



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی صنایع

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان پایان نامه

طراحی شبکه توزیع و جمع آوری تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی با نگرش

زیست محیطی

نگارش

امیر مینائی

استاد راهنما

دکتر سعید منصور

مهر ۱۳۹۸

چکیده

فهرست مطالب

| | |
|--|----|
| چکیده | ۲ |
| فهرست | ۵ |
| فهرست اشکال | ۵ |
| ۱. فصل اول: کلیات | ۶ |
| ۱.۱- مقدمه | ۷ |
| ۱.۲- بیان مسئله | ۸ |
| ۱.۳- ضرورت پژوهش | ۱۱ |
| ۱.۳.۱. هدف | ۱۱ |
| ۱.۴- تعاریف | ۱۲ |
| ۱.۴.۱. زنجیره تأمین | ۱۲ |
| ۱.۴.۲. زنجیره تأمین معکوس | ۱۳ |
| ۱.۴.۳. زنجیره تأمین حلقه بسته | ۱۵ |
| ۱.۴.۴. پسماندهای تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی | ۱۵ |
| ۱.۴.۵. توسعه پایدار | ۱۵ |
| ۱.۴.۶. پایان عمر محصول | ۱۶ |
| ۱.۴.۷. اثر گلخانه‌ای | ۱۶ |
| ۱.۴.۸. انتشار کربن | ۱۷ |
| ۱.۴.۹. مالیات انتشار کربن | ۱۷ |
| ۱.۵- فرضیات و سؤالات پژوهش | ۱۸ |
| ۱.۶- روش تحقیق | ۲۰ |
| ۱.۶.۱. روش و ابزار گردآوری اطلاعات | ۲۰ |
| ۱.۶.۲. قلمرو تحقیق | ۲۱ |

| | |
|----|---|
| ۲۱ | ۱.۷- نمایی کلی پژوهش |
| ۲۴ | فصل دوم: مرور ادبیات |
| ۲۵ | طبقه‌بندی مطالعات مدیریت زنجیره تأمین پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی |
| ۲۷ | زنجیره تأمین معکوس |
| ۳۱ | زنجیره تأمین حلقه بسته |
| ۳۷ | بررسی شکاف تحقیقاتی و جایگاه تحقیق |
| ۴۰ | جمع‌بندی فصل دوم |
| ۴۲ | فصل سوم: مدل‌سازی |
| ۴۳ | نرخ پلکانی مالیات کربن |
| ۴۳ | فرمول‌بندی |
| ۵۷ | منابع و مراجع |

فهرست جداول

- جدول ۱: تفاوت زنجیره تأمین و زنجیره تأمین معکوس [۹] ۱۴
- جدول ۲: خلاصه مطالعات بررسی شده ۳۴
- جدول ۳: جدول تحلیل شکاف ۳۸
- جدول ۴: جدول مجموعه ها ۴۴
- جدول ۵: لیست پارامتر های مدل ۴۵
- جدول ۶: لیست متغیرهای مدل ریاضی ۴۷

فهرست اشکال

- شکل ۱: سناریو انجام پژوهش ۲۱
- شکل ۲: نمودار جریان مواد در شبکه ۲۳
- شکل ۳: چارچوب ادبیات حوزه مدیریت زنجیره تأمین پسماند های الکتریکی و الکترونیکی ۲۷

۱. فصل اول: کلیات

۱/۱ - مقدمه

یکی از مسائلی که در دهه‌های اخیر ذهن انسان‌ها را به خود مشغول کرد، جلوگیری از تخریب و نابود محیط‌زیست است. انسان‌ها از زمان انقلاب صنعتی که سرآغاز مصرف چشمگیر سوخت‌های فسیلی توسط انسان بوده تا به امروز، نقشی کلیدی در روند تغییرات آب‌وهوایی و گرمایش جهانی به واسطه انتشار گازهای گلخانه‌ای ایفا کرده است میزان غلظت گازهای گلخانه‌ای، در این دوره، افزایش قابل توجهی داشته است به گونه‌ای بر اساس گزارش "مرکز تجزیه و تحلیل اطلاعات دی‌اکسید کربن"^۱ میزان غلظت دی‌اکسید کربن در سال ۱۹۵۸ از ۳۱۵ بخش در میلیون^۲ به ۴۰۹ بخش در میلیون در سال ۲۰۱۸ رسید است. منبع اصلی انتشار گازهای گلخانه، مصرف سوخت‌های فسیلی است که از مهم‌ترین بخش‌های مصرف‌کننده سوخت‌های فسیلی می‌توان به حمل‌ونقل، تولید برق، کارخانه‌ها، مصارف خانگی و کشاورزی اشاره کرد که در این میان حمل‌ونقل و کارخانه‌ها بیشترین سهم را در مصرف سوخت‌های فسیلی و در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته‌اند. زنجیره تأمین و زنجیره تأمین به عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های صنعت، که شامل فعالیت‌های حمل‌ونقل، تولید و است، سهم قابل توجهی در مصرف سوخت‌های فسیلی و انتشار کربن دارد که بر اساس آمار و اطلاعات ۱۳ درصد از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در نتیجه فعالیت‌های زنجیره تأمین و زنجیره تأمین است برنامه‌ریزی مناسب زنجیره تأمین می‌تواند تأثیر به سزای در کاهش هزینه‌های تولید داشته باشد به علاوه با در نظر گرفتن پارامترهای پایداری در برنامه‌ریزی زنجیره تأمین، میزان انتشار کربن نیز کاهش چشم‌گیری خواهد داشت.

امروز با رشد روزافزون جمعیت و گرایش مردم به مصرف‌گرایی، تولید پسماند افزایش سرسام‌آوری داشته است. پسماندها به مجموعه موادی که در اثر مصرف ساکنین و فعالیت‌های صنعتی، معدنی و

^۱ Carbon Dioxide Information Analysis Center

PPM^۲

خدماتی تولید می‌شود و عرفاً (از دید تولیدکننده) قابل مصرف نیست و نیاز به دفن و یا بازیابی دارند، گفته می‌شود [۱] که وجود آن‌ها در محیط‌زیست موجب نابودی محیط‌زیست و جانداران می‌شود. پسماندها مواد باارزشی هستند که استفاده صحیح از آن‌ها می‌توان کمک قابل توجهی به کاهش هزینه‌های تولید و سودآوری کند به همین دلیل پسماندها را با عنوان طلای کثیف می‌شناسند. با جمع‌آوری و بازیافت پسماندها می‌توان حجم آن‌ها را کاهش داد و میزان دفن پسماندها را به حداقل مقدار خود رساند، لازمه این کار طراحی زنجیره تأمین معکوس است در زنجیره تأمین معکوس نحوه جمع‌آوری، بازسازی، نوسازی و برنامه‌ریزی می‌شود.

در این فصل به ارائه پیش‌زمینه پژوهش پرداخته شده است در ابتدای فصل به بیان و تعریف دقیق مسئله می‌پردازیم در ادامه ضرورت پژوهش بررسی شده است که در این بخش بیان می‌شود که پژوهش پیش رو در چه ابعاد و از چه نظری برای جامعه علمی اهمیت دارد پس از آن به تعریف واژگان کلید و عباراتی که در کل پژوهش مورداستفاده قرار می‌گیرد، پرداخته شده است. در بخش فرضیات و سؤالات پژوهش به بیان فرضیاتی که پژوهش برای پاسخ گوی به آن‌ها طراحی شده است بیان می‌شود. در آخر روش تحقیق و نحوه جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات بیان می‌شود.

۱/۲- بیان مسئله

امروزه تولید پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی (WEEE)^۱، روزبه‌روز در حال افزایش است این زباله‌ها موجب تخریب و آسیب‌های جبران‌ناپذیری به محیط‌زیست می‌شوند و این امر موجب نگرانی حامیان محیط‌زیست شده است. مدیریت پایان عمر محصولات موجب کاهش آسیب به طبیعت می‌شود، شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته (CLSC)^۲ به عنوان یک ابزار برای مدیریت پایان عمر

^۱ Waste Electrical & Electronic Equipment

^۲ Closed-loop supply chain

محصولات معرفی شده است. در زنجیره تأمین حلقه بسته با ایجاد هماهنگی بین زنجیره تأمین مستقیم و معکوس باعث افزایش بهره‌وری سیستم می‌شود و ایجاد شبکه‌ای که امکان تعمیر و استفاده مجدد در آن وجود داشته باشد میزان پسماندهای که دفع می‌شوند به‌طور چشم‌گیری کاهش خواهد یافت. در یکی از مراحل مهم در طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته، مکان‌یابی و تخصیص تسهیلات جمع‌آوری است.

شبکه طراحی شده در این پژوهش مطابق "شکل ۲: نمودار جریان مواد در شبکه" است. هدف این شبکه یکپارچه‌سازی فعالیت‌های زنجیره تأمین پیشرو و معکوس است تسهیلات زنجیره تأمین پیشرو شامل: تأمین‌کننده، تولیدکننده، انبار، توزیع‌کننده است و تسهیلات زنجیره تأمین معکوس شامل مراکز جمع‌آوری، انبار، مراکز دمونتاز، مراکز بازسازی، مراکز نوسازی و مراکز بازیافت است که در این شبکه حلقه بسته، تسهیلات مراکز جمع‌آوری و توزیع و همچنین انبارهای زنجیره تأمین پیشرو و زنجیره تأمین معکوس تجمیع شده است به هم دلیل ظرفیت انبارها و میزان تقاضای مراکز توزیع به دو بخش محصولات و پسماندها تقسیم می‌شود. پسماندهای جمع‌آوری شده در سه رده کیفیت خوب، متوسط و بد دسته بنده می‌شوند و برای هر کدام از دسته‌ها یک قیمت متفاوت پرداخته می‌شود درواقع برای پسماندهای خوب که دارای کیفیت بهتری نسبت به بقیه پسماندها هستند، قیمت بیشتر پرداخت می‌شود و به همین ترتیب برای پسماندهای متوسط قیمت بیشتری به نسبت پسماندهای بد پرداخت می‌شود. در این شبکه پس از خریداری پسماندها و انبار کردن آن‌ها در مراکز انبار، پسماندها بر اساس کیفیت آن‌ها به یکی از مراکز بازسازی، دمونتاز و نوسازی ارسال می‌شود درواقع منطق دسته‌بندی پسماندها به این شکل است که پسماندهای که قابلیت نوسازی دارند در دسته کیفیت خوب قرار می‌گیرند و برای مراکز نوساز ارسال می‌شوند و همچنین پسماندهای که قابلیت بازسازی دارند در دسته کیفیت متوسط قرار می‌گیرند و برای مراکز بازسازی ارسال می‌شوند و سایر پسماندهای در رده کیفیت بد قرار می‌گیرند و برای مراکز دمونتاز ارسال می‌شوند. در مراکز بازسازی

پسماندها تعمیر و همچنین برخی از قطعات و اجزای آن تعویض می‌شود به همین دلیل از تأمین‌کنندگان، جریان مواد اولیه وجود دارد. در مراکز دمونتاز پسماندها دمونتاز می‌شوند و قطعات قابل‌استفاده برای تولیدکننده و قطعات غیرقابل‌استفاده برای بازیافت ارسال می‌شود بنابراین تولیدکننده می‌تواند مواد اولیه خود را از تأمین‌کنندگان و یا از مراکز دمونتاز تأمین کنند. در مراکز بازیافت قطعات بازیافت می‌شود. محصولات تولیدشده از قطعات بازسازی‌شده و یا قطعات نو، دارای کیفیت یکسان و قیمت یکسانی هستند.

مدل بهینه‌سازی شامل تصمیمات مکان‌یابی (تولیدی، انبارها، مراکز بازسازی، مراکز نوسازی، مراکز دمونتاز و مراکز دفن)، تعیین ظرفیت، تعیین تکنولوژی تولید، تخصیص محصولات و پسماندها به تسهیلات و میزان جریان بین تسهیلات است مدل به‌صورت چند دوره‌ای و با در نظر گرفتن محدودیت بودجه مدل‌سازی شده است منظور از محدودیت بودجه، محدودیت در هزینه‌های ثابت برای راه‌اندازی تسهیلات است بنابراین راه‌اندازی تسهیلات شبکه طی چند دوره زمانی و بر اساس میزان بودجه تخصیص داده‌شده در هر دوره انجام و میزان بودجه اضافی در هر دوره با نرخ تنزیل به دوره بعد انتقال داده می‌شود. علاوه بر این تصمیمات، تصمیمات انتخاب روش حمل‌ونقل مواد اولیه، محصولات و پسماندها (پسماندها به محل دفن) و تکنولوژی تولید محصولات نیز گرفته خواهد شد.

برای مدل ۲ هدف کمینه‌سازی خالص هزینه‌ها و تأثیرات محیط‌زیست در نظر گرفته‌شده است که خالص هزینه‌ها برابر مجموع هزینه‌های راه‌اندازی تسهیلات، حمل‌ونقل (حمل‌ونقل مواد اولیه، پسماند و محصولات)، عملیات (هزینه تولید، انبار، بازسازی، نوسازی، دمونتاز) و خرید مواد اولیه و پسماند منهای درآمدهای حاصل از فروش محصولات و پسماندهای دمونتاز شده است. برای کمینه‌سازی تأثیرات محیط‌زیستی از سیاست‌های انتشار کربن استفاده‌شده است. نرخ مالیات انتشار کربن به‌صورت پله‌ای در نظر گرفته می‌شود که با افزایش میزان انتشار کربن نرخ مالیات افزایش می‌یابد و منابع انتشاری کربن شامل حمل‌ونقل، تولید و بازسازی است.

