

دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی صنایع

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

عنوان پایان‌نامه

طراحی شبکه توزیع و جمع‌آوری تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی با نگرش زیست‌محیطی

نگارش

امیر مینائی

استاد راهنما

دکتر سعید منصور

مهر 1398

# چکیده

# فهرست مطالب

[چکیده 2](#_Toc22639375)

[فهرست مطالب 3](#_Toc22639376)

[فهرست جداول 5](#_Toc22639377)

[فهرست اشکال 6](#_Toc22639378)

[1. فصل اول: کلیات 7](#_Toc22639379)

[1.1- مقدمه 8](#_Toc22639380)

[1.2- بیان مسئله 9](#_Toc22639381)

[1.3- ضرورت پژوهش 12](#_Toc22639382)

[1.3.1. هدف 12](#_Toc22639383)

[1.4- تعاریف 13](#_Toc22639384)

[1.4.1. زنجیره تأمین 13](#_Toc22639385)

[1.4.2. زنجیره تأمین معکوس 14](#_Toc22639386)

[1.4.3. زنجیره تأمین حلقه بسته 16](#_Toc22639387)

[1.4.4. پسماندهای تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی 16](#_Toc22639388)

[1.4.5. توسعه پایدار 16](#_Toc22639389)

[1.4.6. پایان عمر محصول 17](#_Toc22639390)

[1.4.7. اثر گلخانه‌ای 17](#_Toc22639391)

[1.4.8. انتشار کربن 18](#_Toc22639392)

[1.4.9. مالیات انتشار کربن 19](#_Toc22639393)

[1.5- فرضیات و سؤالات پژوهش 19](#_Toc22639394)

[1.6- روش تحقیق 21](#_Toc22639395)

[1.6.1. روش و ابزار گردآوری اطلاعات 21](#_Toc22639396)

[1.6.2. قلمرو تحقیق 22](#_Toc22639397)

[1.7- نمایی کلی پژوهش 22](#_Toc22639398)

[فصل دوم: مرور ادبیات 25](#_Toc22639399)

[طبقه‌بندی مطالعات مدیریت زنجیره تأمین پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی 26](#_Toc22639400)

[زنجیره تأمین معکوس 28](#_Toc22639401)

[زنجیره تأمین حلقه بسته 32](#_Toc22639402)

[بررسی شکاف تحقیقاتی و جایگاه تحقیق 38](#_Toc22639403)

[جمع‌بندی فصل دوم 41](#_Toc22639404)

[فصل سوم: مدل‌سازی 43](#_Toc22639405)

[نرخ پلکانی مالیات کربن 44](#_Toc22639406)

[فرمول‌بندی 44](#_Toc22639407)

[منابع و مراجع 56](#_Toc22639408)

# **فهرست** **جداول**

[جدول 1: تفاوت زنجیره تأمین و زنجیره تأمین معکوس [9] 14](#_Toc21739620)

[جدول 2: خلاصه مطالعات بررسی‌شده 34](#_Toc21739621)

[جدول 3: جدول تحلیل شکاف 38](#_Toc21739622)

[جدول 4: جدول مجموعه ها 44](#_Toc21739623)

[جدول 5: لیست پارامتر های مدل 44](#_Toc21739624)

[جدول 6: لیست متغیرهای مدل ریاضی 45](#_Toc21739625)

# **فهرست اشکال**

[شکل 1: سناریو انجام پژوهش 21](#_Toc21739697)

[شکل 2: نمودار جریان مواد در شبکه 23](#_Toc21739698)

[شکل 3: چارچوب ادبیات حوزه مدیریت زنجیره تأمین پسماند های الکتریکی و الکترونیکی 27](#_Toc21739699)

