کاهش هزینه وابسته به زمان میزان تغییرات تابع هدف اقتصادی و هزینه‌های حمل‌ونقل رو به افزایش است و در نگاه کلی می‌توان گفت نمودار صعودی می‌باشد یعنی هرچه قدر این هزینه بیشتر شود، هزینه‌های حمل‌ونقل و اقتصادی نیز افزایش می‌یابد. در واقع یکی از اهداف زنجیره تأمین، مدیریت بهینه زمان انجام عملیات است.

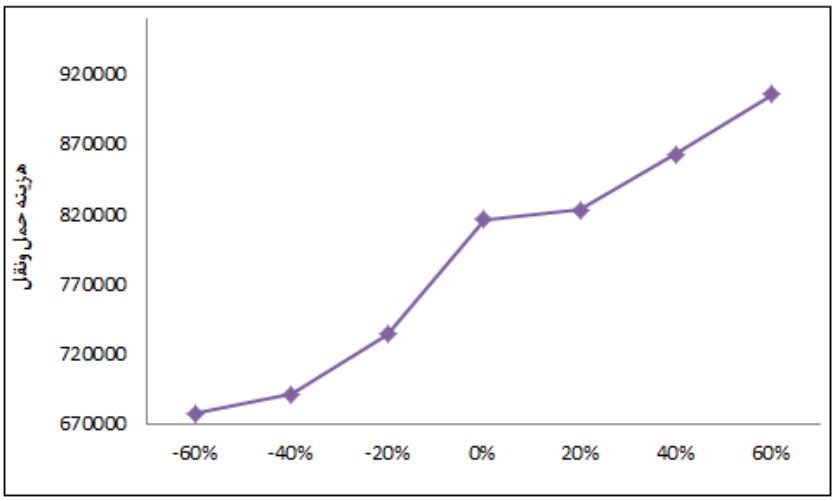


شکل ۱۸.۵: نمودار (الف) تغییرات هزینه حمل‌ونقل نسبت به سرعت ماشین‌ها

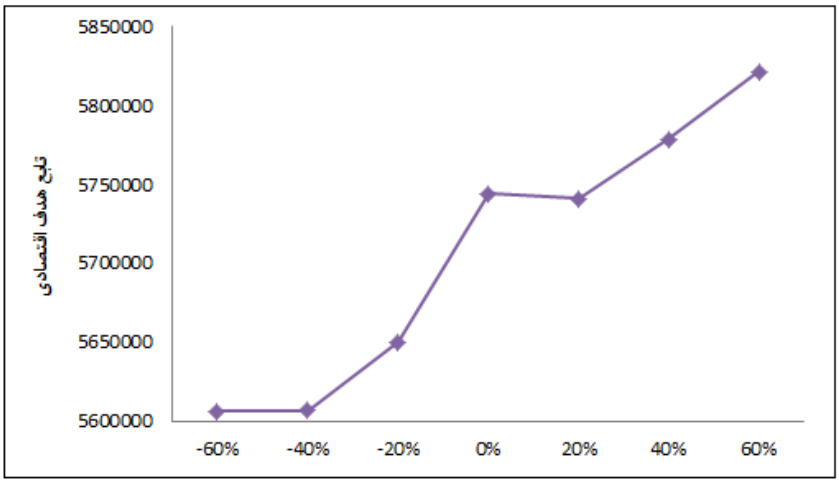


شکل ۱۹.۵: نمودار (ب) تغییرات تابع هدف اقتصادی نسبت به سرعت ماشین‌ها

برخلاف دو عامل قبلی که رابطه مستقیم با هزینه‌ها داشتند، عامل سرعت ماشین‌ها رابطه کاملا عکس با هزینه‌های جاری دارد چرا که افزایش سرعت ماشین‌ها نیز با کاهش هزینه‌ها روبرو است لذا همان‌طور که انتظار می‌رود این نمودار با ۶۰% افزایش و کاهش هزینه، بایستی روند نزولی داشته باشد.

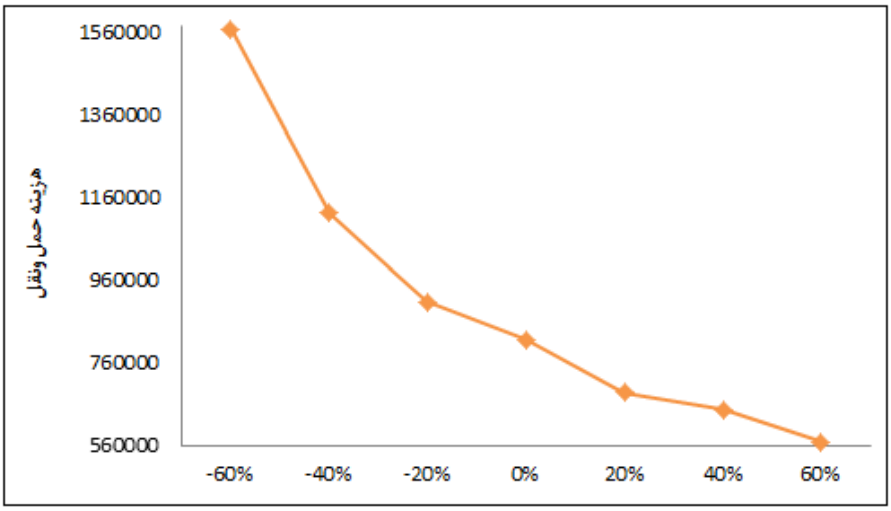


شکل ۲۰.۵: نمودار (الف) تغییرات هزینه حمل‌ونقل نسبت به هزینه وابسته به بارگیری و تخلیه