۱/۳- ضرورت پژوهش

در دنیای امروز یکی از دغدغه‌های بزرگ فعالان محیط‌زیست، مدیریت پایان عمر محصولات است. ضرورت طراحی CLSC که بیشتر با دنیای واقعی هماهنگی دارد، دیده می‌شود [۲]. از مسائل مهم و حیاتی درباره مدیریت پایان عمر تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی، امکان تعمیر، بازسازی و استفاده مستقیم است که این امکان در سایر پسماندها ممکن نیست. در اکثر طراحی‌های انجام‌شده برای زنجیره تأمین حلقه بسته فعالیت‌های تعمیر، بازسازی و استفاده دوباره در نظر گرفته نشده است، که با در نظر گرفتن این فعالیت‌ها میزان دفع و بازیافت به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد. با ایجاد هماهنگی میان دو جریان مستقیم و معکوس در زنجیره تأمین کالاها میزان بهره‌وری زنجیره تأمین افزایش می‌یابد. در مقالات ارائه‌شده میزان هماهنگی کمی میان دو جریان مستقیم و معکوس در نظر گرفته‌شده است. در طراحی شبکه CLSC و مکان‌یابی تسهیلات جمع‌آوری باهدف کمینه کردن هزینه و یا افزایش میزان سود بوده و یا درواقع با اهداف اقتصادی بوده است. یکی از مؤلفه‌های مهم در طراحی و برنامه‌ریزی زنجیره تأمین مسئله زمان هست که در خیلی از کارهای که تا اکنون انجام‌شده، زمان در نظر گرفته نشده است.

دست‌آورد پژوهشی که قصد انجام داریم ارائه یک شبکه حلقه بسته برای توزیع و جمع‌آوری تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی و ارائه مدل ریاضی برای مکان‌یابی تسهیلات جمع‌آوری و حل مدل ارائه‌شده و تحلیل پاسخ مدل حل‌شده که شامل مکان تسهیلات جمع‌آوری و میزان ظرفیت تخصیص داده‌شده به آن‌ها هست.

۱/۳/۱. هدف

با توجه به ضرورت بیان‌شده، هدف از انجام این پژوهش طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته (CLSC) برای تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی با در نظر گرفتن دو معیار پایداری زیست‌محیطی و اقتصادی

هست. مدل ریاضی ارائه شده برای طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته شامل تصمیمات متعددی مکان‌یابی تسهیلات، تعیین ظرفیت تسهیلات، انتخاب تکنولوژی تولید، تخصیص جریان و انتخاب نوع حمل‌ونقل برای حالت‌های مختلف محصول است مدل ریاضی به صورت چند دوره‌ای فرمول‌بندی شده است که هر یک از تصمیمات به صورت دوره‌ای اتخاذ می‌شوند علاوه بر این در مدل ریاضی محدودیت سرمایه‌گذاری ثابت، در هر دوره وجود دارد که مقدار اضافه بودجه با نرخ تنزیل به دوره بعد انتقال میابد.

۱/۴- تعاریف

در این بخش کلیدواژه‌های مهم تعریف می‌شوند.

۱/۴/۱. زنجیره تأمین

برای زنجیره تأمین تعریف مختلفی ارائه شده است که تعداد از آن‌ها ب قرار زیر است:

زنجیره تأمین شبکه‌ای متشکل از تمام اشخاص، سازمان، منابع، فعالیت‌ها و فناوری‌های است که در تولید محصولات، تحویل مواد اولیه از تأمین‌کنندگان به کارخانه برای تولید محصولات و در تحویل نهایی محصولات به مصرف‌کننده مشارکت دارند[۳].

زنجیره تأمین مجموعه‌ای از شرکت‌ها است که مواد را به جلو منتقل می‌کند. به طور معمول، چندین بنگاه مستقل در ساخت یک محصول و تحویل آن به مشتری در یک زنجیره تأمین شرکت می‌کنند تولیدکنندگان مواد اولیه و قطعات، مونتاژ محصولات، عمده‌فروشان، بازرگانان خرده‌فروشی و شرکت‌های حمل‌ونقل همه اعضای یک زنجیره تأمین هستند[۴].

زنجیره تأمین همکاری شرکت‌ها برای رساندن محصولات و یا خدمات به بازار است. در این تعریف مصرف‌کننده نیز به عنوان بخشی از زنجیره تأمین شناخته می‌شود[۵].

زنجیره تأمین، شبکه‌ای از سازمان‌هایی است که از طریق ارتباط دادن بالادست (عرضه) و پایین‌دست (تقاضا)، در فرایندها و فعالیت‌های مختلفی که در قالب محصولات و خدمات ارائه‌شده به مصرف‌کننده نهایی، ارزش ایجاد می‌کنند[۶].

درمجموع می‌توان گفت که زنجیر تأمین مجموعه از افراد و یا سازمان‌ها هستند که با همکاری یکدیگر، باهدف تولید محصولات و یا ارائه خدمات، منابع و مواد اولیه را از عرضه‌کنندگان، با انجام یک سری از فعالیت‌ها به مشتریان انتقال می‌دهند.

۱/۴/۲. زنجیره تأمین معکوس

برای زنجیره تأمین معکوس همانند زنجیره تأمین تعریف‌های گوناگونی بیان‌شده است که اولین تعریف سنتی در سال ۱۹۹۲ در کتاب "زنجیره تأمین معکوس: کاغذ سفید" [۷] ارائه‌شده است در این تعریف زنجیره تأمین معکوس فرایند جمع‌آوری محصولات از مقصد نهایی خود و آماده‌سازی برای بهره‌برداری از ارزش و دفن آن‌ها بیان‌شده است. در دیدگاه سنتی زنجیره تأمین معکوس یک هزینه‌های اضافی و بدون هیچ ارزش شناخته‌شده است اما در طی یک دهه اخیر با افزایش فشارهای اجتماعی و نگرانی‌های زیست محیط زنجیره تأمین معکوس به‌عنوان یک موضوع مهم در مدیریت زنجیره تأمین شناخته می‌شود.

طبق گزارش شورای اجرایی زنجیره تأمین آمریکا، زنجیره تأمین معکوس به‌عنوان «فرآیند برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل جریان کارآمد و مقرون‌به‌صرفه مواد اولیه، موجودی فرآیند، کالاهای آماده و اطلاعات مرتبط از نقطه مصرف به نقطه منشأ برای به دست آوردن ارزش یا دفع مناسب است» [۸] همان‌طور که از تعریف هم برمیآید زنجیره تأمین معکوس و زنجیره تأمین دارای تفاوت‌های عمده‌ای هستند که در جدول ۱ برخی از این تفاوت‌ها به‌صورت مختصر بیان‌شده است.

جدول ۱: تفاوت زنجیره تأمین و زنجیره تأمین معکوس [۹]

| # | زنجیره تأمین | زنجیره تأمین معکوس |
|----|----------------|-------------------------------|
| ۱ | کیفیت | کیفیت متفاوت محصولات |
| ۲ | مقدار | مقدار زیاد محصولات استاندارد |
| ۳ | ارزش کالا | ارزش کیفیت متوسط |
| ۴ | دوره عمر محصول | قابل مدیریت |
| ۵ | جریان محصولات | یک جریان (فشاری) |
| ۶ | قیمت | قیمت یکسان محصولات |
| ۷ | زمان سفارش | زمان کوتاه سفارش |
| ۸ | مسیریابی | مسیریابی روشن محصولات |
| ۹ | ردیابی اطلاعات | سیستم‌های خودکار |
| ۱۰ | مدیریت موجودی | مدیریت موجودی سازگار |
| ۱۱ | کنترل موجودی | غیرمتمرکز |
| ۱۲ | بازایی سرمایه | گزینه‌های مشخص بازایی سرمایه |
| ۱۳ | هزینه | هزینه‌های مشخص و معلوم |
| ۱۴ | نوع مشتریان | شناسایی راحت مشتریان و بازایی |
| ۱۵ | اولویت | اولویت بالا |
| ۱۶ | فرایندها | فرایندهای مشخص |
| ۱۷ | مدیریت مالی | مدیریت مالی مشخص |
| ۱۸ | مذاکره | مذاکره ساده بین طرفین |
| ۱۹ | کانال | کانال‌های ساده |

۱/۴/۳. زنجیره تأمین حلقه بسته

زنجیره تأمین حلقه بسته درواقع به ایجاد هماهنگی بین دو جریان زنجیره تأمین مستقیم که به فعالیت‌های تأمین مواد اولیه، تولید، توزیع و فروش می‌پردازد و زنجیره تأمین معکوس که به فعالیت‌های جمع‌آوری، دسته‌بندی، بازیافت، تعمیر و دفع می‌پردازد، گفته می‌شود [۱۰].

۱/۴/۴. پسماندهای تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی

طبق دستورالعمل‌های مجلس و شورای اروپا، WEEE به پسماندهای تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی گفته می‌شود منظور از تجهیزات الکتریکی، کلیه وسایلی که با الکتریسیته کار می‌کنند ازجمله یخچال‌ها، اتوها ... هست و منظور از تجهیزات الکترونیکی، کلیه وسایلی که در ساخت آن‌ها از مدارهای الکترونیک استفاده شده است ازجمله تلفن‌های همراه، لپ‌تاپ‌ها و ... هست.

WEEE ترکیبی پیچیده از مواد است که به دلیل محتوای خطرناک آن‌ها اگر به‌درستی مدیریت نشوند، می‌توانند مشکلات عمده محیطی و بهداشتی را ایجاد کنند. افزون بر این تولید قطعات الکترونیکی نیازمند مواد منابع کم یاب و گران‌بها است (به‌عنوان مثال حدود ۱۰ درصد کل طلا در سراسر جهان برای تولید آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد). بهبود مدیریت زیست‌محیطی WEEE و کمک به یک اقتصاد مدور و افزایش بهره‌وری منابع، بهبود جمع‌آوری، درمان و بازیافت الکترونیک در پایان زندگی آن‌ها ضروری است.

۱/۴/۵. توسعه پایدار

توسعه پایدار مفهومی است که به‌تناوب در محافل علمی مورد استفاده قرار می‌گیرد و برای آن تعریف مختلفی ارائه شده است اما یکی از آن‌ها که بیشتر از همه رایج است، تعریفی است که در گزارش

کمیسیون جهانی محیط‌زیست و توسعه (WCED^۱) در سال ۱۹۸۷ با عنوان آینده "مشترک ما"^۲ آمده است "توسعه پایدار، توسعه‌ای است که نیازهای امروز را بدون به خطر افتادن توانایی نسل‌های آینده برای تأمین نیازهایشان، برآورده می‌سازد." بر اساس این تعریف، توسعه پایدار چارچوبی را فراهم می‌کند که در آن سیاست‌های محیط‌زیستی و استراتژی‌های توسعه با یکدیگر پیوستگی پیدا می‌کنند و در سایه آن فرآیند پیشرفت اقتصادی در حالی انجام می‌شود که ارزش درازمدت محیط‌زیست نیز حفاظت می‌گردد.

۱/۴/۶. پایان عمر محصول

مدیریت پایان عمر محصولات به‌عنوان آخرین فاز در دوره عمر محصول، از اهمیت زیادی از لحاظ زیست‌محیطی و اقتصادی برخوردار است زیرا از طرفی ممکن است محصولات از پتانسیل بالایی برای آلودگی محیط‌زیست برخوردار باشند و یا اینکه محصول از مواد غیرقابل بازیافت تشکیل شده باشد [۳]. گزینه‌های مختلف برخورد با محصولات و اجزای آن‌ها در فاز پایان عمر وجود دارد که عبارت‌اند از: استفاده مجدد^۳، بازسازی^۴، دمونتاژ^۵ و دفن کردن^۶

۱/۴/۷. اثر گلخانه‌ای^۷

گازهای گلخانه‌ای، گازهای هستند که تا حد زیادی نسبت به تابش مرئی که از خورشید به زمین می‌رسد شفاف است اما تابش مادون‌قرمز حرارتی را که از سطح زمین تابش می‌کند جذب می‌کند [۱۱]. انرژی جذب‌شده در جو از هر جهت دوباره گرم می‌شود و سطح زمین را گرم می‌کند. گازهای گلخانه‌ای H₂O و CO₂ به‌طور طبیعی در جو به وجود می‌آیند و دمای سطح زمین را تقریباً

^۱World Commission on Environment and Development

^۲Our Common Future

^۳Reuse

^۴Remanufacture

^۵Material Recycling

^۶Landfill

^۷Carbon Footprint

۳۳ درجه سانتی‌گراد گرم نگه میدارند. فعالیت‌های انسانی، مانند سوزاندن سوخت‌های فسیلی، باعث تولید مازاد گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر و تشدید اثر گلخانه‌ای می‌شود. به گازهای CO_2 ، H_2O ، N_2O ، ازن، کلروفلوروکربن‌ها و SF_6 گازهای گلخانه‌ای می‌گویند. گازهای گلخانه‌ای، مولکول‌های سه یا چند اتم در اتمسفر هستند که اتم‌های موجود در آن‌ها ارتعاش می‌کنند و در فضا می‌چرخند. با جذب اشعه مادون‌قرمز بین سطوح مختلف انرژی جابه‌جا می‌شوند. فوریه با توصیف (در سال ۱۸۲۷) چگونگی کنترل دمای سطح زمین با اختلاف جذب اشعه مرئی و مادون‌قرمز کنترل می‌شود، استفاده از عبارت "اثر گلخانه‌ای" برای توصیف این پدیده در حدود سال ۱۹۵۰ به وجود آمده است [۱۱].

۱/۴/۸. انتشار کربن

انتشار کربن، به راه‌سازی کربن در جو گفته می‌شود و هنگامی که در مورد انتشار کربن حرف زده می‌شود صرفاً صحبت از انتشار گازهای گلخانه‌ای است که عامل اصلی تغییر آب‌وهوا است. از آنجاکه انتشار گازهای گلخانه‌ای اغلب معادل دی‌اکسید کربن محاسبه می‌شود، هنگام بحث در مورد گرم شدن کره زمین یا اثر گلخانه‌ها، معمولاً به "انتشار کربن" گفته می‌شود. از زمان انقلاب صنعتی، سوختن سوخت‌های فسیلی افزایش یافته است، که به‌طور مستقیم با افزایش سطح دی‌اکسید کربن در جو ما و در نتیجه افزایش سریع گرم شدن کره زمین ارتباط دارد.