# فصل اول: کلیات

## 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 درروند تغییرات آب‌وهوایی و گرمایش جهانی به‌واسطه انتشار گازهای گلخانه‌ای ایفا کرده است میزان غلظت گازهای گلخانه‌ای، در این دوره، افزایش قابل‌توجه ای داشته است به‌گونه‌ای بر اساس گزارش "مرکز تجزیه‌وتحلیل اطلاعات دی‌اکسید کربن[[1]](#footnote-1)" میزان غلظت دی‌اکسید کربن در سال 1958 از 315 بخش در میلیون[[2]](#footnote-2) به 409 بخش در میلیون در سال 2018 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 درنتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته‌اند. زنجیره تأمین و زنجیره تأمین به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بخشه‌ای صنعت، که شامل فعالیت‌های حمل‌ونقل، تولید و .... است، سهم قابل‌توجهی در مصرف سوخت‌های فسیلی و انتشار کربن دارد که بر اساس آمار و اطلاعات 13 درصد از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای درنتیجه فعالیت‌های زنجیره تأمین و زنجیره تأمین است برنامه‌ریزی مناسب زنجیره تأمین می‌تواند تأثیر به سزای در کاهش هزینه‌های تولید داشته باشد به‌علاوه با در نظر گرفتن پارامترهای پایداری در برنامه‌ریزی زنجیره تأمین، میزان انتشارِ 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 خدماتی تولید می‌شود و عرفا (از دید تولیدکننده) قابل‌مصرف نیست و نیاز به دفن و یا بازیابی دارند، گفته می‌شود[[1](#_ENREF_1)] که وجود آن‌ها در محیط‌زیست موجب نابودی محیط‌زیست و جانداران می‌شود. پسماندها مواد باارزشی هستند که استفاده صحیح از آن‌ها می‌توان کمک قابل‌توجهی 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 پرداخته‌شده است در ابتدای فصل به بیان و تعریف دقیق مسئله می‌پردازیم در ادامه ضرورت پژوهش بررسی‌شده است که در این بخش بیان می‌شود که پژوهش پیش رو در چه ابعاد و از چه نظری برای جامعه علمی اهمیت دارد پس‌ازآن به تعریف واژگان کلید و عباراتی که در کل پژوهش مورداستفاده قرار می‌گیرد، پرداخته‌شده است. در بخش فرضیات و سؤالات پژوهش به بیان فرضیاتی که پژوهش برای پاسخ گوی به آن‌ها طراحی‌شده است بیان می‌شود. در آخر روش تحقیق و نحوه جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات بیان می‌شود.

## بیان مسئله

امروزه تولید پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی (WEEE[[3]](#footnote-3))، 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[[4]](#footnote-4)) به‌عنوان یک ابزار برای مدیریت پایان عمر محصولات معرفی‌شده 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. دریکی از مراحل مهم در طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته، مکان‌یابی و تخصیص تسهیلات جمع‌آوری است.

شبکه طراحی‌شده در این پژوهش مطابق "شکل 2: 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 دمونتاژ، مراکز بازسازی، مراکز نوسازی و مراکز بازیافت است که در این شبکه حلقه بسته، تسهیلات مراکز جمع‌آوری و توزیع و همچنین انبار های 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 جمع‌آوری‌شده در سه رده کیفیت بالا، متوسط و پایین دسته بنده می‌شوند و برای هرکدام از دسته‌ها یک قیمت متفاوت پرداخته می‌شود درواقع برای پسماندهای بالا 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 پایین پرداخت می‌شود. در این شبکه پس از خریداری پسماندها و انبار کردن آن‌های 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 بالا 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 پایین قرار می‌گیرند و برای مراکز دمونتاژ 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 دمونتاژ پسماندها دمونتاژ می‌شوند و قطعات قابل‌استفاده برای تولیدکننده و قطعات غیرقابل‌استفاده برای بازیافت ارسال می‌شود بنابراین تولیدکننده می‌توانند مواد اولیه خود را از تأمین‌کنندگان و یا از مراکز دمونتاژ 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 2 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، دمونتاژ) و خرید مواد اولیه و پسماند منهای درآمدهای حاصل از فروش محصولات و پسماندهای دمونتاژ 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.

## 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[[2](#_ENREF_2)]. 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.

دستاورد 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.

### هدف

با توجه به‌ضرورت 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 ارائه‌شده 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 به‌صورت چند دوره‌ای فرمول‌بندی شده است که هر یک از تصمیمات به‌صورت 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.

## تعاریف

در این بخش کلیدواژه‌های مهم تعریف می‌شوند.

### زنجیره تأمین

برای زنجیره تأمین تعریف مختلفی ارائه‌شده 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[[3](#_ENREF_3)].

زنجیره تأمین مجموعه‌ای از شرکت‌ها است که مواد را به جلو منتقل می‌کند. به‌طورمعمول، 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[[4](#_ENREF_4)].

زنجیره تأمین همکاری شرکت‌ها برای رساند محصولات و یا خدمات به بازار است. در این تعریف مصرف‌کننده نیز به‌عنوان بخشی از زنجیره تأمین شناخته می‌شود[[5](#_ENREF_5)].

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[[6](#_ENREF_6)].

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.

### زنجیره تأمین معکوس

برای زنجیره تأمین معکوس همانند زنجیره تأمین تعریف‌های گوناگونی بیان‌شده است که اولین تعریف سنتی در سال 1992 در کتاب "زنجیره تأمین معکوس: کاغذ سفید"[[7](#_ENREF_7)] 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 فشار های 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»[[8](#_ENREF_8)] همان‌طور که از تعریف هم برمیاید زنجیره تأمین معکوس و زنجیره تأمین دارای تفاوت‌های عمده‌ای هستند که در جدول 1 برخی از این تفاوت‌ها به‌صورت مختصر بیان‌شده است.