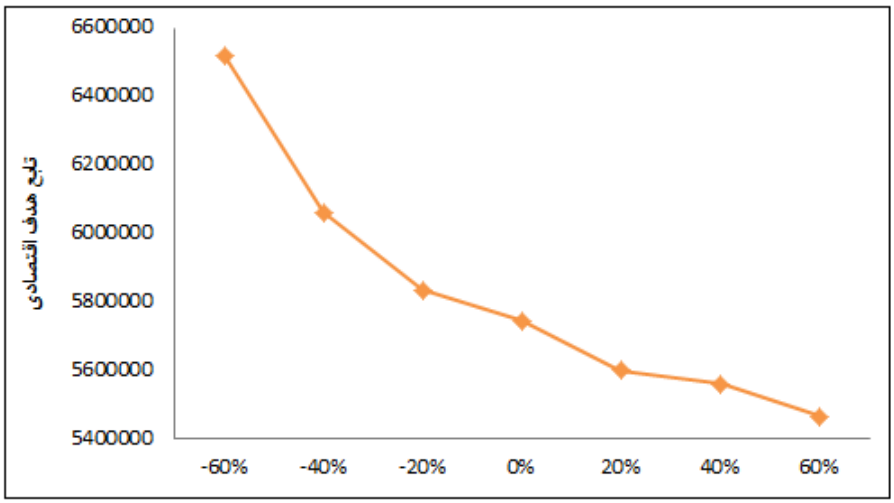
شکل ۲۱.۵: نمودار (ب) تغییرات تابع هدف اقتصادی نسبت به هزینه وابسته به بارگیری و تخلیه

هزینه بارگیری و تخلیه [۲] که هزینه ثابتی شامل بارگیری محصولات، تأمین نیروی انسانی و ... می‌باشد، رابطه مستقیمی با هزینه‌های اقتصادی و حمل‌ونقل دارد. طبیعتا هرچه میزان این هزینه‌ها بیشتر باشد، هزینه‌های کل افزایش می‌یابد.



شکل ۲۲.۵: نمودار (الف) تغییرات هزینه‌های حمل‌ونقل نسبت به هزینه وابسته به ظرفیت ماشین‌ها

[2] Loading/Unloading



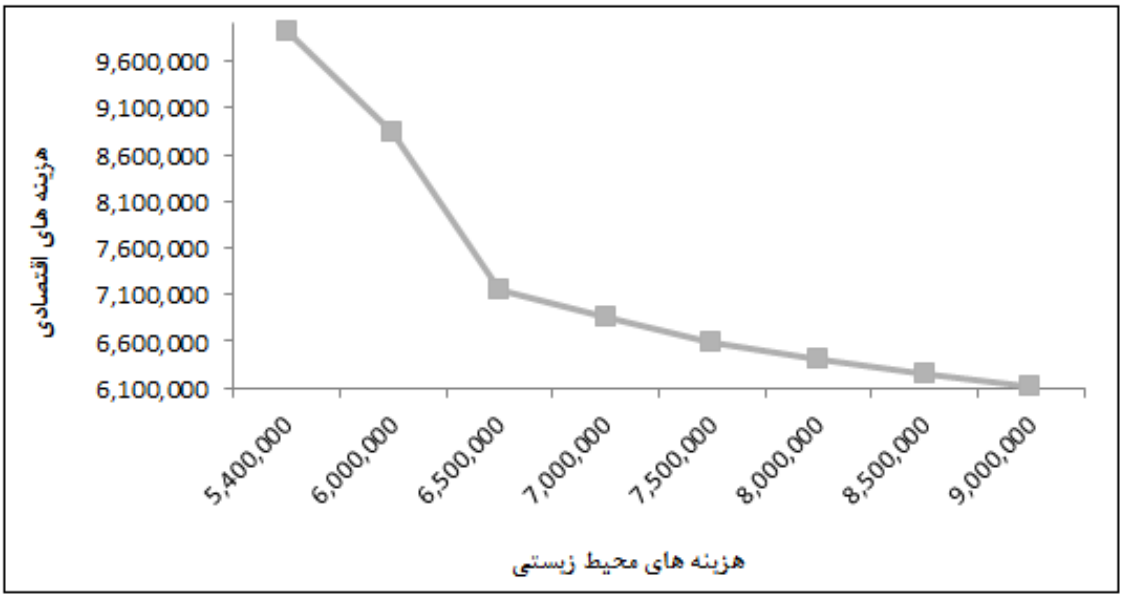
شکل ۲۳.۵: نمودار (ب) تغییرات تابع هدف اقتصادی نسبت به هزینه وابسته به ظرفیت ماشین‌ها