۱/۴/۹. مالیات انتشار کربن

مالیات انتشار کربن، مالیات بر انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) است که هدف از پرداخت آن داخلی سازی بیرونی‌های^۱ مرتبط با تغییرات آب‌وهوایی است. منظور از داخلی سازی بیرونی‌های انتقال بار

^۱ Internalizing Externalities

مسئولیت و یا هزینه‌های تأثیرات بیرونی مانند انتشار آلودگی از بیرون به داخل است [۱۲] این امر می‌تواند از طریق مالیات، حقوق مالکیت، عوارض و یارانه دولت انجام شود. بدون مالیات کربن، هزینه‌ها تولید واقعی نیست‌اند زیرا هزینه انتشار گازهای گلخانه‌ای را به دیگران، از جمله نسل‌های آینده، تحمیل می‌شود. این مالیات افراد را مجبور می‌کند تا پیامدهای ناشی از تولید گازهای گلخانه‌ای را در نظر بگیرند. مالیات کربن نمونه‌ای از مالیات پیگووی^۱ است این نوع مالیات هزینه‌ای است که دولت بابت فعالیت‌های که موجب آسیب‌های اجتماعی خارجی می‌شود اخذ می‌کند.

۱/۵- فرضیات و سؤالات پژوهش

تعاریف متفاوتی برای فرضیات پژوهش، ارائه شده است که بهترین آن تعریف ارائه شده در کتاب فرهنگ علوم رفتاری شعاری‌نژاد است:

"فرضیه، به فرضی گفته می‌شود که به عنوان یک توضیح قابل آزمایش مطرح می‌شود. معمولاً تشکیل یک فرضیه، نخستین گام در حل مسئله و شرح یک پدیده است."

فرضیاتی که در این پژوهش در نظر گرفته شده است عبارت‌اند از:

۱- در نظر گرفتن بعد زیست محیطی پایداری در مکان‌یابی تسهیلات شبکه تأثیرگذار نیست. در این پژوهش دو بعد پایداری اقتصادی و زیست محیطی در نظر گرفته شده است فرض می‌شود که بعد زیست محیطی مسئله تأثیری در مکان‌یابی تسهیلات ندارد و یا در واقع مکان تسهیلات با در نظر گرفتن و یا نگرفتن این بعد اتفاقی نخواهد داشت. در نظر گرفتن این مسئله تنها باعث افزایش هزینه‌ها می‌شود.

۲- با افزایش مالیات بر انتشار کربن، کل هزینه‌ها با شدت کم‌تر افزایش می‌یابد.

^۱ Pigouvian Tax

یکی از تصمیمات مهم که باید توسط سازمان‌های نظارتی اخذ شود نحوه محاسبه مالیات انتشار کربن و به‌علاوه نرخ مالیات انتشار کربن است. در این پژوهش فرض می‌شود که با افزایش نرخ مالیات هزینه‌های تحمیل‌شده به تولیدکننده‌ها با شدت کمتری افزایش میابد و به‌علاوه تفاوت زیادی بین روش‌های محاسبه مالیات وجود ندارد.

۳- مدل ریاضی با ابعاد متوسط با استفاده از کتابخانه CPLEX قابل است و برای حل مدل نیازی به استفاده از الگوریتم‌های تجزیه نیست.

برای حل مدل ارائه‌شده در این پژوهش از کتابخانه CPLEX استفاده‌شده است فرض می‌شود که این کتابخانه توانایی حل مدل را در زمان معقول دارد در صورت عدم توانای کتابخانه لازم است که از روش‌ها تجزیه استفاده شود.

هر پژوهش جهت پاسخ گوی به یک سری سؤالات انجام می‌شوند این سؤالات با عنوان سؤالات پژوهش معرف هستند حال سؤالاتی که در این پژوهش قصد پاسخ گوی به آن را داریم به‌قرار زیر هستند:

۱- برای توزیع تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی همچنین جمع‌آوری و بازیافت پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی، چه شبکه زنجیره تأمین موردنیاز است؟

۲- مکان و جریان بین تسهیلات شبکه طراحی‌شده چگونه است؟

۳- ارتباط بین روش محاسبه مالیات انتشار کربن و نرخ مالیات انتشار کربن با طراحی شبکه چگونه است؟

۴- با افزایش نرخ مالیات انتشار کربن چه میزان هزینه‌های زنجیره تأمین افزایش میابد؟

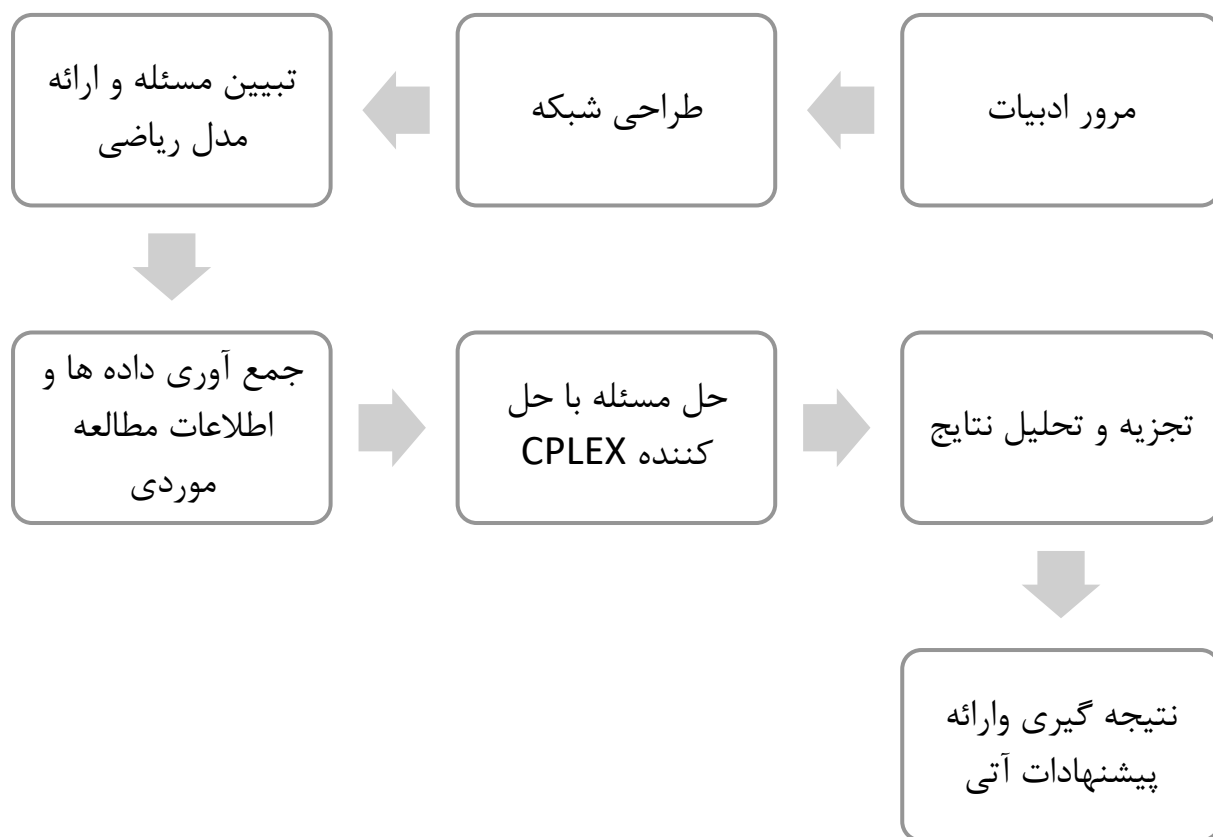
۵- روش‌های مختلف محاسبه مالیات انتشار کربن و میزان هزینه آن برای زنجیره تأمین چقدر است؟

۱/۶- روش تحقیق

به تمامی روش‌ها و تکنیک‌هایی که محقق برای انجام پژوهش در مطالعه مسئله بکار می‌گیرد، روش‌های تحقیق گفته می‌شود.

۱/۶/۱. روش و ابزار گردآوری اطلاعات

روش تحقیق مورد استفاده برای مرور ادبیات پیشین در این تحقیق روش کتابخانه است که برای این کار از منابع معتبر انتشار مقالات استفاده شده است. به علاوه سناریو انجام پژوهش در نمودار "شکل ۱" نمایش داده شده است.



شکل ۱: سناریو انجام پژوهش

۱/۶/۲. قلمرو تحقیق

قلمرو تحقیق یکی از موضوعات مهم در هر پژوهش است که باید نشان دهد پژوهش چه حوزه‌ای را پوشش می‌دهد از طریق قلمرو پژوهش می‌توان فهمید که تحقیق به هدف خود رسید است. به همین دلیل قلمرو پژوهش بخشی است در نگارش آن باید دقت شود. قلمرو زمانی پژوهش در مرور ادبیات از تاریخ ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ است و اما قلمرو مکانی برای مطالعه موردی ایران در نظر گرفته شده است.

۱/۷- نمایی کلی پژوهش

در این پژوهش شامل ۵ فصل است که در ادامه هر بخش به‌طور خلاصه بیان خواهد شد.

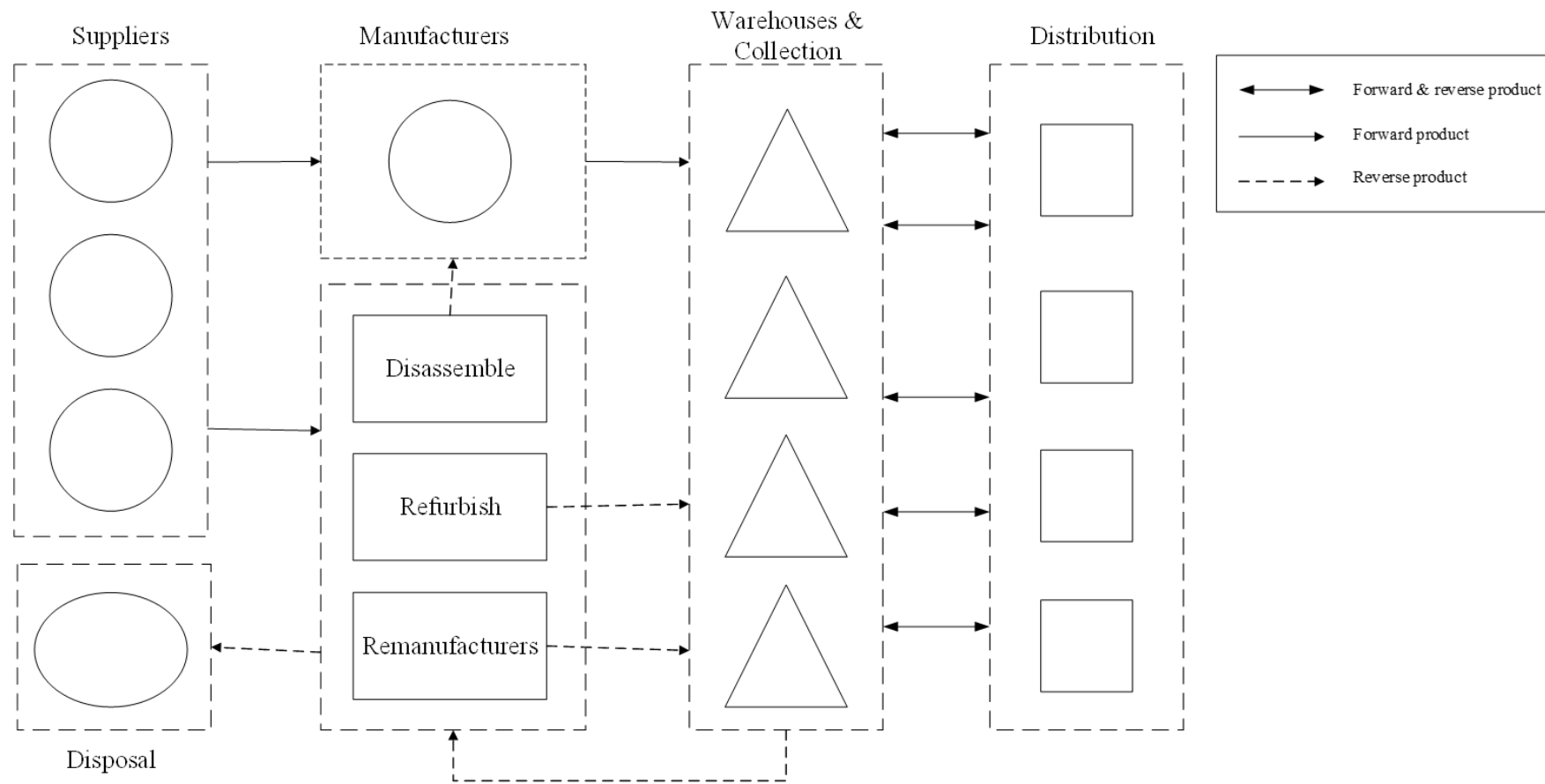
فصل ۱: کلیات

فصل ۲: مرور ادبیات

فصل ۳: مدل روش تحقیق

فصل ۴: روش حل

فصل ۵: نتیجه گیری و جمع بندی



شکل ۲: نمودار جریان مواد در شبکه

فصل دوم: مرور ادبیات

در این فصل پیشینه پژوهش موردبررسی قرار می‌گیرد. بیان پیشینه تحقیق یکی از بخش‌های ضروری برای هر تحقیقی ازجمله پژوهش پیش رو است. درواقع بر اساس مرور ادبیات جامعی که انجام می‌شود، شکاف‌های تحقیقاتی مشخص می‌شود و بر اساس آن می‌توان مسئله را معرفی کرد. همچنین مرور مطالعات انجام‌گرفته، روند توسعه و تکامل موضوع و نیز گرایش‌ها مختلف تحقیقاتی که در برهه‌های زمانی مختلف وجود داشته‌اند، را نشان می‌دهد.

طبقه‌بندی مطالعات مدیریت زنجیره تأمین پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی

حوزه مطالعاتی مدیریت زنجیره تأمین WEEE را می‌توان به ۴ دسته‌ای اصلی، ۱- طراحی و برنامه‌ریزی زنجیره تأمین، ۲- تصمیم‌گیری و ارزیابی عملکرد، ۳- تحلیل چارچوب مفهومی مطالعات و ۴- مطالعات کیفی دسته‌بندی کرد [۳].