جدول 1: تفاوت زنجیره تأمین و زنجیره تأمین معکوس [[9](#_ENREF_9)]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| # |  | زنجیره تأمین | زنجیره تأمین معکوس |
| 1 | کیفیت | کیفیت یکسان محصولات | کیفیت متفاوت محصولات |
| 2 | مقدار | مقدار زیاد محصولات استاندار | تعداد کم محصولات |
| 3 | ارزش کالا | کالاهای باارزش | دارای کیفیت متوسط |
| 4 | دوره عمر محصول | قابل مدیریت | غیرقابل مدیریت |
| 5 | جریان محصولات | یک جریان (فشاری) | دو جریان (فشاری و کششی) |
| 6 | قیمت | قیمت یکسان محصولات | محصولات دارای قیمت‌های متفاوت |
| 7 | زمان سفارش | زمان کوتاه سفارش | زمان متوسط تا طولانی سفارش |
| 8 | مسیریابی | مسیریابی روشن محصولات | مسیریابی مبهم محصولات |
| 9 | ردیابی اطلاعات | سیستم‌های خودکار | ترکیبی از سیستم‌های خودکار و دستی |
| 10 | مدیریت موجودی | مدیریت موجودی سازگار | مدیریت موجودی ناسازگار |
| 11 | کنترل موجودی | متمرکز | غیرمتمرکز |
| 12 | بازیابی سرمایه | گزینه‌های مشخص بازیابی سرمایه | گزینه‌های نامشخص بازیابی سرمایه |
| 13 | هزینه | هزینه‌های مشخص و معلوم | هزینه‌های نامشخص و مخفی |
| 14 | نوع مشتریان | شناسایی راحت مشتریان و بازاریابی آسان محصولات | شناسایی مشکل مشتریان و بازاریابی دشوار محصولات |
| 15 | اولویت | اولویت بالا | اولویت پایین |
| 16 | فرایندها | فرایندهای مشخص | فرایندهای نامشخص |
| 17 | مدیریت مالی | مدیریت مالی مشخص | مدیریت مالی نامشخص |
| 18 | مذاکره | مذاکره ساده بین طرفین | مذاکرات دشوار بین طرفی |
| 19 | کانال | کانال‌های ساده | کانال‌های پیچیده |

### 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[[10](#_ENREF_10)].

### 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 استفاده‌شده 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 (به‌عنوان‌مثال حدود 10 درصد کل طلا در سراسر جهان برای تولید آن‌ها مورداستفاده 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.

### توسعه پایدار

توسعه پایدار مفهومی است که به‌تناوب در محافل علمی مورداستفاده قرار می‌گیرد و برای آن تعریف مختلفی ارائه‌شده است اما یکی از آن‌ها که بیشتر از همه رایج است، تعریفی است که در گزارش کمیسیون جهانی محیط‌زیست و توسعه (WCED[[5]](#footnote-5)) در سال 1987 با عنوان آینده "مشترک ما"[[6]](#footnote-6) 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.

### پایان عمر محصول

مدیریت پایان عمر محصولات به‌عنوان آخرین فاز در دوره عمر محصول، از اهمیت زیادی ازلحاظ 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 تشکیل‌شده باشد[[3](#_ENREF_3)]. گزینه‌های مختلف برخورد با محصولات و اجزای آن‌ها در فاز پایان عمر وجود دارد که عبارت‌اند از: استفاده مجدد[[7]](#footnote-7) ، بازسازی[[8]](#footnote-8)، دمونتاژ[[9]](#footnote-9) و دفن کردن[[10]](#footnote-10)

### اثر گلخانه‌ای[[11]](#footnote-11)

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[[11](#_ENREF_11)]. انرژی جذب‌شده در جو ازهرجهت 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 33 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 H2O، CO2، N2O، ازن، کلرو فلوروکربن‌ها و SF6 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 1827) 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 1950 به وجود آمده است[[11](#_ENREF_11)].

### انتشار کربن

انتشار کربن، به راه‌سازی کربن در جو گفته می‌شود و هنگامی‌که در مورد انتشار کربن حرف زده می‌شود صرفاً صحبت از انتشار گازهای گلخانه‌ای است که عامل اصلی تغییر آب‌وهوا است. ازآنجاکه 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 افزایش‌یافته است ، که به‌طور مستقیم با افزایش سطح دی‌اکسید کربن در جو ما و درنتیجه افزایش سریع گرم شدن کره زمین ارتباط دارد.