یکی از عوامل مهم در هنگام بارگیری محصولات، انتخاب ماشین با ظرفیت مناسب است که پاسخگوی حمل‌ونقل تمام محصولات برای رسیدن به مقصد نهایی خود در کمترین زمان ممکن باشند. هرچه میزان ظرفیت افزایش یابد، تعداد دفعات رفت و برگشت ماشین‌ها برای ارسال محصولات کاهش پیدا می‌کند. لذا با افزایش ظرفیت ماشین‌ها با هزینه‌های کمتری مانند سوخت، عوارض، استهلاک ماشین‌ها و ... مواجه خواهیم بود. نمودارهای نزولی فوق گویای این مطلب است.
با توجه به نمودارهای فوق مشاهده می‌شود که عوامل ظرفیت و سرعت ماشین‌ها بیشترین تأثیر را بر روی هزینه‌های حمل‌ونقل و هزینه‌های اقتصادی خواهند داشت.

۹.۵ مقایسه تابع هدف اقتصادی و تابع هدف محیط زیستی

در این مطالعه مسئله‌ي توزیع اقتصادي و زیست محیطی با در نظر گرفتن محدودیت‌هاي تعادل و حداقل و حداکثر ظرفیت تولید، مدل‌سازي می‌شوند. به عبارت دیگر در این تحقیق تلاش شده است که حداقل‌سازي همزمان هزینه تولید محصولات پلی استایرن (بهینه‌سازي اقتصادي) و میزان انتشار آلاینده‌هاي محیط زیست (بهینه‌سازي زیست محیطی) به صورت همزمان و در قالب یک مسئله بهینه‌سازي دو هدفه مورد توجه قرار گیرد. روش مورد استفاده در این بهینه‌سازي دو هدفه، الگوریتم ϵ ـ محدودیت می‌باشد. با استفاده از این روش مجموعه جواب پارتو (نامغلوب) بدست می‌آید. مهمترین تفاوت پژوهش حاضر با مطالعات گذشته به روش مدل‌سازي و دستیابی به مجموعه جواب بهینه باز می‌گردد. مزیت بدست آوردن

مجموعه جواب پارتو این است که بهینه بودن را معطوف به یک ترکیب نمی‌کند، زیرا در عمل ممکن است دسترسی به یک ترکیب خاص امکان‌پذیر نباشد، لیکن مجموعه جواب پارتو امکان استفاده از گزینه‌های دیگر را در اختیار بخش تصمیم‌گیري قرار می‌دهد. این در حالی است که پژوهش‌هاي گذشته در این حوزه عموماً بر مدل‌سازی تک هدفه اقتصادی متمرکز شده‌اند یا با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه به یافتن نقطه بهینه متمایل بوده‌اند. تحقیق حاضر از این بعد مدل‌سازي، روش حل مسئله و رویکرد پرداختن به موضوع متفاوت از مطالعات پیشین است. لذا بر خلاف نتیجه‌گیری‌های قبلی در قسمت قبل که با فرض در نظر نگرفتن تابع هدف محیط زیستی بررسی شد، اینک با فرض همزمان دو تابع هدف و مقایسه آن‌ها با هم به نتایج زیر می‌رسیم. طبق معادله (۳۰.۴) کران بالای تابع هدف محیط‌زیست را ۹۰۰۰۰۰۰ در نظر گرفتیم. لذا در این قسمت بهترین تحلیل حساسیت برای مقایسه این دو تابع هدف، کاهش کران بالای تابع هدف محیط زیستی می‌باشد. لذا می‌توان با استفاده از مقادیر بدست آمده نمودار تغییرات همزمان این دو تابع هدف را بصورت زیر در نظر گرفت:



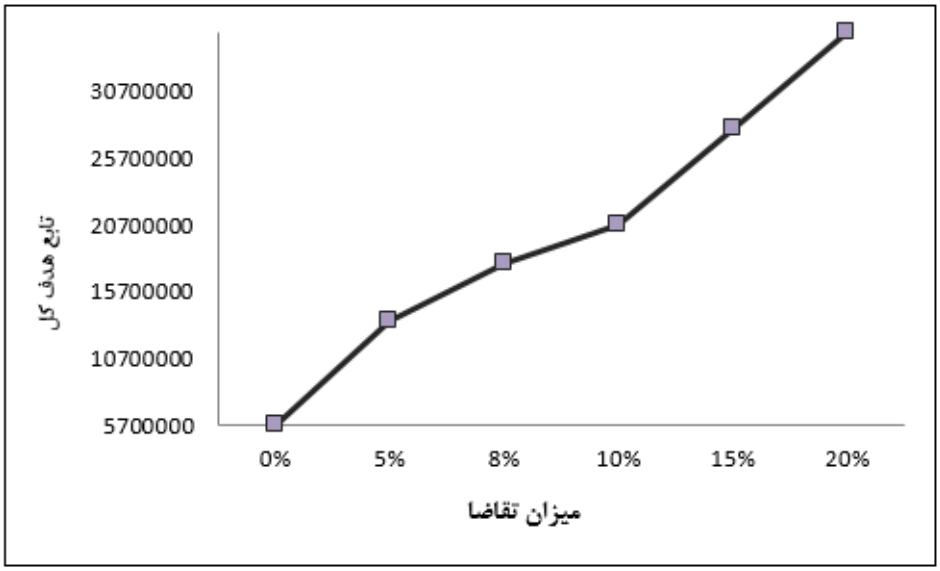
شکل ۲۴.۵: نمودار مقایسه همزمان تابع هدف اقتصادی و محیط‌زیستی