حوزه طراحی و برنامه‌ریزی زنجیره تأمین به طراحی شبکه، مکان‌یابی، تخصیص جریان، انتخاب تکنولوژی تولید و می‌پردازد در حالت کلی می‌توان گفت در این حوزه تحقیقاتی بیشتر به مسئله نحوه جمع‌آوری و دستیابی به پسماندها پرداخته می‌شود. به‌عنوان مثال: بر اساس دستورالعمل اتحادیه اروپا برای زباله‌های الکتریکی و الکترونیکی تمامی کشورهای اروپای موظف به مدیریت WEEE هستند در تحقیقی تحت عنوان "مدل‌سازی شبکه معکوس برای WEEE: مطالعه موردی در پرتقال" گوس^۱ و همکاران [۱۳] برای اجرای کردن دستورالعمل اروپا WEEE، به ارائه مدل ریاضی MILP^۲ برای طراحی شبکه معکوس پرداخته‌اند هدف مدل ریاضی مکان‌یابی مراکز جمع‌آوری و مراکز دسته‌بندی است. همان‌طور که در شکل ۳ نیز مشاهده می‌کنید مطالعات این حوزه را می‌توان به ۴ دسته‌ای ۱- زنجیره تأمین حلقه بسته ۲- زنجیره تأمین

^۱ MI Gomes

^۲ Mixed integer linear programming

حلقه باز ۳- لجستیک مشارکتی و ۴- مسیریابی وسیله نقلیه دسته‌بندی کرد که پژوهش حاضر در دسته زنجیره تأمین حلقه بسته قرار می‌گیرد.

بخش از تحقیقات در حوزه تصمیم‌گیری و ارزیابی عملکرد فرایندهای زنجیره تأمین و لجستیک معکوس، شبکه، عملکرد اقتصادی و زیست‌محیطی سازمان‌ها و مشاغل مدیریت پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی متمرکز شده است. به‌عنوان نمونه تمور و همکاران [۱۴] در مقاله‌ای تحت عنوان "انتخاب مکان تسهیلات در لجستیک معکوس با استفاده روش تصمیم‌گیری فازی نوع ۲" به ارائه یک رویکرد چند معیار برای انتخاب مناسب‌ترین مکان تسهیلات لجستیک معکوس با استفاده از روش تاپسیس^۱ فازی نوع دوم پرداخته‌اند.

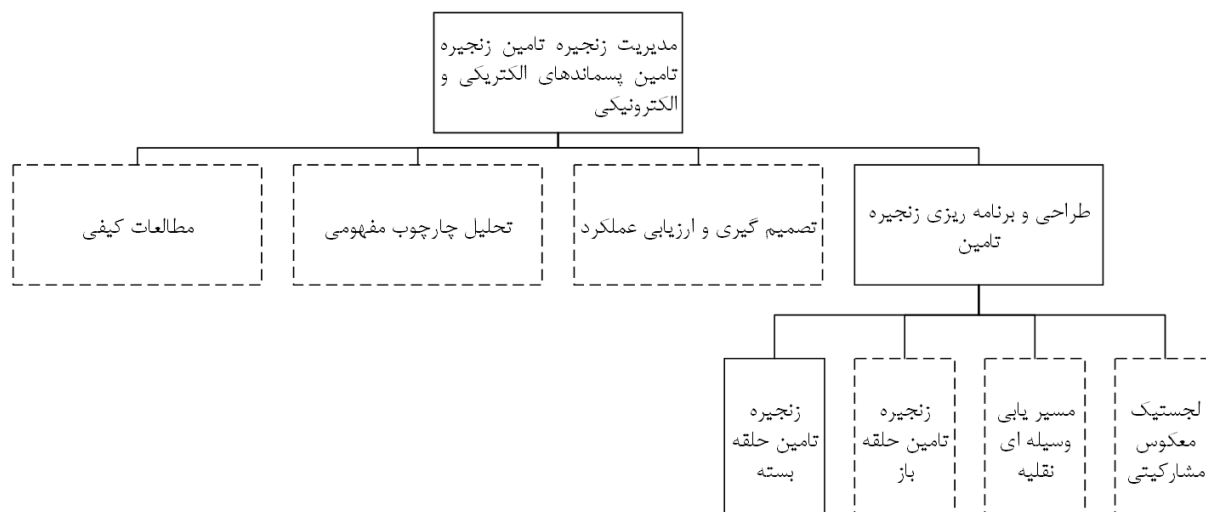
در چارچوب مفهومی سیستم مفاهیم، فرضیات، انتظارات، اعتقادات و نظریه‌های پژوهش طراحی می‌شود و همان‌طور که میلز و هوبرمن (۱۹۹۴) تعریف کرده‌اند چارچوب مفهومی یک محصول بصری و یا نوشتاری است که موضوع اصلی مطالعه، فرضیات و رابطه بین آن‌ها را توضیح می‌دهد. با توجه به این‌که مطالعه زنجیر تأمین پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی دارای پیچیدگی خاصی است و بازیگران زیادی در شکل‌گیری آن درگیر هستند یکی از حوزه‌های مطالعاتی "تحلیل چارچوب‌های مفهومی مطالعات" است که محققان به ارائه چارچوب‌های مفهومی می‌پردازند از نمونه‌های آن می‌توان به تحقیق ورونیکا قیزوفی^۲ و همکاران [۱۵] اشاره کرد که در یک پژوهش به بررسی میزان تأثیر قوانین نظارتی در افزایش میزان جمع‌آوری پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی پرداخته‌اند.

با توجه به افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی و تأثیر غیرقابل‌انکار زنجیره تأمین و افراد درگیر در این حوزه، یکی از دیگر از حوزه‌های مطالعاتی، مطالعات کیفی هستند که در این مطالعات به بررسی رفتار ذینفعان و مشتریان درگیر، پرداخته می‌شود از نمونه مطالعات این حوزه، مقاله "لجستیک معکوس و زنجیره تأمین حلقه بسته: بررسی کامل برای کشف آینده" [۱۰] است که با بررسی ۳۸۲ مقاله منتشر شده در بازه زمانی

^۱ TOPSIS

^۲ Verônica Ghisolfi

۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ به طبقه‌بندی حوزه‌های تحقیقاتی لجستیک معکوس و زنجیره تأمین حلقه بسته و تشریح آینده تحقیقات پرداخته است.



شکل ۳: چارچوب ادبیات حوزه مدیریت زنجیره تأمین پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی

زنجیره تأمین معکوس

لجستیک معکوس از آن دسته اصطلاحات است که برای آن تعریف‌های مختلفی ارائه شده است تعریف استاک [۱۶] یکی از کامل ترین تعریف‌های ارائه شده است "لجستیک معکوس به مجموعه فعالیت‌های بازسازی، دفع پسماند و مدیریت پسماندهای خطرناک گفته میشود و به عبارت وسیع‌تر به کلیه فعالیت‌های که در زنجیره تأمین جهت کاهش منابع، بازسازی منابع، استفاده دوباره از منابع و دفع پسماندها انجام می‌شود زنجیره تأمین معکوس گرفته می‌شود".

شکری و علیرضایی [۱۷] در مقاله‌ای تحت عنوان "طراحی شبکه معکوس برای پسماندهای تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی و استفاده از الگوریتم ژنتیک"، یک مدل ریاضی برای مکان‌یابی مراکز جمع آوری و مراکز دفن در شبکه معکوس ارائه داده‌اند که در مدل هر سه بعد پایداری اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیست در نظر گرفته شده است و برای حل مدل از الگوریتم ژنتیک استفاده کرده‌اند. (در این مدل میزان

پسماندهای موجود در بازار در نظر گرفته نشده است و فرض بر این شده است که میزان پسماندها در دوره‌های زمانی مختلف به اندازه ظرفیت شبکه و یا بیشتر موجود است).

یکی از بخش‌های که در طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس می‌تواند در نظر گرفت بخش دمونتاز^۱ است در این بخش، پسماندهای بازگشتی دمونتاز شده و قسمت‌های قابل استفاده برای بازسازی ارسال و قسمت‌های غیرقابل استفاده برای دفن می‌شوند. در شبکه زنجیره تأمین معکوس طراحی شده توسط کینگ و ژاو [۱۸] بخشی تحت عنوان آزمودن در نظر گرفته شده است با همان مفهوم دمونتاز با این تفاوت که در این بخش محصولات دمونتاز نمی‌شود تنها با آزمایش محصولات، تعیین می‌شود که پسماند برای بازیافت و یا دفن شود مدل ارائه شده در این مقاله، یک مدل ریاضی تک دوره‌ای و تک محصولی است که با رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی استوار، مدل حل شده است به علاوه هدف مدل بهینه‌سازی جریان شبکه و تعداد آزمایش‌های انجام شده در بخش آزمودن است.

میزان محصولات بازسازی شده و یا مواد اولیه‌ای که از پسماند می‌توان استخراج کرد یکی از بخش‌های مهم در طراحی زنجیره تأمین معکوس است که در خیلی از مقالات این مسئله به صورت نرخ ثابت در نظر گرفته شده است به عنوان مثال یو و سولوانگ [19] در مقاله‌ای تحت عنوان "برنامه‌ریزی تصادفی با رویکرد بهبود معیارهای کلیدی روش مبتنی بر سناریو^۲ برای طراحی زنجیره تأمین معکوس پایدار WEEE" به مکان‌یابی مراکز جمع‌آوری و طرح‌های بازسازی و بهینه‌سازی جریان بین تسهیلات پرداخته است. در مدل ارائه شده میزان محصولات و مواد بازسازی شده از پسماند یک نرخ ثابت است به علاوه پارامترهای قیمت محصولات بازسازی شده و مواد بازسازی شده تصادفی در نظر گرفته شده است. آیه‌زا و همکاران [۲۰] در مقاله‌ای تحت عنوان "طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس تصادفی برای WEEE" به مکان‌یابی مراکز جمع‌آوری، مراکز دسته‌بندی در شبکه زنجیره تأمین معکوس پرداخته‌اند تسهیلات شبکه عبارت‌اند از: مرکز

^۱dis assembly
^۲Scenario-Based

جمع‌آوری^۱، مرکز دسته‌بندی^۲، مرکز بازیافت^۳، مرکز پالایش^۴، بازار مواد اولیه و مرکز دفن. در مرکز دسته‌بندی تنها درصدی از پسماندها برای بازیافت ارسال می‌شدند و مابقی پسماندها دفن می‌شوند درصد پسماندهای که برای بازیافت ارسال می‌شوند به صورت تصادفی با تابع توزیع یکنواخت بین ۰.۸ و ۰.۹ تخمین زده شده است علاوه بر این پارامتر، مقدار پسماندها و هزینه حمل‌ونقل نیز به صورت تصادفی در نظر گرفته شده است.

کیلیک و همکاران [۲۱] در مقاله تحت عنوان "طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس برای WEEE در ترکیه" به مکان‌یابی سایت‌های ذخیره‌سازی و سایت‌های بازیافت پرداخته‌اند. در مطالعه موردی، این مقاله، ۴ گروه پسماند لوازم خانگی بزرگ، فریزر و خنک‌سازها، تلویزیون و لوازم خانگی کوچک در نظر گرفته شده است که برای هر یک از ۴ گروه پسماند یک نرخ بازیافت^۵ مختلف برآورد شده است. در مطالعه موردی مدل ریاضی برای ۱۰ سناریو مختلف درباره میزان جمع‌آوری پسماندها حل شده است.

البادروی و همکاران [۲۲] شبکه زنجیره تأمین معکوس E-Waste شامل ۷ نوع مختلف تسهیلات جمع‌آوری، دسته‌بندی، بازیافت، تعمیرات، بازارهای دسته دوم، مراکز دفن و کارخانه‌ها ارائه کردند و در ادامه به ارائه مدل ریاضی جهت مکان‌یابی تسهیلات دسته‌بندی، بازیافت و تعمیرات و تخصیص جریان بین تسهیلات پرداخته‌اند در تابع هدف مدل ارائه شده تنها بعد اقتصادی مسئله که شامل هزینه حمل‌ونقل، هزینه جمع‌آوری و هزینه راه‌اندازی تسهیلات در نظر گرفته شده است و سایر هزینه‌های بازسازی و بازیافت و دسته‌بندی پسماندها در نظر گرفته نشده است. در این مقاله برای حل مدل از روش غیردقیق (الگوریتم ژنتیک) استفاده شده است با توجه به کوچک بودن حجم مسئله، بررسی مزیت استفاده از روش‌های غیردقیق برای حل مدل لازم است چون که به نظر می‌رسد که روش‌های دقیق در این مسئله جواب‌گو است.

collecting centers^۱

sorting centers^۲

recycling centers^۳

refinery centers^۴

Recovery^۵

در خیلی از کشورها دولت مسئولیت جمع‌آوری و بازیافت محصولات را بر عهد شرکت‌ها تولیدکننده واگذار کرده است و همچنین قانون‌های نیز برای اجرای شده آن تصویب شده است. تاری و آلومور [۲۳] در راستای اجرای کردن قانون مسئولیت تولیدکننده در ترکیه به پیکربندی شبکه زنجیره تأمین معکوس پرداخته‌اند هدف این مقاله مکان‌یابی مراکز جمع‌آوری در یک شبکه ۲ سطحی که شامل مناطق تولید، مراکز جمع‌آوری و شرکت‌ها است. در تابع هدف مدل ارائه‌شده برای پیکربندی شبکه ۳ هدف بهینه‌سازی هزینه، ایجاد تعادل در میزان تقسیم پسماندهای اضافی در بین شرکت‌ها و کمترین واریانس در افق زمانی برنامه‌ریزی گرفته‌شده است. هزینه‌های در مدل عبارت‌اند از هزینه‌ای عملیات، هزینه راه‌اندازی مراکز جمع‌آوری، هزینه حمل‌ونقل و هزینه خرید به بسته‌ها. شهرداری ترکیه مصوب کرده که هر شرکت باید به میزان سهم بازار پسماند دریافت کند و مقدار اضافی به توی بین شرکت‌ها به صوت مساوی تقسیم شود به همین دلیل یکی از اهداف مدل حداقل سازی میزان اختلاف پسماند اضافی تقسیم‌شده است. در این مدل قیمت خرید پسماندها در نظر گرفته نشده است.