### مالیات انتشار کربن

مالیات انتشار کربن، مالیات بر انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) است که هدف از پرداخت آن داخلی سازی بیرونی‌های[[12]](#footnote-12) مرتبط با تغییرات آب‌وهوایی است. منظور از داخلی سازی بیرونی‌های انتقال بار مسئولیت و یا هزینه‌های تأثیرات بیرونی مانند انتشار آلودگی از بیرون به داخل است[[12](#_ENREF_12)] 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، ازجمله 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[[13]](#footnote-13) است این نوع مالیات هزینه‌ای است که دولت بابت فعالیت‌های که موجب آسیب‌های اجتماعی خارجی می‌شود اخذ می‌کند.

## فرضیات و سؤالات پژوهش

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

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

فرضیاتی که در این پژوهش در نظر گرفته‌شده است عبارت‌اند از:

1. در نظر گرفتن بعد زیست‌محیطی پایداری در مکان‌یابی تسهیلات شبکه تأثیرگذار نیست.

در این پژوهش دو بعد پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی در نظر گرفته‌شده است فرض می‌شود که بعد زیست‌محیطی مسئله تأثیری در مکان‌یابی تسهیلات ندارد و یا درواقع مکان تسهیلات با در نظر گرفتن و یا نگرفتن این بعد اتفاتی نخواهد داشت. در نظر گرفتن این مسئله تنها باعث افزایش هزینه‌ها می‌شود.

1. با افزایش مالیات بر انتشار کربن، کل هزینه‌ها با شدت کم‌تر افزایش میابد.

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.

1. 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:

1. برای توزیع تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی همچنین جمع‌آوری و بازیافت پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی، چه شبکه زنجیره تأمین موردنیاز است؟
2. مکان و جریان بین تسهیلات شبکه طراحی‌شده چگونه است؟
3. ارتباط بین روش محاسبه مالیات انتشار کربن و نرخ مالیات انتشار کربن با طراحی شبکه چگونه است؟
4. با افزایش نرخ مالیات انتشار کربن چه میزان هزینه‌های زنجیره تأمین افزایش میابد؟
5. روش‌های مختلف محاسبه مالیات انتشار کربن و میزان هزینه آن برای زنجیره تأمین چقدر است؟

## روش تحقیق

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

### روش و ابزار گردآوری اطلاعات

روش تحقیق مورداستفاده برای مرور ادبیات پیشین در این تحقیق روش کتابخانه است که برای این کار از منابع معتبر انتشار مقالات استفاده‌شده است. به‌علاوه سناریو انجام پژوهش در نمودار "شکل 1" نمایش داده‌شده است.

شکل 1: سناریو انجام پژوهش

### 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 ابیات از تاریخ 2010 تا 2019 است و اما قلمرو مکانی برای مطالعه موردی ایران در نظر گرفته‌شده است.

## نمایی کلی پژوهش

این پژوهش شامل 5 فصل است که در ادامه خلاصه هر یک از فصل بیان می­شود.