مشاهده می‌شود که این نمودار روند نزولی دارد یعنی با افزایش هزینه‌های اقتصادی، هزینه‌های محیط زیستی کاهش می‌یابد. سعی بر این است که با راهکارهایی مناسب میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش یابد. جایگزینی تجهیزات قدیمی کارخانه‌ها و مراکز بازیافت با تجهیزات جدید و نصب تجهیزات فیلتر کننده‌ی آلاینده‌ها در کارخانه‌ها از جمله راهکارهاي کاهش انتشار می‌باشند. اما نیاز به سرمایه‌گذاري‌هاي بالا باعث شده که این روش‌ها در برنامه‌ریزی‌های بلند مدت در نظر گرفته شوند. در برنامه‌ریزی‌های کوتاه مدت سعی بر آن است که همزمان با

کاهش هزینه سوخت، میزان انتشار گازها نیز کاهش یابد.

حال می‌خواهیم روی میزان تقاضای مشتریان تحلیل حساسیت را انجام دهیم. برای این کار میزان تقاضا را هر بار افزایش می‌دهیم و تغییرات تابع هدف اقتصادی و در نهایت تابع هدف کل را بررسی می‌کنیم. باید توجه داشت این افزایش تا جایی ادامه دارد که با کمبود مواجه نشویم لذا با در نظر گرفتن این نکته مشاهده می‌شود که با افزایش میزان تقاضا تا ۸٪ میزان تابع هدف اقتصادی و تابع هدف محیط زیستی و در نهایت تابع هدف کل رو به افزایش است. نمودارهای (۲۵.۵) و (۲۶.۵) بترتیب تغییرات تابع هدف اقتصادی و تابع هدف کل را نسبت به افزایش میزان تقاضا نشان می‌دهد:

شکل ۲۵.۵: نمودار تغییرات تابع هدف اقتصادی نسبت به افزایش تقاضا



شکل ۲۶.۵: نمودار تغییرات تابع هدف کل نسبت به افزایش تقاضا

از آنجا که ما برای مطالعه موردی شهر تهران را انتخاب کرده‌ایم، لذا با توجه به مطالب بالا می‌توان نتیجه گرفت این مدل طراحی شده می‌تواند تا حدود ۸٪ افزایش تقاضا را بدون مواجه با کمبود پاسخگو باشد. همچنین با افزایش تقاضا تا ۱۰٪ زنجیره با مقدار ناچیزی کمبود روبرو می‌شود.

فصل ۶

نتیجه‌گیری

۱.۶ مقدمه

در این پایان‌نامه برای برنامه ریزی یکپارچه مستقیم و معکوس در زنجیره تأمین حلقه بسته یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته بصورت قطعی و دو هدفه توسعه داده شده است که هدف اول آن کمینه‌سازی هزینه‌های اقتصادی شامل هزینه تولید، جایابی کارخانه‌ها و مراکز بازیافت، خرید مواد اولیه پلی استایرن، حمل‌ونقل و ... و هدف دوم آن کمینه‌سازی هزینه گازهای گلخانه‌ای حاصل از داخل مراکز تولید و بازیافت و حمل‌ونقل بین مراکز می‌باشد. همچنین، چارچوب تعریف شده بر مبنای استراتژی فشاری – کششی طراحی شده است.
با ارایه یک شبکه زنجیره تأمین یکپارچه نه تنها جریان کالا و خدمات را در قسمت تولید، حمل و توزیع برنامه‌ریزی کرده‌ایم، بلکه با نگاه به جریانات برگشتی و در نظر گرفتن اتمام عمر محصولات، قسمت لجستیک معکوس (و بازیابی) را نیز مد نظر قرار داده‌ایم. با این کار نه تنها سود اقتصادی حاصل از بازیافت محصولات منافعی برای صنایع بدنبال دارد، بلکه آلودگی محیط زیست از طریق کاهش مقدار زباله‌های صنعتی و استفاده مجدد از آن‌ها کاهش می‌یابد.
با توجه به اینکه سازمان‌های امروزی با مشکلات اقتصادی بسیاری روبرو هستند، تمرکز محض بر مشتری‌مداری و برآورده نمودن نیازهای آنان راه مناسبی برای کسب مزیت رقابتی نمی‌باشد

زیرا مشتری همواره به دنبال بالاترین کیفیت و پایین‌ترین قیمت است و همین مسئله گاهی موجب انجام فعالیت‌هایی می‌گردد که باعث آلودگی محیط زیست شده و یا اثرات مخرب بر محیط زیست بر جای می‌گذارد بنابراین برای حفظ و بقای خویش باید راهبردهایی همچون جایگزینی سوخت‌های فسیلی با سوخت‌های پاک، استفاده مجدد از ضایعات و بازیافت آن‌ها، استفاده از مواد خام سازگار با محیط زیست و ... را در پیش گیرد. بازیافت محصولات علاوه بر سودآوری موجب جلوگیری از هدر رفت منابع شده و اثرات مخرب زیست محیطی را نیز کاهش می‌دهد.