سیبل الومور و همکاران [۲۴] به ارائه زنجیره تأمین معکوس چند دوره‌^۱ چند محصول پرداخته‌اند که هدف آن مکان‌یابی مراکز جمع‌آوری، مراکز بازرسی و مراکز بازسازی است علاوه بر این در مدل ریاضی ارائه‌شده به تعیین ظرفیت این مراکز پرداخته‌شده است. ظرفیت مراکز به صورت مودولار^۱ در نظر گرفته‌شده است که هر یک از مراکز در ابتدا با یک ظرفیت اولیه راه‌اندازی می‌شوند و در طول دوره برنامه‌ریزی ظرفیت مراکز افزایش می‌یابد. در این پژوهش فرض شده است که کل پسماندهای جمع‌آوری‌شده قابلیت بازسازی را دارند که فرض یک فرض غیرواقعی است علاوه بر این فرض شده است که یک سازمان مسئولیت راه‌اندازی و بهره‌برداری شبکه معکوس را دارد و درآمد این سازمان از فروش محصولات بازسازی‌شده به سایر شرکت‌ها حاصل می‌شود. مدل ریاضی ارائه‌شده برای مطالعه موردی آلمان پیاده شده است.

¹ modular

زنجیره تأمین حلقه بسته

زنجیره تأمین حلقه بسته^۱ (CLSC) اشاره به تلفیق و یکپارچه‌سازی فعالیت‌های زنجیره تأمین پیشرو^۲ (تأمین مواد اولیه، تولید، انبار، توزیع و خرده‌فروشی) و زنجیره تأمین معکوس (جمع‌آوری، مرتب‌سازی، بازسازی، استفاده دوباره و) دارد.

چین و همکاران [۲۵] یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته برای بازیافت کارتریج در چین ارائه داده‌اند در این شبکه ۴ شریک تأمین‌کننده، تولیدکننده، انبار و توزیع‌کننده در زنجیره تأمین پیشرو و ۴ شریک مناطق مشتریان، مراکز جمع‌آوری، مراکز بازیافت و طرح‌های دفن در زنجیره تأمین معکوس در نظر گرفته شده است. در این شبکه پسماندها در مراکز بازیافت بر اساس کیفیت به دودسته خوب و بد تقسیم می‌شود که پسماندهای باکیفیت خوب بازسازی و به همراه محصولات نو به مشتریان فروخته می‌شود و پسماندهای با کیفیت بد، دمونتاز و بخش قابل‌استفاده در تولید محصولات نو مورد استفاده قرار می‌گیرد و بخش‌های غیرقابل استفاده برای دفن ارسال می‌شود. در مدل ریاضی ارائه شده برای این شبکه قیمت خرید محصولات باکیفیت‌های مختلف یکسان در بدین ترتیب تولیدکنندگان می‌توانند مواد اولیه مورد نیاز خود را از تأمین‌کنندگان مواد اولیه و یا مواد اولیه بازیافت شده تأمین کنند. گرفته شده است به عنوان مثال قیمت خرید کارتریج باکیفیت خوب که قابلیت تعمیر و استفاده دوباره از آن وجود دارد با کارتریج کیفیت بد که قابلیت تعمیر و استفاده دوباره از آن وجود ندارد یکسان در نظر گرفته شده است همچنین قیمت فروش محصولات بازسازی شده و محصولات نو نیز یکسان است. در مدل ریاضی میزان بازگشت محصولات به زنجیره تأمین

¹ Closed loop supply chain

² forward logistics

به عنوان پسماند به ازای هر منطقه یک نرخ ثابت تعریف شده است. برای بهینه سازی مدل تنها بعد اقتصادی مسئله در نظر گرفته شده است.

امین و ژانگ [۲۶] یک مدل ۳ سطحی برای پیکربندی زنجیره تأمین حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت پیشنهاد کرده اند. در شبکه طراحی شده پسماندهای مازاد بر ظرفیت زنجیره تأمین معکوس شبکه، به کارخانه های بازسازی برون سپار می شود. در سطح یک مدل پیشنهادی میزان تولید، میزان بازسازی و میزان برون سپاری شبکه تعیین می شود برای این کار یک مدل تک دوره ای برنامه ریزی ریاضی مختلط عدد صحیح غیرخطی (MINLP) ارائه داده اند که برای بهینه سازی این مدل تنها بعد اقتصادی (هزینه های راه اندازی، عملیات و درآمدهای حاصل فروش محصولات) لحاظ شده است در هزینه ها هزینه خرید پسماندها لحاظ نشده است. در سطح دوم مدل تأمین کننده ها، کارخانه های بازسازی قراردادی و سایت های بازسازی ارزیابی می شوند برای این کار از مدل گسترش عملکرد کیفیت^۱ (QFD) فازی استفاده شده است در سطح سوم این مدل مسئله ای انتخاب و تخصیص تأمین کننده، پیمانکاران بازسازی و سایت های بازسازی حل می شود. برای این کار یک مدل ریاضی مختلط عدد صحیح خطی (MILP) ارائه شده است.

در طراحی و بهینه سازی زنجیره تأمین ۲ نوع گرایش تصمیم گیری متمرکز و غیرمتمرکز وجود دارد که در تصمیم گیر متمرکز فرض بر این است که تمام تصمیمات به صورت متمرکز گرفته می شود اما در تصمیم گیری غیرمتمرکز فرض می شود هر یک از بخش های زنجیره تأمین به صورت جداگانه بر اساس اهداف خود تصمیم می گیرند کیانگ کیانگ [۲۷] به طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته با تصمیمات غیرمتمرکز پرداخته اند شبکه ارائه شده، یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته ۳ سطحی که شامل تأمین کننده، تولیدکننده و خرده فروشی است که مشتریان محصولات بازگشتی را به خرده فروشان می فروشند. در مدل ریاضی فرض شده است مشتریان در قبال محصولات جدید و محصولات تولید شده از مواد اولیه بازیافتی بی تفاوت عمل می کنند و برای آن ها دارای ارزش یکسانی است در مل ارائه شده مقدار تقاضا به صورت تصادفی

¹ Quality function deployment

در نظر گرفته شده است. در مدل ریاضی ارائه شده برای بهینه سازی میزان تولید تولیدکننده میزان سود تولیدکننده برابر درآمد حاصل از فروش محصولات منهای هزینه های تولید و خرید مواد اولیه و پسماندهای و هزینه های تولید در نظر گرفته شده است بخش از پسماندها قابلیت استفاده را دارند و مابقی پسماندها غیرقابل استفاده هستند تفکیک بخش های قابل استفاده پسماندها دارای هزینه ای است که در مدل ریاضی در نظر گرفته نشده است. مقدار تقاضا به صورت تابعی از قیمت محصولات در نظر گرفته شده که تابع توزیع مقادیر تقاضا برای قیمت ها مختلف تخمین زده شده است. برای حل مدل ریاضی مثال عددی بیان شده است.

جدول ۲: خلاصه مطالعات بررسی شده

| موضوع | سال | مدل | روش حل | مطالعه موردی [÷] | ابعاد پایداری | | | چند دوره‌ای | ارزش زمانی پول | محدودیت بودجه | تصادفی | کیفیت پسماند |
|--|------|------|------------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|----------------|---------------|---|--------------|
| | | | | | En ³ | So ² | Ec ¹ | | | | | |
| طراحی شبکه معکوس WEEE [۱۷] | 2017 | MILP | GA | Iran | Carbon tax | + | + | Static | - | - | - | - |
| طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس برای WEEE تحت عدم قطعیت [۱۸] | 2016 | MILP | Robust optimization | chain | - | - | + | Static | - | - | quantity of recycled, reused and disposed | - |
| برنامه‌ریزی تصادفی با رویکرد بهبود معیارهای کلیدی روش مبتنی بر سناریو برای طراحی زنجیره تأمین معکوس پایدار [19] WEEE | 2016 | MILP | Scenario-Based | - | Carbon offset | - | + | Static | - | - | amount of WEEE price | - |
| طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس تصادفی برای [20] WEEE | 2015 | MILP | Sample average approximation | Turkey | - | - | + | Static | - | - | amount WEEE quality WEEE transportation | - |

Economic¹
Social²
environment³

| costs | | | | | | | | | | | | |
|-------|----------------|---|---|--------|---|---|---|--------|----------------|--------------------------|------|---|
| - | - | - | - | Static | - | - | + | Turkey | Scenario-Based | MILP | 2015 | طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس برای WEEE در ترکیه [۲۱] |
| - | - | - | - | Static | - | - | + | Egypt | GA | MILP | ۲۰۱۵ | بهینه‌سازی زنجیره تأمین e-waste [۲۲] |
| + | - | - | - | Static | - | - | + | Chain | GA | IP | ۲۰۱۵ | یکپارچه‌سازی زنجیره‌تأمین حلقه بسته با مسئله تخصیص و تصمیمات بازیافت محصولات [25] |
| - | demand | - | - | Static | - | - | + | - | expect value | MILP | ۲۰۱۳ | مدل ۳ سطحی برای پیکربندی زنجیره تأمین حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت [۲۶] |
| - | - | - | - | Multi | - | - | + | Turkey | | MIP | ۲۱۰۴ | مکان‌یابی مراکز جمع‌آوری در شبکه RL برای WEEE [۲۳] |
| - | Price & demand | + | - | Static | - | - | + | - | | Mathematical modeling | 2013 | زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن رقابت و سرمایه‌گذاری در کانال‌های توزیع در شرایط عدم قطعیت |

[۲۷]

طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس

۲۰۱۲

MILP

Germany

+

-

-

Multi

-

-

-

-

چند دوره‌ای [۲۴]

بررسی شکاف تحقیقاتی و جایگاه تحقیق

مرور ادبیات مطالعات و پژوهش‌های که در جهت مدیریت پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی انجام شده است نشان می‌دهد که فارغ از مدل‌های ریاضی ارائه شده و رویکردی که برای حل مدل در نظر گرفته شده است، در شبکه طراحی شده تسهیلات نوسازی در نظر گرفته نشده است. خلاصه مطالعات بررسی شده در جدول ۲ نشان داده شده است همان‌طور که مشاهده می‌کنید در میان پژوهش‌های انجام شده هیچ‌کدام محدودیت بودجه برای سرمایه‌گذاری ثابت را در نظر نگرفته‌اند به علاوه تعداد کمی از آن‌ها ۳ بعد اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی را به صورت هم‌زمان در نظر گرفته‌اند همچنین جای خالی موضوع کیفیت پسمانده و ارزش زمانی پول نیز در میان پژوهش‌ها احساس می‌شود.

جدول ۳ خلاصه‌ای تحقیقات انجام شده است به کمک این جدول می‌توان شکاف تحقیقاتی را مشخص کرد به علاوه تفاوت پژوهش حاضر با پژوهش‌های انجام شده را بررسی کرد در ستون دوم این جدول مرجع تحقیقات را نشان می‌دهد. ستون سوم جدول متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهد همان‌طور که مشخص است در تحقیقات انجام شده در این حوزه تا به اکنون اکثراً تصمیمات مکان‌یابی و تخصیص و تنها در پژوهش ردیف ۱۱ از تحقیقات تعیین ظرفیت موردبررسی قرار گرفته است در پژوهش حاضر علاوه بر مکان‌یابی و تخصیص، انتخاب تکنولوژی تولید در واحدهای تولیدی و انتخاب وسیله‌های حمل و نقل نیز در نظر گرفته شده است. ستون چهارم ابعاد پایداری را نشان می‌دهد در اکثر تحقیقات تنها بعد اقتصاد دیده شده است به جز پژوهش شکوری و همکاران [۱۷] که هر سه بعد پایداری در نظر گرفته شده است. روش محاسبه بعد زیست‌محیطی، نرخ ثابت مالیات است اما در ایران روشی شبیه به روش پلکانی [۲۸] مورد استفاده قرار می‌گیرد که تا سقف حد مجاز بدون مالیات و بیشتر از آن مالیات محاسبه می‌شود. ستون ۵ ویژگی‌های مدل ریاضی را نشان می‌دهد که عبارت‌اند از دوره برنامه‌ریزی، پارامترهای تصادفی، تابع هدف مدل ریاضی، تعداد محصولات، بازار هدف، محدودیت سرمایه‌گذاری ثابت و نرخ تنزیل است در میان پژوهش‌ها هیچ‌کدام محدودیت سرمایه‌گذاری ثابت را در نظر نگرفته‌اند به جز پژوهش کیانگ کیانگ [۲۷] که در مدل‌سازی محدودیت هزینه‌ها هر دوره وجود دارد به علاوه در میان پژوهش‌ها هیچ‌کدام ارزش زمانی پول در نظر گرفته نشده است.