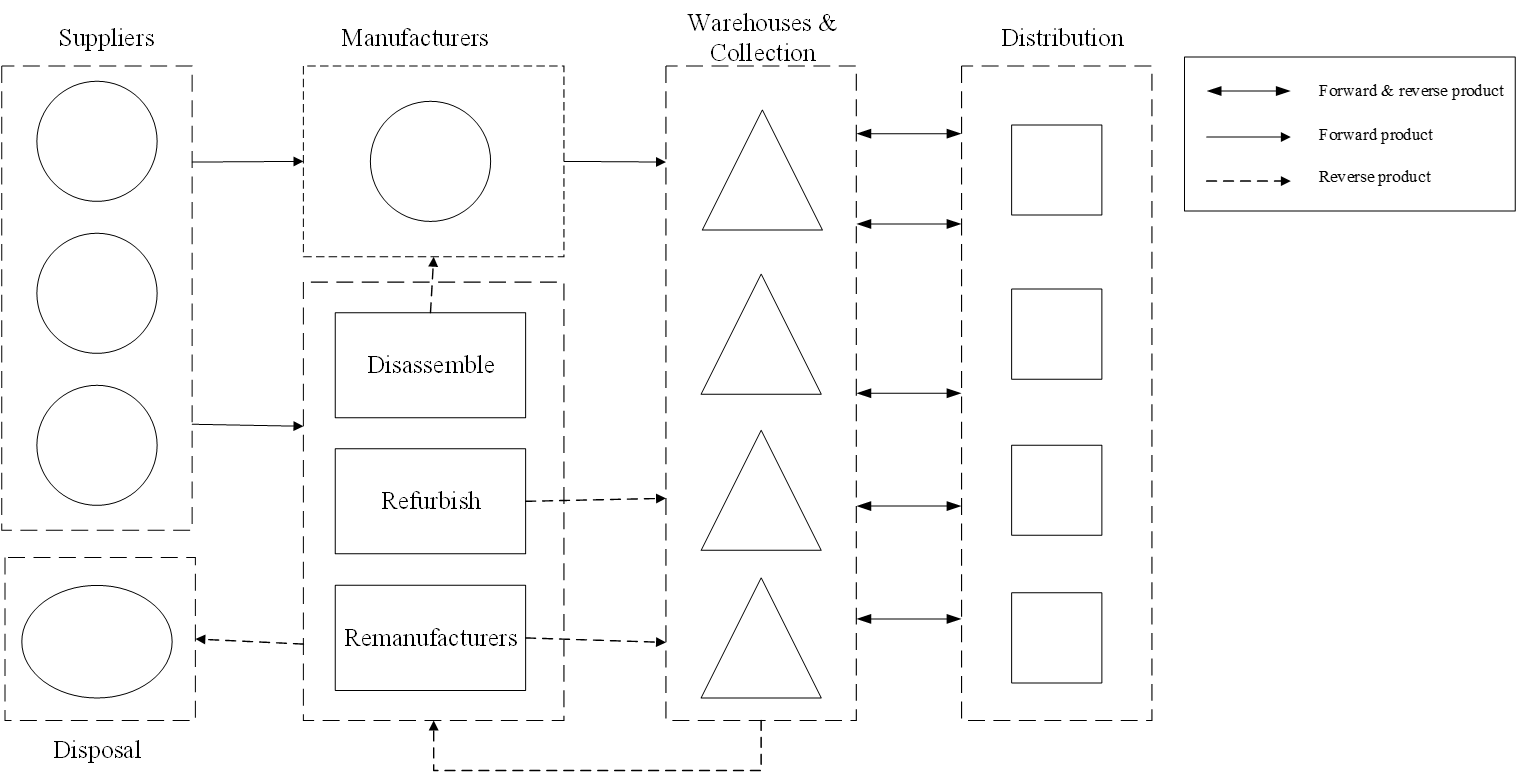
* فصل 1: کلیات

بیان مسئله یکی از بخش­های اصلی هر پژوهشی است مسئله پژوهش حاضر طراحی زنجیره تامین حلقه بسته است که هدف آن مدیریت پایان عمر محصولات الکتریکی و الکترونیکی است در طراحی این زنجیره تامین دو فاکتور پایداری اقتصادی و زیست محیطی در نظر گرفته شده است. با توجه به افزایش نگرانی­های زیست محیطی، بازیافت پسماندها امری ضروری محسوب می­شود.

* فصل 2: مرور ادبیات

در این بخش به مرورادبیات و بررسی پژوهش­های انجام شده پرداخته می­شود در اولین قدم ادبیات حوزه مطالعات مدیریت زنجیره تامین پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی طبقه بندی می­شود سپس شکاف تحقیقاتی تعیین و جایگاه پژوهش حاضر تعیین می­شود.

* فصل 3: مدل روش تحقیق
* فصل 4: روش حل
* فصل 5: نتیجه‌گیری و جمع‌بندی



شکل 2: نمودار جریان مواد در شبکه

# فصل دوم: مرور ادبیات

در این فصل پیشینه پژوهش موردبررسی قرار می‌گیرد. بیان بیشینه 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