۲.۶ نوآوری‌های مطرح شده

توانایی مدل جدید در نظر گرفتن دو هدف کاهش هزینه اقتصادی و محیط زیستی بطور همزمان نسبت به بهینه‌سازی هر یک از این توابع بصورت جدا در مدل‌های مشابه می‌باشد و اینکه برای جلوگیری از آلودگی‌های محیط زیستی محدودیت تولید گازهای گلخانه‌ای را در داخل و بین مراکز در نظر می‌گیرد. از جمله گازهای گلخانه‌ای در نظر گرفته شده در این مدل VOC، $NO_۲$ و $CO_۲$ می باشد. از جمله نتیجه‌گیری‌های حاصل از این پایان‌نامه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. از آنجایی‌که بیشترین هزینه‌ها مربوط به بخش تولید، جایابی انبارها و مراکز بازیافت و تکنولوژی‌ها و همچنین خرید مواد اولیه می‌باشد، کاهش هزینه قابل توجهی می‌تواند با استفاده از بهینه‌سازی تعداد انبارها و مراکز بازیافت و یا استفاده بیشتر از مواد بازیافتی در تولید مواد خام ارائه شود. مطالعه مورد نظر روی مراکز تولید و بازیافت شهر تهران انجام شد و مشاهده کردیم که برای کاهش هزینه‌های اقتصادی و محیط زیستی، ۱۷% از تولیدات فقط از مواد خام جدید و ۸۳% آن‌ها از مواد خام جدید و بازیافتی همزمان استفاده می‌کنند.

۲. بین هزینه‌های اقتصادی و محیط زیستی رابطه‌ی معکوسی موجود است ولی مطالعات ما نشان داد برای بهبود ۵% هزینه‌های محیط زیستی، میزان افزایش هزینه‌های اقتصادی کمتر از ۲% است.

۳. هدف مدیریت زنجیره تأمین عبارتست از مرتبط کردن همه بخش‌های زنجیره تأمین (عرضه) به طوری که تقاضای بازار تا اندازه ممکن به طور کارا و مؤثری در سرتاسر کل زنجیره برآورده شود. این مستلزم تطابق عرضه و تقاضا در هر مرحله از زنجیره است. در این پایان‌نامه مدل برنامه‌ریزی شده به گونه‌ای است که تمام نیاز مشتریان را پاسخگو باشد . حتی با در نظر گرفتن میزان تقاضا و نیاز مردم به محصولات پلی استایرن در تهران، مشاهده کردیم که مدل پیشنهادی قادر است تا ۸% افزایش تقاضا را بدون

کمبود برآورده کند. این افزایش تقاضا تأثیر مستقیمی روی میزان هزینه اقتصادی و هزینه محیط زیستی و در نتیجه هزینه کل تابع هدف دارد.

۴. فرمول زیر را در نظر بگیرید:

$$C_{mxy} = \left(\frac{(\alpha di + (\frac{\alpha T}{V_m})) \times \partial_{xy}}{\lambda'_m} + \beta'_m\right)$$

مؤلفه‌های مؤثر بر حمل‌ونقل عبارتند از مسافت، سرعت، زمان، ظرفیت، هزینه ثابت بارگیری و تخلیه که با توجه به صورت فرمول و نتایج بعمل آمده می‌توان مشاهده کرد که عوامل مسافت، زمان و هزینه بارگیری و تخلیه با هزینه حمل‌ونقل رابطه مستقیم دارد و همچنین عوامل سرعت و ظرفیت با هزینه حمل‌ونقل رابطه عکس دارند و از آنجاکه هزینه حمل‌ونقل یکی از اجزای هزینه‌های تابع هدف اقتصادی می‌باشد لذا افزایش و کاهش مؤلفه‌های حمل‌ونقل تأثیر مستقیمی بر روی تابع هدف اقتصادی نیز می‌گذارد.

۳.۶ پیشنهادات برای مطالعات آتی

همانطور که دیدیم شبکه لجستیک یکپارچه پلی استایرن در تهران با نتایج فوق همراه بود و بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که برای کاهش آلودگی‌ها و هزینه‌های اقتصادی، بازیافت محصولات پلی استایرن مقرون به صرفه‌تر است. در ادامه پیشنهادهایی طرح می‌شود که برای تحقیقات آتی مورد استفاده قرار خواهد گرفت:

(آ) در این مدل، مسئله برنامه‌ریزی شده بصورت تک دوره‌ای و چند محصوله بود که می‌توان مسئله را برای چندین دوره متوالی در یک شبکه تولید و بازیافت ارائه نمود.