جدول ۳: جدول تحلیل شکاف

| ۱- ردیف | ۲- مرجع | ۳- متغیرهای تصمیم | | | | | | ۴- پایداری | | | ۵- ویژگی‌های مدل | | | | | | | | | | ۶- تسهیلات لجستیک معکوس | | | | | | ۷- مطالعه موردی | | | | |
|---------|---------|-------------------|-------|-------------|-----------------|--------------------|---------|------------|---------|---------|------------------|--------------|-------|--------------|--------|---------|-------|----------|-----------|-------|-------------------------|-----------|----------------|-----------|-----------|---------|-----------------|----------------|----------------|---------------|----------|
| | | مکان‌یابی | تخصیص | تعیین ظرفیت | انتخاب تکنولوژی | انتخاب وسیله نقلیه | اقتصادی | زیست‌محیطی | اجتماعی | تک دوره | چند دوره‌ای | قیمت و هزینه | تقاضا | کیفیت پسماند | تک هدف | چند هدف | تصمیم | تک محصول | چند محصول | بازار | تک بازار | چند بازار | محدودیت سرمایه | نرخ تنزیل | دسته‌بندی | دمونتاژ | | نوسازی (تعمیر) | مراکز جمع‌آوری | پسماند خطرناک | مرکز دفن |
| ۱ | [17] | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | | ✓ | | | | | | | | | ✓ | ✓ |
| ۲ | [18] | ✓ | ✓ | | | | ✓ | | ✓ | | | | ✓ | | ✓ | | | ✓ | | ✓ | | | | | | | | ✓ | | ✓ | ✓ |
| ۳ | [19] | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | | | ✓ | | | ✓ | | ✓ | | ✓ | | | | | | ✓ | | ✓ | |
| ۴ | [20] | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | | ✓ | | ✓ | | | | | | ✓ | | ✓ | ✓ |
| ۵ | [21] | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | | ✓ | | | | | | ✓ | | | ✓ | | ✓ | | | | | | | | ✓ | | ✓ | ✓ |
| ۶ | [22] | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | | ✓ | | | | | | ✓ | | | ✓ | | | ✓ | | | | | | ✓ | | ✓ | | ✓ |
| ۷ | [25] | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | | ✓ | | | | | | ✓ | | | ✓ | | | ✓ | | | | | | | ✓ | | ✓ | ✓ |
| ۸ | [26] | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | | ✓ | | | ✓ | | | ✓ | | | | ✓ | | ✓ | | | | | | ✓ | | ✓ | | |
| ۹ | [23] | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | | | ✓ | | | | | ✓ | | | ✓ | | | ✓ | | | | | | | ✓ | | ✓ | ✓ |
| ۱۰ | [27] | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ | | ✓ | | | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ | | ✓ | | ✓ | | ✓* | | | | | ✓ | | ✓ | |
| ۱۱ | [24] | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | ✓ | | | | | ✓ | | | | ✓ | | ✓ | | | | | | | ✓ | | ✓ | ✓ |

* محدودیت هزینه در نظر گرفته شده

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|--|---|---|---|---|---|---|--|---|---|--|--|---|--|---|--|--|--|---|--|--|---|---|---|---|---|---|---|-------|
| ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | | | ✓ | | ✓ | | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | پژوهش |
|---|---|---|--|---|---|---|---|---|---|--|---|---|--|--|---|--|---|--|--|--|---|--|--|---|---|---|---|---|---|---|-------|

ستون ۶ تسهیلات در نظر گرفته شده در شبکه را نشان می دهد که در بین پژوهش ها هیچ کدام بازسازی را در نظر نگرفته اند.

بنابراین وجود پژوهشی که به طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته بپردازد و حداقل ابعاد اقتصاد و زیست محیطی را در نظر بگیرد و یک برنامه زمانی برای پیاده سازی و راه اندازی شبکه طراحی شده با توجه به محدودیت بودجه ارائه دهد، لازم است. لازم به ذکر است اگرچه پژوهش های زیادی در این حوزه انجام شده است اما ادبیات نشان می دهد که پژوهش مناسب که مدیریت پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی ایران بپردازد وجود ندارد.

جمع بندی فصل دوم

در این فصل به بررسی ادبیات حوزه مدیریت زنجیره تأمین WEEE پرداخته شد و پژوهش ها از لحاظ کاربرد آن ها در دنیای واقعی و میزان واقعی بودن فرضیات و نحوه مدل سازی و روش حل آن ها مورد بررسی قرار گرفتند. در ابتدای فصل به دسته بندی پژوهش ها حوزه مدیریت زنجیره تأمین WEEE به ۴ دسته مختلف پرداخته و جایگاه پژوهش در میان دسته بندی ها تعیین شد و در ادامه ادبیات مرتبط با پژوهش پیش رو مورد بررسی قرار گرفت.

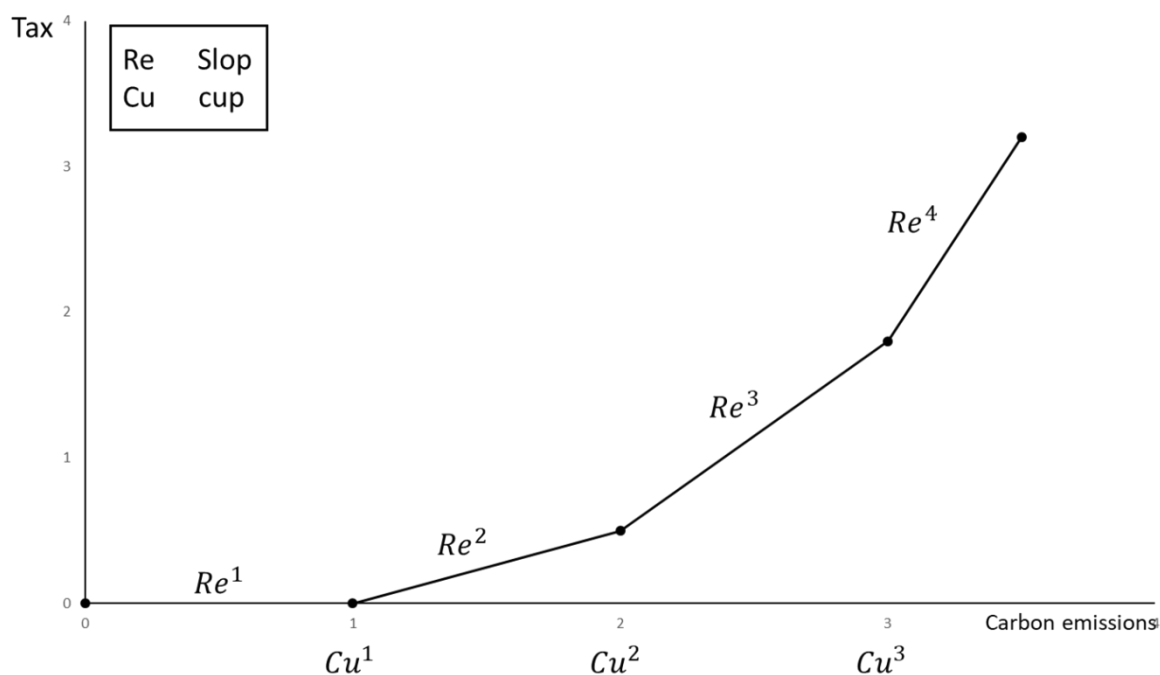
در میان پژوهش ها، هیچ کدام تصمیماتی غیر از مکان یابی و تخصیص را در نظر نگرفته اند در دنیای واقعی مسئله انتخاب نوع وسیله نقلیه یکی از تصمیمات مهم محسوب می شود چون که وسیله حمل و نقل یکی منابع انتشار کربن است و به علاوه بخش قابل توجه ای از هزینه ها در این بخش صرف می شود. ظرفیت تسهیلات نیز یکی از تصمیمات مهم در زنجیره تأمین است که در هیچ کدام از پژوهش ها در نظر گرفته نشده است. در دنیای واقعی تسهیلات زنجیره تأمین در یک دوره راه اندازی نمی شوند بلکه در طی چندین دوره زمانی این اتفاق می افتد دلیل آن عدم وجود سرمایه لازم برای راه اندازی تمام تسهیلات هست که این محدودیت در هیچ یک از پژوهش ها مدنظر قرار نگرفته اند.

پس از بررسی ادبیات و مقایسه آنها در انتها به بررسی شکاف تحقیقات و جایگاه پژوهش پیش رو در میان آنها پرداخته شد.

فصل سوم: مدل سازی

نرخ پلکانی مالیات کربن

برای محاسبه مالیات انتشار کربن ۴ روش مختلف، ۱- مالیات کربن^۱ - ۲- کرین کاپ^۲ - ۳- تجارت و کاپ^۳ - ۴- انحراف کربن^۴ وجود دارد [۲۹] که پس از بررسی‌ها بهترین روش برای محاسبه مالیات کربن روش پلکانی است در این روش برای بازه‌های مختلف انتشار نرخ متفاوتی انتخاب شده است که به صورت صعودی افزایش می‌یابد. که در شکل ۴ نمایش داده شده است میزان انتشار تا سقف Cu^1 مالیات آن صفر خواهد بود و در بازه Cu^1 تا Cu^2 مالیات با نرخ Re^2 محاسبه خواهد شد.



شکل ۴: نمودار مالیات کربن

فرمول‌بندی

در مدل ریاضی ارائه‌شده برای بهینه‌سازی شبکه طراحی‌شده یک سری فرضیات در نظر گرفته‌شده است که لیست این فرضیات به‌قرار زیر است:

- در هر یک از تسهیلات شبکه به جزء انبار موجودی نگهداری نمی‌شود بنابراین میزان خروجی و میزان ورودی در هر یک از تسهیلات برابر خواهد بود.

¹ Carbon tax

² Carbon CAP (Consumption-based Accounting and Policy)

³ Cap and trade

⁴ Carbon offset

- نرخ مالیات بر انتشار کربن به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$\text{rate}(EN) = \begin{cases} Re_1 & 0 \leq EN < CU_1 \\ Re_2 & CU_1 \leq EN < CU_2 \\ Re_3 & CU_2 \leq EN < CU_3 \\ Re_4 & CU_3 \leq EN \end{cases}$$

- کیفیت و قیمت محصولات تولید از مواد اولیه جدید و مواد اولیه دسته دوم یکسان است.
- در مدل ریاضی هزینه کمبود محصولات و برآورد نشدن تقاضا در نظر گرفته نمی شود.

در جدول ۴ لیست مجموعه های مدل ریاضی نشان داده شده است:

جدول ۴: جدول مجموعه ها

| نماد | توضیح |
|------|--------------------------------------|
| S | مجموعه تأمین کننده ها ، $s \in S$ |
| F | مجموعه تولیدکنندگان $f \in F$ |
| Q | مجموعه مراکز بازیافت $q \in Q$ |
| D | مجموعه مراکز دمونتاژ $d \in D$ |
| N | مجموعه مراکز نوسازی $n \in N$ |
| M | مجموعه مراکز بازسازی $m \in M$ |
| I | مجموعه مراکز انبار |
| Z | مجموعه مراکز توزیع |
| J | مجموعه مواد اولیه |
| H(o) | مجموعه ظرفیت های تولید با تکنولوژی 0 |
| H(i) | مجموعه ظرفیت های انبارها |
| H(d) | مجموعه ظرفیت های مراکز دمونتاژ |

| | |
|--------|-----------------------------------|
| $H(n)$ | مجموعه ظرفیت‌های مراکز نوسازی |
| $H(m)$ | مجموعه ظرفیت‌های مراکز بازسازی |
| $H(q)$ | مجموعه ظرفیت‌های مراکز بازیافت |
| T | مجموعه دوره‌های برنامه‌ریزی |
| O | مجموعه تکنولوژی‌های تولید |
| K | مجموعه روش‌های حمل‌ونقل |
| ta | مجموعه پله‌های مالیات انتشار کربن |

جدول ۵: لیست پارامترهای مدل

| نماد | توضیح پارامتر |
|--------------|--|
| $FA_{fht o}$ | هزینه ثابت راه‌اندازی کارخانه f با تکنولوژی o و ظرفیت h در دوره t (دلار) |
| $FW_{i h t}$ | هزینه ثابت راه‌اندازی انبار i با ظرفیت h در دوره t (دلار) |
| $FD_{d h t}$ | هزینه ثابت راه‌اندازی دمونتاز d با ظرفیت h در دوره t (دلار) |
| $FR_{n h t}$ | هزینه ثابت راه‌اندازی مرکز نوسازی n با ظرفیت h در دوره t (دلار) |
| $FM_{m h t}$ | هزینه ثابت راه‌اندازی مرکز بازسازی m با ظرفیت h در دوره t (دلار) |
| $FQ_{q h t}$ | هزینه ثابت راه‌اندازی مرکز بازیافت q با ظرفیت h در دوره t (دلار) |
| $DS_{s f}$ | فاصله تأمین‌کننده s و تولیدکننده f |
| $C_{j k t}$ | هزینه حمل‌ونقل هر واحد مواد اولیه j با روش حمل‌ونقل k در دوره t |
| $C_{k t}$ | هزینه حمل‌ونقل محصول نهایی با روش حمل k در دوره t |
| $OC_{o t}$ | هزینه تولید محصول در دوره t با تکنولوژی o |

| | |
|---------------|--|
| OCI_t | هزینه نگهداری محصول در انبار در دوره t |
| OCD_t | هزینه دمونتاز در مراکز دمونتاز در دوره t |
| OCN_t | هزینه نوسازی در مراکز نوسازی در دوره t |
| OCM_t | هزینه بازسازی در مراکز بازسازی در دوره t |
| PS_{jst} | هزینه خرید مواد اولیه j در دوره t از تأمین‌کننده s |
| PQ_{jt} | قیمت فروش پسماند j در دوره t |
| PZ_t | قیمت فروش محصول نهایی در دوره t |
| PZ_t^1 | قیمت خرید پسماندها دارای کیفیت خوب |
| PZ_t^2 | قیمت خرید پسماندها دارای کیفیت متوسط |
| PZ_t^3 | قیمت خرید پسماندها دارای کیفیت بد |
| α_o | نرخ انتشار یک کیلو گرم کربن به ازای تولید محصول با استفاده از تکنولوژی o (کیلو گرم) |
| α_k | نرخ انتشار یک کیلو گرم کربن به ازای حمل‌ونقل محصول در یک کیلومتر با نوع حمل‌ونقل k |
| α_{kj} | نرخ انتشار یک کیلوگرم کربن به ازای حمل‌ونقل مواد اولیه j در یک کیلومتر با نوع حمل‌ونقل k |
| RM_j | تعداد مواد اولیه j در محصول |
| CA_{ho} | حداکثر میزان تولیدی با تکنولوژی o و ظرفیت h |
| CA_h^i | حداکثر میزان گنجایش انبار با ظرفیت h |
| CA_h^d | حداکثر میزان گنجایش دمونتاز با ظرفیت h |
| CA_h^n | حداکثر میزان گنجایش نوسازی با ظرفیت h |

| | |
|---------------|--|
| CA_h^m | حداکثر میزان گنجایش بازسازی با ظرفیت h |
| CA_h^q | حداکثر میزان گنجایش مرکز بازیافت با ظرفیت h |
| BU_t | حدکثر میزان بودجه در هر دوره برای راه‌اندازی واحدهای تولیدی |
| r | نرخ تنزیل |
| γ_{1j} | درصدی از قطعات دمونتاز شده j که قابلیت استفاده دارند |
| γ_{2j} | درصدی از قطعات j در پسماندهای کیفیت متوسط که باید تعویض شوند |
| λ_1 | درصد پسماندها با کیفیت خوب |
| λ_2 | درصد پسماندها با کیفیت متوسط |
| DE_{tz} | تقاضای مرکز توزیع z در دوره t |
| BN | یک مقدار خیلی بزرگ |
| Re_{ta} | نرخ مالیات انتشار کربن در پله ta |
| β | درصد بازگشت محصولات به‌عنوان پسماند |
| CU_{ta} | سقف میزان انتشار در پله ta |