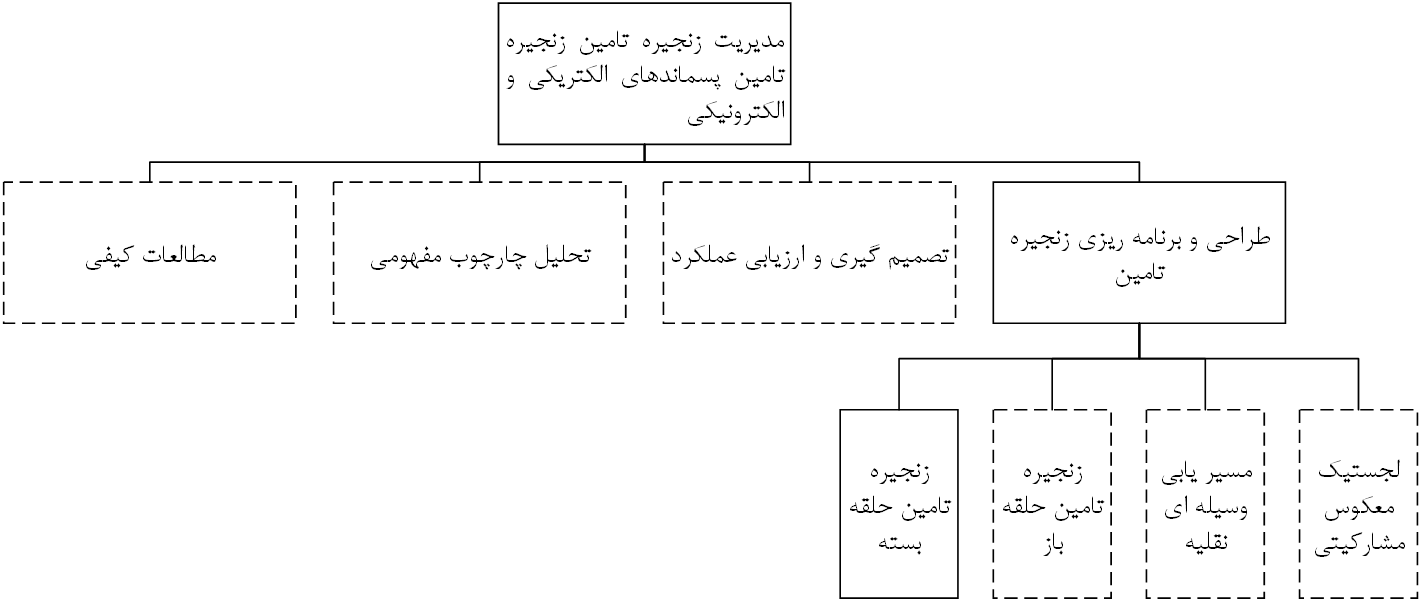
حوزه مطالعاتی مدیریت زنجیره تأمین WEEE را می‌توان به 4 دسته‌ای اصلی، 1- طراحی و برنامه‌ریزی زنجیره تأمین، 2- تصمیم‌گیری و ارزیابی عملکرد، 3- تحلیل چارچوب مفهومی مطالعات و 4- مطالعات کیفی دسته‌بندی کرد[[3](#_ENREF_3)].

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. به‌عنوان‌مثال: 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[[14]](#footnote-14) و همکاران [[13](#_ENREF_13)] برای اجرای کردن دستورالعمل اروپا WEEE ، به ارائه مدل ریاضی MILP[[15]](#footnote-15) برای طراحی شبکه معکوس پرداخته‌اند هدف مدل ریاضی مکان‌یابی مراکز جمع‌آوری و مراکز دسته‌بندی است. همان‌طور که در شکل 3 نیز مشاهده می‌کنید مطالعات این حوزه را می‌توان به 4 دسته‌ای 1- زنجیره تأمین حلقه بسته 2- زنجیره تأمین حلقه باز 3- لجستیک مشارکتی و 4- 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 متمرکزشده است. به‌عنوان نمونه تمور و همکاران [[14](#_ENREF_14)] در مقاله‌ای تحت عنوان "انتخاب مکان تسهیلات در لجستیک معکوس با استفاده روش تصمیم‌گیری فازی نوع 2" به ارائه یک رویکرد چند معیارِ برای انتخاب مناسب‌ترین مکان تسهیلات لجستیک معکوس با استفاده از روش تاپسیس[[16]](#footnote-16) فازی نوع دوم پرداخته‌اند.

در چارچوب مفهومی سیستم مفاهیم، فرضیات، انتظارات، اعتقادات و نظریه‌های پژوهش طراحی می‌شود و همان‌طور که میلز و هوبرمن (1994) 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[[17]](#footnote-17) و همکاران [[15](#_ENREF_15)] 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" [[10](#_ENREF_10)] است که با بررسی 382 مقاله منتشرشده در بازه زمانی 2007 تا 2013 به طبقه‌بندی حوزه‌های تحقیقاتی لجستیک معکوس و زنجیره تأمین حلقه بسته و تشریح آینده تحقیقات پرداخته است.



شکل 3: 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 [[16](#_ENREF_16)] 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[[17](#_ENREF_17)] 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 گرفته‌شده 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 به‌اندازه ظرفیت شبکه و یا بیشتر موجود است).

یکی از بخش‌های که در طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس می‌تواند در نظر گرفت بخش دمونتاژ[[18]](#footnote-18) است در این بخش، پسماندهای بازگشتی دمونتاژ شده و قسمت‌های قابل‌استفاده برای بازسازی ارسال و قسمت‌های غیرقابل استفاده برای دفن می‌شوند. در شبکه زنجیره تأمین معکوس طراحی‌شده توسط کینگ و ژاو[[18](#_ENREF_18)] بخشی تحت عنوان آزمودن در نظر گرفته‌شده است با همان مفهوم دمونتاژ 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 ارئه شده در این مقاله، یک مدل ریاضی تک دوره‌ای و تک‌محصولی است که با رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی استوار، مدل حل‌شده است به‌علاوه هدف مدل بهینه‌سازی جریان شبکه و تعداد آزمایش‌های انجام‌شده در بخش آزمودن است.