(ب) عدم قطعیت یکی از مسائل مهم در مدیریت زنجیره تأمین و لجستیک یکپارچه است. بنابراین، در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترهایی مانند تقاضا در بهینه‌سازی تصادفی جالب توجه است. در این مدل تمامی پارامترها بصورت قطعی ارائه شده بودند.

(ج) در این پایان‌نامه تابع هدف اقتصادی و محیط زیستی مورد توجه قرار گرفتند که با در نظر گرفتن تابع هدف اجتماعی [۱] مدل به یک شبکه زنجیره تأمین پایدار [۲] با لحاظ عوامل اقتصادی، محیط زیستی و اجتماعی تبدیل می‌شود. در کنار عوامل زیست محیطی و اقتصادی پیشنهاد می‌شود به عوامل اجتماعی همچون ایجاد فرصت‌های شغلی و غیره نیز در قالب یک مدل یکپارچه پرداخته شود.

[1] Social Performance
[2] Supply Chain Sustainability

مراجع

[۱] جعفرنژاد ا ، عموزاده مهدیرجی ح، (۱۳۹۰)، کتاب طراحی و کنترل زنجیره تأمین

[2] Aks oy H.K. and Gupta S.M. (2005), ”Buffer allocation plan for a remanufacturing cell” , **Computers Industrial Engineering** 48, PP 657–677.

[3] Amiri A.” Designing a distribution network in a supply chain system:”, **formulation and efficient solution procedure**, Eur. J. Oper. Res. 171 (2) , pp 567–576.

[4] Aras N. Aksen D. and Tanuğur A. G. (2008), ”Locating collection centers for incentive-dependent returns under a pick-up policy with capacitated vehicles”, **European Journal of Operational Research**, 191(3), pp 1223-1240.

[5] Barros A. I. Dekker R. and Scholten V. (1998), ”A two-level network for recycling sand: a case study”, **European journal of operational research**, 110(2), pp 199-214.

[6] Bojarski A. D. Laínez J. M. Espuña A., and Puigjaner L. (2009), ”Incorporating environmental impacts and regulations in a holistic supply chains modeling: An LCA approach ”, **Computers and Chemical Engineering**, 33(10), pp 1747-1759.

[7] Bowersox D. J. and Daugherty P. J. (1987), ”Emerging patterns of logistical organization”, **Journal of Business Logistics**, 8(1), pp 46.

[8] Mota B , Gomes M. I. Carvalho A. and Barbosa-Povoa A. P. (2015),”Towards supply chain sustainability: economic, environmental and social design and planning”, **Journal of Cleaner Production**, 105, pp 14-27.

[9] Nepal B. Monplaisir L. and Famuyiwa O. (2011), ”A multi-objective supply chain configuration model for new products”, **International Journal of Production Research**, 49(23), pp 7107-7134.

[10] Tukker A. Poliakov E. Heijungs R. Hawkins T. Neuwahl F. Rueda-Cantuche J. M. and Bouwmeester M. (2009), ”Towards a global multi-regional environmentally extended input–output database”, **Ecological Economics**, 68(7), pp 1928-1937.

[11] Majeau-Bettez G. Strømman, A. H., and Hertwich E. G. (2011), ”Evaluation of process- and input–output-based life cycle inventory data with regard to truncation and aggregation issues”, **Environmental science and technology**, 45(23), pp 10170-10177.

[12] Commission E. (2011), ”International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook In: Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European Context”, **Joint Research Centre e Institute for Environment and Sustainability**.

[13] De la Fuente M. Victoria Ros Lorenzo and CardÛs Manuel. (2008), ”Integrating Forward and Reverse Supply Chains: Application to a metal-mechanic company”, **International Journal of Production Economics**. 111(2), PP 782-792.

[14] Duque J. Barbosa-Póvoa A. P. F. and Novais A. Q. (2010),” Design and planning of sustainable industrial networks: Application to a recovery network of residual products”, **Industrial and Engineering Chemistry Research**, 49(9), pp 4230-4248.

[15] Farmer D. (1992), “A Purchasing Myopia-revisited”, **European Journal of Purchasing and Supply Chain Management** 3, PP 1 – 8.

[16] Fleischmann M. Bloemhof-Ruwaard J. M. Dekker R. Van der Laan E. Van Nunen J. A. and Van Wassenhove L. N. (1997), ”Quantitative models for reverse logistics: A review”,**European journal of operational research** , 103(1), pp 1-17.

[17] Fleischmann M. Beullens P. Bloemhof-Ruwaard J. M. and Wassenhove L. N. (2001), ”The impact of product recovery on logistics network design”, **Production and operations management**, 10(2), pp 156-173.

[18] Neto J. Q. F. Bloemhof-Ruwaard J. M. van Nunen J. A. and van Heck E. (2008), ”Designing and evaluating sustainable logistics networks” ,**International Journal of Production Economics**, 111(2), pp 195-208.