جدول ۶: لیست متغیرهای مدل ریاضی

نماد

توضیح متغیر تصمیم

| | |
|------------|--|
| WH_{iht} | ۱ اگر انبار i در دوره t با ظرفیت h راه‌اندازی شود ۰ در غیر این صورت |
|------------|--|

۱ اگر تولیدکننده f در با ظرفیت h و تکنولوژی o راه‌اندازی شود

FF_{fhot}

۰ در غیر این صورت

| | |
|----------------|--|
| Q_{qht} | ۱ اگر مرکز بازیافت q در دوره t با ظرفیت h راه اندازه شود ۰ در غیر این صورت |
| DA_{dht} | ۱ اگر مرکز دمونتاز d با ظرفیت h در دوره t راهاندازی شود ۰ در غیر این صورت |
| RF_{nht} | ۱ اگر مرکز نوسازی n در دوره t و با ظرفیت h راهاندازی شود ۰ در غیر این صورت |
| RM_{mht} | ۱ اگر مرکز بازسازی m در دوره t با ظرفیت h راهاندازی شود ۰ در غیر این صورت |
| TR_{k1} | ۱ نوع حمل و نقل k برای حمل مواد اولیه انتخاب شود ۰ در غیر این صورت |
| TR_{k2} | ۱ نوع حمل و نقل k برای حمل محصول انتخاب شود ۰ در غیر این صورت |
| TR_{k3} | ۱ نوع حمل و نقل k برای حمل پسماندها به محل بازیافت انتخاب شود ۰ در غیر این صورت |
| XM_{jsftk} | میزان حمل و نقل مواد اولیه j از تأمین کننده s به تسهیلات f در دوره t و روش حمل و نقل k |
| X_{sftk} | میزان حمل و نقل محصولات بین تسهیلات در دوره t |
| P_{fot} | میزان تولید کارخانه f در دوره t با تکنولوژی o |
| S_{it}^{old} | موجودی پسماندها در انبار i در دوره t |
| S_{it}^{new} | موجودی محصولات جدید در انبار i در دوره t |
| SB_t | باقی مانده بودجه دوره‌های قبل در دوره t |

At_{ta} W_{ta}

۱ اگر پله ta پر شود

$$1 \quad \min Ntc + Enc$$

$$2 \quad Ntc = TFC + TTC + TOC + TPC - BEN$$

$$3 \quad TFC = \sum_{t \in T} (1 - r)^{-t} * FC_t$$

مقدار تابع هدف برابر مجموع خالص هزینه‌ها به علاوه مالیات بر انتشار کربن است. معادله ۲ نشان می‌دهد که خالص هزینه‌ها برابر مجموع هزینه‌های ثابت راه‌اندازی، هزینه‌های حمل‌ونقل، هزینه‌های عملیات و هزینه خرید مواد اولیه و پسماندها منهای سود فروش محصولات است. معادله ۳ نشان می‌دهد مجموع هزینه راه‌اندازی برابر مجموع هزینه راه‌اندازی در هر دوره است.

$$4 \quad FC_t = \sum_{f \in F} \sum_{h \in H} \sum_{o \in O} FF_{fhot} FA_{fhot} + \\ \sum_{i \in I} \sum_{h \in H} WH_{iht} FW_{iht} + \\ \sum_{d \in D} \sum_{h \in H} DA_{dht} FD_{dht} + \\ \sum_{n \in N} \sum_{h \in H} RF_{nht} FR_{nht} + \\ \sum_{m \in M} \sum_{h \in H} RM_{mht} FM_{mht} + \\ \sum_{q \in Q} \sum_{h \in H} Q_{qht} FQ_{qht} \quad \forall t \in T$$

معادله ۴ مجموع هزینه‌های راه‌اندازی در هر دوره را نشان می‌دهد که برابر مجموع هزینه راه‌اندازی تولیدکننده، انبار، مراکز دمونتاز، مراکز نوسازی، مراکز بازسازی و مراکز بازیافت است.

$$\begin{aligned}
5 \quad \text{TTC} = & \sum_{t \in T} (1 - r)^{-t} * \sum_{k \in K} [\sum_{k \in K} \sum_{j \in J} C_{kjt} \sum_{s \in S} \sum_{f \in F} DS_{sf} XM_{jsftk} + \\
& C_{kt} \sum_{f \in F} \sum_{i \in I} X_{fitk} DS_{fi} + C_{kt} \sum_{i \in I} \sum_{z \in Z} X_{iztk} DS_{iz} + C_{kt} \sum_{z \in Z} \sum_{i \in I} X_{zitk} DS_{iz} + \\
& C_{kt} \sum_{i \in I} \sum_{d \in D} X_{idtk} DS_{id} + C_{kt} \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} X_{intk} DS_{in} + \\
& C_{kt} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} X_{imtk} DS_{im} + C_{kt} \sum_{n \in N} \sum_{i \in I} X_{nitk} DS_{ni} + \\
& C_{kt} \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} X_{mitk} DS_{mi} + \sum_{j \in J} C_{kjt} \sum_{d \in D} \sum_{f \in F} XM_{jdftk} DS_{df} + \\
& \sum_{j \in J} C_{kjt} \sum_{d \in D} \sum_{q \in Q} XM_{jdqt} DS_{dq} + \sum_{j \in J} C_{kjt} \sum_{s \in S} \sum_{m \in M} XM_{jsmtk} DS_{sm}]
\end{aligned}$$

معادله ۵ هزینه‌های حمل‌ونقل را نشان می‌دهد هر یک از بخش‌های معادله به ترتیب نشان دهنده هزینه حمل‌ونقل مواد اولیه از تأمین به تولید، هزینه حمل نقل محصولات از تولید به انبار، هزینه انتقال محصولات از انبار به مراکز توزیع، هزینه جمع‌آوری پسماندها از مراکز توزیع به انبارها، هزینه انتقال پسماندهای باکیفیت بد از انبارها به مراکز دمونتاز، هزینه انتقال پسماندهای کیفیت خوب از انبارها به مراکز نوسازی، هزینه انتقال پسماندهای کیفیت متوسط از انبارها به مراکز بازسازی، هزینه انتقال محصولات نوسازی شده از مراکز نوسازی به انبار، هزینه انتقال پسماندهای بازسازی شده از مراکز بازسازی به انبارها، هزینه انتقال قطعات بازسازی شده از مراکز دمونتاز به تولید و هزینه انتقال مواد اولیه به مراکز بازسازی است.

$$\begin{aligned}
6 \quad \text{TOC} = & \sum_{t \in T} (1 - r)^{-t} * [\sum_{f \in F} \sum_{o \in O} P_{fot} OC_{ot} + OCI_t [\sum_{z \in Z} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} X_{iztk} + \\
& X_{zitk} + S_{it}^{old} + S_{it}^{new}] + OCD_t \sum_{i \in I} \sum_{d \in D} \sum_{k \in K} X_{idtk} + \\
& OCN_t \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} \sum_{k \in K} X_{intk} + OCM_t \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} X_{imtk}]
\end{aligned}$$

معادله ۶ هزینه عملیات را نشان می‌دهد که برابر مجموع هزینه‌های تولید، نگهداری در انبار، دمونتاز، نوسازی، و بازسازی است. هزینه نگهداری در انبارها برابر با حاصل ضرب هزینه نگهداری هر دوره در مجموع محصولات ارسال شده به مراکز توزیع، پسماندهای جمع‌آوری شده و موجودی انبار است.

$$\begin{aligned} \gamma \quad TPC = \sum_{t \in T} (1-r)^{-t} & \left[\sum_{s \in S} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} PS_{jst} \left[\sum_{f \in F} XM_{jsftk} + \right. \right. \\ & \left. \sum_{m \in M} XM_{jsmtk} \right] + (PZ_t^1 \lambda^1 + PZ_t^2 \lambda^2 + PZ_t^3 (1 - \lambda^1 - \\ & \left. \lambda^2) \right) \sum_{z \in Z} \sum_{i \in I} X_{zitk} \end{aligned}$$

معادله ۷ هزینه خرید مواد اولیه را نشان می‌دهد که بخش اول و دوم آن مجموع هزینه خرید مواد اولیه برای واحدهای تولیدی و مرکز باز سازی است و بخش دوم هزینه خرید پسماندها را نشان می‌دهد.

$$\delta \quad BEN = \sum_t (1-r)^{-t} \left[PZ_t \sum_i \sum_z \sum_{k \in K} X_{iztk} + \sum_{j \in J} PQ_{tj} \sum_d \sum_q \sum_{k \in K} XM_{jdqtk} \right]$$

$$\theta \quad EN = TEN + PEN$$

$$\begin{aligned} 10 \quad TEN = \sum_t \sum_{k \in K} & \left[\sum_j \alpha_{kj} \sum_s \sum_f DS_{sf} XM_{jsftk} + \alpha_k \sum_f \sum_i X_{fitk} DS_{fi} + \right. \\ & \alpha_k \sum_i \sum_z X_{iztk} DS_{iz} + \alpha_k \sum_z \sum_i X_{zitk} DS_{iz} + \alpha_k \sum_i \sum_d X_{idtk} DS_{id} + \\ & \alpha_k \sum_i \sum_n X_{intk} DS_{in} + \alpha_k \sum_i \sum_m X_{imtk} DS_{im} + \alpha_k \sum_n \sum_i X_{nitk} DS_{ni} + \\ & \alpha_{kj} \sum_m \sum_i X_{mitk} DS_{mi} + \sum_j \alpha_{kj} \sum_d \sum_f XM_{jdftk} DS_{df} + \sum_j \alpha_{kj} \sum_d \sum_q XM_{jdqtk} DS_{dq} + \\ & \left. \sum_j \alpha_{kj} \sum_s \sum_m XM_{jsmtk} DS_{sm} \right] \end{aligned}$$

$$11 \quad PEN = \sum_O \alpha_O \sum_f \sum_t P_{fot}$$

معادله ۸ مجموع سود ناشی از فروش محصولات و پسماندها را نشان می‌دهد. معادله ۹ میزان انتشار کربن را نشان می‌دهد که برابر با مجموع انتشار کربن در مراکز تولیدی و حمل‌ونقل است. معادله ۱۰ میزان انتشار کربن در

حمل‌ونقل را نشان می‌دهد که برابر نرخ انتشار کربن $\left(\frac{\text{kg}}{\text{km}} * (\text{محصول}) \right)$ ضرب در مصافت حمل شده ضرب

در تعداد محصول است و معادله ۱۱ میزان انتشار کربن در تولید محصولات را نشان می‌دهد.

$$12 \quad ENC = \sum_{ta \in TA} Re_{ta} At_{ta}$$

$$13 \quad EN = \sum_{ta \in TA} At_{ta}$$

$$14 \quad Cu_1 W_1 \leq \delta_1 \leq Cu_1$$

$$15 \quad (Cu_{ta} - Cu_{ta-1})W_{ta} \leq At_{ta} \leq (Cu_{ta} - Cu_{ta-1})W_{ta-1} \quad \forall ta \in TA \text{ به جزء اول و آخر}$$

$$17 \quad 0 \leq At_{ta} \leq MW_{ta-1}$$

معادله ۱۲-۱۷ برای بدست آوردن مالیات انتشار کربن را نشان می‌دهد مالیات انتشار کربن به صورت پله‌ای است و با افزایش میزان انتشار نرخ مالیات نیز افزایش می‌یابد.

$$18 \quad \sum_{s \in S} X_{m_{jsftk}} + \sum_d X_{M_{jdftk}} = RM_j \sum_i \sum_{k \in K} X_{fitk} \quad \forall j \in J, f \in F, t \in T$$

محدودیت ۱۸ تعادل جریان در مراکز تولیدی را نشان می‌دهد که باید میزان ورودی هر یک از مواد اولیه از تأمین‌کنندگان و واحدهای دمونتاز برابر میزان مواد اولیه استفاده‌شده در محصولات خروجی باشد.

$$19 \quad \sum_f \sum_{k \in K} X_{M_{jdftk}} = \gamma_{1j} RM_j \sum_i \sum_{k \in K} X_{idtk} \quad \forall j \in J, t \in T, d \in D$$

$$20 \quad \sum_q \sum_{k \in K} X_{M_{jdqtk}} = RM_j (1 - \gamma_{1j}) \sum_i \sum_{k \in K} X_{idtk} \quad \forall j \in J, t \in T, d \in D$$

محدودیت‌های ۱۹ و ۲۰ تعادل جریان را در واحدهای دمونتاز را نشان می‌دهد.

$$21 \quad \sum_i \sum_{k \in K} X_{intk} = \sum_i \sum_{k \in K} X_{nitk} \quad \forall n \in N, t \in T$$

$$22 \quad \sum_i \sum_{k \in K} X_{imtk} = \sum_i \sum_{k \in K} X_{mitk} \quad \forall m \in M, t \in T$$

$$23 \quad \sum_s \sum_{k \in K} X_{M_{jsmtk}} = \gamma_{2j} RM_j \sum_i \sum_{k \in K} X_{mitk} \quad \forall m \in M, t \in T, j \in J$$

محدودیت‌های ۲۱-۲۳ تعادل جریان در واحدهای نوسازی و بازسازی را نشان می‌دهد.

$$24 \quad \sum_f X_{fitk} + S_{it}^{new} = \sum_z X_{iztk} + S_{it-1}^{new} \quad \forall t \in T, i \in I$$

$$25 \quad \sum_n X_{intk} = \lambda_1 [\sum_z X_{zitk} + S_{it-1}^{old} - S_{it}^{old}] \quad \forall t \in T, i \in I$$

$$26 \quad \sum_m X_{imtk} = \lambda_2 [\sum_z X_{zitk} + S_{it-1}^{old} - S_{it}^{old}] \quad \forall t \in T, i \in I$$

$$27 \quad \sum_d X_{idtk} = (1 - \lambda_1 - \lambda_2) [\sum_z X_{zitk} + S_{it-1}^{old} - S_{it}^{old}] \quad \forall t \in T, i \in I$$