میزان محصولات بازسازی‌شده 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 به‌صورت نرخ ثابت در نظر گرفته‌شده است به‌عنوان‌مثال یو و سولوانگ [[19](#_ENREF_19)] در مقاله‌ای تحت عنوان "برنامه‌ریزی تصادفی با رویکرد بهبود معیارهای کلیدی روش مبتنی بر سناریو[[19]](#footnote-19) برای طراحی زنجیره تأمین معکوس پایدار WEEE" به مکان‌یابی مراکز جمع‌آوری و طرح‌های بازسازی و بهینه‌سازی جریان بین تسهیلات پرداخته است. در مدل ارائه‌شده میزان محصولات و مواد بازسازی‌شده از پسماند یک نرخ ثابت است به‌علاوه پارامترهای قیمت محصولات بازسازی‌شده و مواد بازسازی‌شده تصادفی در نظر گرفته‌شده است. آیهزا و همکاران [[20](#_ENREF_20)] 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 جمع‌آوری[[20]](#footnote-20)، مرکز دسته‌بندی[[21]](#footnote-21)، مرکز بازیافت[[22]](#footnote-22)، مرکز پالایش[[23]](#footnote-23)، 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 به‌صورت تصادفی با تابع توزیع یکنواخت بین 0.8 و 0.9 تخمین زده‌شده است علاوه بر این پارامتر، مقدار پسماندها و هزینه حمل‌ونقل نیز به‌صورت تصادفی در نظر گرفته‌شده است.

کیلیک و همکاران [[21](#_ENREF_21)] 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، 4 گروه پسماند لوازم‌خانگی بزرگ، فریزر و خنک‌سازها، تلویزیون و لوازم‌خانگی کوچک در نظر گرفته‌شده است که برای هر یک از 4 گروه پسماند یک نرخ بازیافت[[24]](#footnote-24) مختلف برآورد شده است. در مطالعه موردی مدل ریاضی برای 10 سناریو مختلف درباره میزان جمع‌آوری پسماندها حل‌شده است.

البادرویی و همکاران [[22](#_ENREF_22)] شبکه زنجیره تأمین معکوس E-Waste شامل 7 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 ارائه‌شده تنها بعد اقتصادی مسئله که شامل هزینه حمل‌ونقل، هزینه جمع‌آوری و هزینه راه‌اندازی تسهیلات در نظر گرفته‌شده 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) استفاده‌شده است با توجه به کوچک بودن حجم مسئله، بررسی مزیت استفاده از روش‌های غیردقیق برای حل مدل لازم است چون‌که به نظر می‌رسد که روش‌های دقیق در این مسئله جواب‌گو است.

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 تصویب‌شده است. تاری و آلومور [[23](#_ENREF_23)] در راستای اجری کردن قانون مسئولیت تولیدکننده در ترکیه به پیکربندی شبکه زنجیره تأمین معکوس پرداخته‌اند هدف این مقاله مکان‌یابی مراکز جمع‌آوری در یک شبکه 2 سطحی که شامل مناطق تولید، مراکز جمع‌آوری و شرکت‌ها است. در تابع هدف مدل ارائه‌شده برای پیکربندی شبکه 3 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 [[24](#_ENREF_24)] به ارائه زنجیره تأمین معکوس چند دورهٔ چند محصولِ 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 به‌صورت مودولار[[25]](#footnote-25) در نظر گرفته‌شده است که هر یک از مراکز در ابتدا با یک ظرفیت اولیه راه‌اندازی می‌شوند و در طول دوره برنامه‌ریزی ظرفیت مراکز افزاش می‌یابد. در این پژوهش فرض شده است که کل پسماندهای جمع‌آوری‌شده قابلیت بازسازی رادارند 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.

## زنجیره تأمین حلقه بسته

زنجیره تأمین حلقه بسته[[26]](#footnote-26) (CLSC) اشاره به تلفیق و یکپارچه‌سازی فعالیت‌های زنجیره تأمین پیشرو[[27]](#footnote-27) (تأمین مواد اولیه، تولید، انبار، توزیع و خرده‌فروشی) و زنجیره تأمین معکوس (جمع‌آوری، مرتب‌سازی، بازسازی، استفاده دوباره و ....) دارد.