[19] Grote C. A. Jones R. M. Blount G. N. Goodyer J. and Shayler M. (2007), ”An approach to the EuP Directive and the application of the economic eco-design for complex products”, **International Journal of Production Research**, 45(18-19), pp 4099-4117.

[20] Klose A. Speranza M. G. and Van Wassenhove L. N. (Eds.). (2012), ” Quantitative approaches to distribution logistics and supply chain management ”(Vol. 519), **Springer Science and Business Media**.

[21] Ilgin M. A. and Gupta S. M. (2010), ”Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): A review of the state of the art”, **Journal of environmental management**, 91(3), pp 563-591.

[22] Jayaraman V. Guide Jr V. D. R. and Srivastava R. (1999),” A closed-loop logistics model for remanufacturing”,**Journal of the operational research society**, 50(5), pp 497-508.

[23] Kannan G. Sasikumar P. and Devika K. (2010), ”A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: A case of battery recycling”, **Applied Mathematical Modelling**, 34(3), pp 655-670.

[24] Kara, S. S., and Onut S. (2010),” A two-stage stochastic and robust programming approach to strategic planning of a reverse supply network: The case of paper recycling”,**Expert Systems with Applications**, 37(9), pp 6129-6137.

[25] Klibi W. Martel A. and Guitouni A. (2010), ”The design of robust value-creating supply chain networks: a critical review” **European Journal of Operational Research**, 203(2), pp 283-293.

[26] Krikke H. R. van Harten A. and Schuur P. C. (1999),” Business case Oce: reverse logistic network re-design for copiers”, **OR-Spektrum**, 21(3), pp 381-409.

[27] Kwak M. J. Hong, Y. S. and Cho, N. W. (2009), ”Eco-architecture analysis for end-of-life decision making”, **International Journal of Production Research**, 47(22), 6233-6259.

[28] Lee D. H. and Dong M. (2008), ”A heuristic approach to logistics network design for end-of-lease computer products recovery” **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 44(3), pp 455-474.

[29] LI Xiongyi, Wang Wei,”Research on Green Supply Chain Management”, School of Management Zhongyuan University of Technology, P.R.China, 450007

[30] Louwers D. Kip B. J. Peters E. Souren F. and Flapper S. D. P. (1999), ”A facility location allocation model for reusing carpet materials”, **Computers and Industrial Engineering**, 36(4), 855-869.

[31] Lu Z. and Bostel N. (2007), ”A facility location model for logistics systems including reverse flows: The case of remanufacturing activities”, **Computers and Operations Research**, 34(2), pp 299-323.

[32] Masui K. Sakao T. Kobayashi M. and Inaba A. (2003), ”Applying quality function deployment to environmentally conscious design”, **International Journal of Quality and Reliability Management**, 20(1), pp 90-106.

[33] Mavrotas G. (2009),” Effective implementation of the ε-constraint method in multi-objective mathematical programming problems”, **Applied mathematics and computation**, 213(2), pp 455-465.

[34] Meade, L. Sarkis J. and Presley, A. (2007), ”The theory and practice of reverse logistics”, **International Journal of Logistics Systems and Management**, 3(1), pp 56-84.

[35] Meepetchdee Y. and Shah N. (2007), ”Logistical network design with robustness and complexity considerations”, **International Journal of Physical Distribution and Logistics Management**, 37(3), pp 201-222.

[36] Melo M. T. Nickel S. and Saldanha-Da-Gama F. (2009), ”Facility location and supply chain management–A review”, **European journal of operational research**, 196(2), pp 401-412.

[37] Miranda P. A. and Garrido R. A. (2004), ”Incorporating inventory control decisions into a strategic distribution network design model with stochastic demand”, **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 40(3), pp 183-207.

[38] Ness B. Urbel-Piirsalu E. Anderberg S. and Olsson L. (2007), ”Categorising tools for sustainability assessment”, **Ecological economics**, 60(3), pp 498-508.

[39] Brody P. and Ben-Hamida M. (2010), ”Steps to a Greener, More Sustainable Electronics Supply Chain”,**IBM Institute for Business Value Report**.

[40] Pishvaee M. S. and Razmi J. (2012), ”Environmental supply chain network design using multi-objective fuzzy mathematical programming”, **Applied Mathematical Modelling**, 36(8), pp 3433-3446.

[41] Pizzol M. Christensen P. Schmidt J. and Thomsen M. (2011), ”Eco-toxicological impact of “metals” on the aquatic and terrestrial ecosystem: A comparison between eight different methodologies for Life Cycle Impact Assessment (LCIA)”, **Journal of Cleaner Production**, 19(6-7), pp 687-698.

[42] Pizzol M. Christensen P. Schmidt J. and Thomsen M. (2011), ”Impacts of “metals” on human health: a comparison between nine different methodologies for Life Cycle Impact Assessment (LCIA)”, **Journal of Cleaner Production**, 19(6-7),pp 646-656.

[43] Realff M. J. Ammons J. C. and Newton D. J. (2004), ”Robust reverse production system design for carpet recycling”, **Iie Transactions**, 36(8), pp 767-776.