محدودیت ۲۴ تعادل جریان محصولات نو در انبارها را نشان می‌دهد که در این محدودیت موجودی انبار نیز در نظر گرفته شده است. محدودیت ۲۵ میزان پسماندهای دارای کیفیت خوب که باید برای مراکز نوسازی ارسال شود را نشان می‌دهد. محدودیت ۲۶ میزان پسماندهای دارای کیفیت متوسط که برای مراکز بازسازی ارسال شود را نشان می‌دهد. محدودیت ۲۷ میزان پسماندهای دارای کیفیت بد که باید برای مراکز بازسازی ارسال شود را نشان می‌دهد.

$$28 \quad \sum_i \sum_{k \in K} X_{fitk} \leq \sum_h \sum_o \sum_{g=0}^t FF_{fhog} CA_{ho} \quad \forall f \in F, t \in T$$

$$29 \quad \sum_h \sum_o \sum_{t \in T} FF_{fhot} \leq 1 \quad \forall f \in F$$

معادله ۲۸ محدودیت ظرفیت واحدهای تولیدی را نشان می‌دهد و محدودیت ۲۹ تضمین می‌کند که واحد تولید تنها با یک سطح تولید و یک سطح تکنولوژی و یک دوره راه‌اندازی می‌شود.

$$31 \quad \sum_z \sum_{k \in K} X_{iztk} + S_{it}^{new} + \sum_z \sum_{k \in K} X_{zltk} + S_{it}^{old} \leq \sum_h \sum_{g=0}^t WH_{ihg} CA_h^i \quad \forall i \in I, t \in T$$

$$32 \quad \sum_h \sum_{t \in T} WH_{iht} \leq 1 \quad \forall i \in I$$

معادله ۳۱ محدودیت ظرفیت انبارها را نشان می‌دهد که برابر مجموع محصولات، پسماندها و موجودی آنها است. محدودیت ۳۲ تضمین می‌کند که واحد تنها با یک سطح تولید و در یک دوره راه‌اندازی شود.

$$34 \quad \sum_i \sum_{k \in K} X_{idtk} \leq \sum_h \sum_{g=0}^t DA_{dhg} CA_h^d \quad \forall d \in D, t \in T$$

$$35 \quad \sum_h \sum_{t \in T} DA_{dht} \leq 1 \quad \forall d \in D$$

معادله ۳۴، محدودیت ظرفیت مرکز دمونتاز را نشان می‌دهد و محدودیت ۳۵ تضمین می‌کند که واحد دمونتاز تنها با یک سطح ظرفیت و در یک دوره راه‌اندازی شود.

$$37 \quad \sum_i \sum_{k \in K} X_{intk} \leq \sum_h \sum_{g=0}^t RF_{nhg} CA_h^n \quad \forall n \in N, t \in T$$

$$38 \quad \sum_h \sum_{t \in T} RF_{nht} \leq 1 \quad \forall n \in N$$

معادله ۳۷ محدودیت ظرفیت نوسازی را نشان می‌دهد و محدودیت ۳۸ تضمین می‌کند که واحد نوسازی تنها با یک سطح ظرفیت و در یک دوره راه‌اندازی شود.

$$40 \quad \sum_i \sum_{k \in K} X_{imtk} \leq \sum_h \sum_{g=0}^t RM_{mhg} CA_h^m \quad \forall m \in M, t \in T$$

$$41 \quad \sum_h \sum_{t \in T} RM_{mht} \leq 1 \quad \forall m \in M$$

معادله ۴۰ محدودیت ظرفیت بازسازی را نشان می‌دهد. محدودیت ۴۱ تضمین می‌کند که واحد بازسازی تنها با یک سطح ظرفیت و در یک دوره راه‌اندازی شود.

$$43 \quad \sum_d \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} XM_{jdqtk} \leq \sum_h \sum_{g=0}^t Q_{qhgc} CA_h^q \quad \forall q \in Q, t \in T$$

$$44 \quad \sum_h \sum_{t \in T} Q_{qht} \leq 1 \quad \forall q \in Q$$

معادله ۴۳ محدودیت مراکز بازیافت را نشان می‌دهد. محدودیت ۴۴ تضمین می‌کند که واحد بازیافت تنها با یک سطح ظرفیت و در یک دوره راه‌اندازی شود.

$$46 \quad FC_t \leq BU_t + SB_t \quad \forall t \in T$$

$$47 \quad SB_{t+1} = [BU_t + SB_t - FC_t] * (1 + r) \quad \forall t \in T$$

معادله ۴۶ نشان دهنده محدودیت بودجه در راه‌اندازی تسهیلات است حداکثر بودجه برای راه‌اندازی تسهیلات برابر میزان بودجه هر دوره به علاوه موجودی بودجه باقی ماند در دوره‌های قبل است. معادله ۴۷ بودجه باقی مانده در دوره را نشان می‌دهد که با ضرب در نرخ تنزیل به دوره بعد انتقال می‌یابد.

$$48 \quad \sum_i \sum_{k \in K} X_{iztk} \leq DE_{tz} \quad \forall t \in T, z \in Z$$

$$49 \quad \sum_i \sum_{k \in K} X_{zitk} \leq \beta DE_{tz} \quad \forall t \in T, z \in Z$$

معادله ۴۸ برآورد شدن تقاضا در هر کدام از توزیع‌کننده‌ها را نشان می‌دهد. معادله ۴۹ میزان بازگشت پسماندها را نشان می‌دهد.

$$50 \quad \sum_{k \in K} TR_k^1 = 1$$

$$51 \quad \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} \sum_{f \in F} \sum_{t \in T} XM_{jsftk} + \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} XM_{jsmtk} + \\ \sum_{j \in J} \sum_{d \in D} \sum_{f \in F} \sum_{t \in T} XM_{jdftk} \leq BN * TR_k^1 \quad \forall k \in K$$

$$52 \quad \sum_{k \in K} TR_k^2 = 1$$

$$53 \quad \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} X_{mitk} + \sum_{n \in N} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} X_{nitk} + \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} X_{imtk} + \\ \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} \sum_{t \in T} X_{intk} + \sum_{z \in Z} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} X_{zitk} + \sum_{i \in I} \sum_{z \in Z} \sum_{t \in T} X_{iztk} + \\ \sum_{f \in F} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} X_{fitk} + \sum_{i \in I} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} X_{idtk} \leq BN * TR_k^2 \quad \forall k \in K$$

$$54 \quad \sum_{k \in K} TR_k^3 = 1$$

$$55 \quad \sum_{j \in J} \sum_{d \in D} \sum_{q \in Q} \sum_{t \in T} XM_{jdqtk} \leq BN * TR_k^3 \quad \forall k \in K$$

محدودیت‌های ۵۰ - ۵۱ تضمین می‌کند که برای حمل مواد اولیه تنها یکی از روش‌های حمل‌ونقل انتخاب خواهد شد. محدودیت‌های ۵۲ - ۵۳ تضمین می‌کند که تنها یک روش از روش‌های حمل‌ونقل برای حمل محصولات انتخاب خواهد شد و همچنین محدودیت‌های ۵۴ - ۵۵ تضمین می‌کند که برای حمل پسماندها به سمت مراکز بازیافت تنها یکی از روش‌های حمل‌ونقل انتخاب خواهد شد.

$$56 \quad \sum_{o \in O} P_{fot} = \sum_i \sum_{k \in K} X_{fitk} \quad \forall f \in F, t \in T$$

$$57 \quad P_{fot} \leq BN \sum_{h \in H} \sum_{t \in T} FF_{fhott} \quad \forall f \in F, t \in T, o \in O$$

محدودیت ۵۶ مقدار تولید کارخانه f در دوره t را تعیین می‌کند و محدودیت ۵۷ تضمین می‌کند که تنها با تکنولوژی که کارخانه با آن احداث شده است، محصولات تولید شود.

$$49 \quad WH_{iht}, FF_{fhot}, Q_{qht}, DA_{dht}, RF_{nht}, RM_{mht}, TR_{k1}, TR_{k2}, TR_{k3} \in$$

$$50 \quad 0 \leq XM_{jsft}, X_{sft}, S_{oldit}, S_{newit}, \delta_1, \delta_2, \delta_3$$

منابع و مراجع

- [۱] ج. ح. رضا، د. مرتضی، and هدایتی، امیر، مدیریت پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی مبانی، سیستم ها، سایت ها. انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۲.
- [۲] N. H. Md Tasbirul Islam, "Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)/E-waste in reverse logistics (RL) and closed-loop supply chain (CLSC) research: A review," *Resources, Conservation & Recycling*, 2017
- [۳] M. T. Islam and N. Huda, "Reverse logistics and closed-loop supply chain of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)/E-waste: A comprehensive literature review," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 137, pp. 48-75, 2018.
- [۴] B. J. La Londe and J. M. Masters, "Emerging logistics strategies: blueprints for the next century," *International journal of physical distribution & logistics management*, vol. 24, no. 7, pp. 35-47, 1994.
- [۵] D. M. Lambert, J. R. Stock, and L. M. Ellram, *Fundamentals of logistics management*. McGraw-Hill/Irwin, 1998
- [۶] M. Christopher, *Logistics and supply chain management: creating value-adding networks*. ۲۰۰۵, Pearson education
- [۷] J. R. Stock, *Reverse logistics: White paper*. Council of Logistics Management, 1992.
- [۸] R. Tibben-Lembke and D. Rogers, "Going backwards: reverse logistics trends and practices," *Reverse Logistics Executive Council*, 1998
- [۹] H. Min and H.-J. Ko, "The dynamic design of a reverse logistics network from the perspective of third-party logistics service providers," *International Journal of Production Economics*, vol. 113, no. 1, pp. 176-192, 2008
- [۱۰] K. Govindan, H. Soleimani, and D. Kannan, "Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future," *European journal of operational research*, vol. 240, no. 3, pp. 603-626, 2015
- [۱۱] C. J. Cleveland and C. G. Morris, *Dictionary of energy*. Elsevier, 2005
- [۱۲] J. Shogren, *Encyclopedia of energy, natural resource, and environmental economics*. Newnes, 2013
- [۱۳] M. I. Gomes, A. P. Barbosa-Povoa, and A. Q. Novais, "Modelling a recovery network for WEEE: A case study in Portugal," *Waste Management*, vol. 31, no. 7, pp. ۱۶۴۵-۱۶۶۰, ۲۰۱۱.
- [۱۴] G. T. Temur, T. Kaya, and C. Kahraman, "Facility location selection in reverse logistics using a type-2 fuzzy decision aid method," in *Supply chain management under fuzziness*: Springer, 2014, pp. 591-606

- Chaves, R. R. Siman, and L. H. Xavier, "System dynamics applied to closed loop supply chains of desktops and laptops in Brazil: A perspective for social inclusion of waste pickers," *Waste management*, vol. 60, pp. 14-31, 2017 [۱۵]
- J. Stock, "Reverse logistics, white paper, council of logistics management," *IL: Oak Brook*, 1992 [۱۶]
- S. Shokouhyar and A. Aalirezai, "Designing a sustainable recovery network for waste from electrical and electronic equipment using a genetic algorithm," *International Journal of Environment and Sustainable Development*, vol. 16, no. 1, pp. 60-79, 2017 [۱۷]
- S. Qiang and X.-Z. Zhou, "Robust reverse logistics network design for the waste of electrical and electronic equipment (WEEE) under recovery uncertainty," *Journal of environmental biology*, vol. 37, no. 5, p. 1153, 2016 [۱۸]
- H. Yu and W. Solvang, "A stochastic programming approach with improved multi-criteria scenario-based solution method for sustainable reverse logistics design of waste electrical and electronic equipment (WEEE)," *Sustainability*, vol. 8, no. 12, p. 1331, 2016 [۱۹]
- B. Ayvaz, B. Bolat, and N. Aydın, "Stochastic reverse logistics network design for waste of electrical and electronic equipment," *Resources, conservation and recycling*, vol. 104, pp. 391-404, 2015 [۲۰]
- H. S. Kilic, U. Cebeci, and M. B. Ayhan, "Reverse logistics system design for the waste of electrical and electronic equipment (WEEE) in Turkey," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 95, pp. 120-132, 2015 [۲۱]
- R. Elbadrawy, A. F. A. Moneim, and M. N. Fors, "E-waste reverse logistic optimization in Egypt," in *2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)*, 2015: IEEE, pp. 1-6 [۲۲]
- I. Tari and S. A. Alumur, "Collection center location with equity considerations in reverse logistics networks," *INFOR: Information Systems and Operational Research*, vol. 52, no. 4, pp. 157-173, 2014 [۲۳]
- S. A. Alumur, S. Nickel, F. Saldanha-da-Gama, and V. Verter, "Multi-period reverse logistics network design," *European Journal of Operational Research*, vol. 220, no. 1, pp. 67-78, 2012 [۲۴]
- Y. Chen, F. Chan, and S. Chung, "An integrated closed-loop supply chain model with location allocation problem and product recycling decisions," *International Journal of Production Research*, vol. 53, no. 10, pp. 3120-3140, 2015 [۲۵]
- S. H. Amin and G. Zhang, "A three-stage model for closed-loop supply chain configuration under uncertainty," *International Journal of Production Research*, vol. 51, no. 5, pp. 1405-1425, 2013 [۲۶]
- Q. Qiang, K. Ke, T. Anderson, and J. Dong, "The closed-loop supply chain network with competition, distribution channel investment, and uncertainties," *Omega*, vol. 41, no. 2, pp. 186-194, 2013 [۲۷]

- [۲۸] "ایین نامه اجرایی بند ج ماده ۱۰۴ قانون برنامه توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران،", ed "in 1473/319-5328/105, ایران, ۱۳۹۷.
- [۲۹] C. Waltho, S. Elhedhli, and F. Gzara, "Green supply chain network design: A review focused on policy adoption and emission quantification," *International Journal of Production Economics*, 2018