[44] Renou S. Thomas J. S. Aoustin E. and Pons M. N. (2008), ”Influence of impact assessment methods in wastewater treatment LCA”, **Journal of Cleaner Production**, 16(10), pp 1098-.1105

[45] Salema M. I. G. Barbosa-Povoa A. P. and Novais A. Q. (2007), ”An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty”, **European Journal of Operational Research**, 179(3), pp 1063-1077.

[46] Salema M. I. G. Barbosa-Povoa A. P. and Novais A. Q. (2010), ”Simultaneous design and planning of supply chains with reverse flows: a generic modelling framework”, **European Journal of Operational Research**, 203(2), pp 336-349.

[47] Santibañez-Aguilar J. E. González-Campos J. B. Ponce-Ortega J. M. Serna-González M. and El-Halwagi M. M. (2011), ”Optimal planning of a biomass conversion system considering economic and environmental aspects”, **Industrial and Engineering Chemistry Research**, 50(14), pp 8558-8570.

[48] Kumar S. Luthra S. and Haleem A. (2013), ”Customer involvement in greening the supply chain: an interpretive structural modeling methodology”, **Journal of Industrial Engineering International**, 9(1), pp 6.

[49] Sarmah S. P. Acharya D. and Goyal S. K. (2006), ”Buyer vendor coordination models in supply chain management”, **European journal of operational research**, 175(1), pp .1-15

[50] Sheu J. B. Chou Y. H. and Hu C. C. (2005), ”An integrated logistics operational model for green-supply chain management”, **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 41(4), pp 287-313.

[51] Bhamra R. Dani S. and Burnard K. (2011), ”Resilience: the concept, a literature review and future directions”, **International Journal of Production Research**, 49(18), pp 5375-5393.

[52] Tseng H. E. Chang C. C. and Li J. D. (2008), ”Modular design to support green life-cycle engineering”, **Expert systems with applications**, 34(4), pp 2524-2537.

[53] Üster H. Easwaran G. Akçali E. and Çetinkaya S. (2007), ”Benders decomposition with alternative multiple cuts for a multi-product closed-loop supply chain network design model”, **Naval Research Logistics (NRL)**, 54(8), pp 890-907.

[54] Vahdani B. Tavakkoli-Moghaddam R. and Jolai F. (2013), ”Reliable design of a logistics network under uncertainty: A fuzzy possibilistic-queuing model”,**Applied Mathematical Modelling**, 37(5), pp 3254-3268.

[55] Goldberg L. H. (1999), ”Green electronics/green bottom line: environmentally responsible engineering”,**Elsevier**.

[56] Veerakamolmal P. and Gupta S. M. (2002), ”A case-based reasoning approach for automating disassembly process planning”, **Journal of Intelligent Manufacturing**, 13(1), pp 47-.60

[57] Wang H. F. and Hsu H. W. (2010),” A closed-loop logistic model with a spanning-tree based genetic algorithm”, **Computers and operations research**, 37(2), pp 376-389.

Aabstract In recent decade, the design of reverse logistic networks and especially its integration with direct logistic networks have been paid attention in order to meet the economic, environmental and social needs. Companies are under pressure from the government and customers for considering environmental effects and some studies have been done about the design of the green supply chain. The extent and variety of the topics have created numerous discussions with the same heading. The supply chain is a system which the producers, namely, suppliers of raw materials, processes of production, distributors of products and customers are connected to each other by a flow of materials on one side and a flow of information on the other side. Reverse logistic is brought up when the process of returning product to the supply chain is considered. This process involves the period between delivery goods from the customer to return goods to the customer. Collecting recursive products, inspection, making decisions about the amount of minor or fundamental required repairs and at the end, recycling products as raw materials are some activities which are studied in reverse logistic. In this thesis, the design and planning of a logistic network of green closed multi-product and single-cycle loop will be investigated which involve two main dimensions of permanent development dimensions, the economic dimension and environmental dimension. In aspect of environmental dimension, the amount of greenhouse gases emissions is considered in the production, recycling and transportation processes in the supply chain. A planning model has been developed for this issue, and its application in designing a chain has been studied in Tehran for the sake of producing polystyrene and recycling polystyrene. The two-stage definitive planning has been used for mathematical modeling of the problem. Decisions at the first stage (which are strategic decisions) include finding the place of distribution centers, recycling and technologies centers, the amount of purchasing raw and recycled materials, the amount of stock in storages and …

Decisions at the second stage include tactical decisions such as transportation in each period and based on each scenario. Eventually, the results of this research will lead to managerial insights in this field.

Keyword:

Green supply chain, Closed-loop supply chain network design, mixed integer programming model, environmental limitations

Shahrood University of Technology

Faculty of Mathematical Sciences

MSc Thesis in: Operation Research

Green closed-loop supply chain network design: A case study of polystyrene supply chain

By: Mahnaz Boroughani

Supervisors

Dr. Mehrdad Ghaznavi

Dr. Mohammad Fattahi

Advisor

Dr. Maryam Ghorani

January 2018