چین و همکاران [[25](#_ENREF_25)] یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته برای بازیافت کارتریج در چین ارائه داده‌اند در این شبکه 4 شریک تأمین‌کننده، تولیدکننده، انبار و توزیع‌کننده در زنجیره تأمین پیشرو و 4 شریک مناطق مشتریان، مراکز جمع‌آوری، مراکز بازیافت و طرح‌های دفن در زنجیره تأمین معکوس در نظر گرفته‌شده 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 پسمانده‌های با کیفت بد، دمونتاز و بخش قابل‌استفاده در تولید محصولات نو مورداستفاده قرار می‌گیرد و بخشه‌ای غیرقابل استفاده برای دفن ارسال می‌شود. در مدل ریاضی ارائه‌شده برای این شبکه قیمت خرید محصولات باکیفیت‌های مختلف یکسان در بدین ترتیب تولیدکنندگان می‌توانند مواد اولیه موردنیاز خود را از تأمین‌کنندگان مواد اولیه و یا مواد اولیه بازیافت شده تأمین کنند. گرفته‌شده است به‌عنوان‌مثال قیمت خرید کارتریج باکیفیت خوب که قابیلت تعمیر و استفاده دوباره از آن وجود دارد با کارتریج کیفت بد که قابلیت تعمیر و استفاده دوباره از آن وجود ندارد یکسان در نظر گرفته‌شده است همچنین قیمت فروش محصولات بازسازی‌شده و محصولات نو نیز یکسان است. در مدل ریاضی میزان بازگشت محصولات به زنجیره تأمین به‌عنوان پسماند به ازای هر منطقه یک نرخ ثابت تعریف‌شده است. برای بهینه‌سازی مدل تنها بعد اقتصادی مسئله در نظر گرفته‌شده است.

امین و ژانگ[[26](#_ENREF_26)] یک مدل 3 سطحی برای پیکربندی زنجیره تأمین حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت پیشنهاد کرده‌اند. در شبکه طراحی‌شده پسماندهای مازاد بر ظرفیت زنجیره تأمین معکوس شبکه، به کارخانه‌های بازسازی برون سپار می‌شود. در سطح یک مدل پیشنهادی میزان تولید ، میزان بازسازی و میزان برون‌سپاری شبکه تعیین می‌شود برای این کار یک مدل تک دوره‌ای برنامه‌ریزی ریاضی مختلط عدد صحیح غیرخطی (MINLP) ارائه داده‌اند که برای بهینه‌سازی این مدل تنها بعد اقتصادی (هزینه‌های راه‌اندازی، عملیات و درآمدهای حاصل فروش محصولات) لحاظ شده است در هزینه‌ها هزینه خرید پسماندها لحاظ نشده است. در سطح دوم مدل تأمین‌کننده‌ها، کارخانه‌های بازسازی قراردادی و سایت‌های بازسازی ارزیابی می‌شوند برای این کار از مدل گسترش عملکرد کیفیت[[28]](#footnote-28) (QFD) فازی استفاده‌شده است در سطح سوم این مدل مسئله‌ای انتخاب و تخصیص تأمین‌کننده، پیمانکاران بازسازی و سایت‌های بازسازی حل می‌شود. برای این کار یک مدل ریاضی مختلط عدد صحیح خطی (MILP) ارائه‌شده است.

در طراحی و بهینه‌سازی زنجیره تأمین 2 نوع گرایش تصمیم‌گیری متمرکز و غیرمتمرکز وجود دارد که در تصمیم گیر متمرکز فرض بر این است که تمام تصمیمات به‌صورت متمرکز گرفته می‌شود اما در تصمیم‌گیری غیرمتمرکز فرض می‌شود هر یک از بخشه‌ای زنجیره تأمین به‌صورت جداگانه بر اساس اهداف خود تصمیم می‌گیرند کیانگ کیانگ [[27](#_ENREF_27)] به طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته با تصمیمات غیرمتمرکز پرداخته‌اند شبکه ارائه‌شده، یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته 3 سطحی که شامل تأمین‌کننده، تولیدکننده و خرده‌فروشی است که مشتریان محصولات بازگشتی را به خرده‌فروشان می‌فروشند. در مدل ریاضی فرض شده است مشتریان در قبال محصولات جدید و محصولات تولیدشده از مواد اولیه بازیافتی بی‌تفاوت عمل می‌کنند و برای آن‌ها دارای ارزش یکسانی است در مل ارائه‌شده مقدار تقاضا به‌صورت تصادفی در نظر گرفته‌شده است. در مدل ریاضی ارائه‌شده برای بهینه‌سازی میزان تولید تولیدکننده میزان سود تولیدکننده برابر درآمد حاصل از فروش محصولات منهای هزینه‌های تولید و خرید مواد اولیه و پسماندهای و هزینه‌های تولید در نظر گرفته‌شده است بخش از پسماندها قابلیت استفاده رادارند و مابقی پسماندها غیرقابل استفاده هستند تفکیک بخش‌های قابل‌استفاده پسماندها دارای هزینه‌ای است که در مدل ریاضی در نظر گرفته نشده است. مقدار تقاضا به‌صورت تابعی از قیمت محصولات در نظر گرفته‌شده که تابع توزیع مقادیر تقاضا برای قیمت‌ها مختلف تخمین زده‌شده است. برای حل مدل ریاضی مثال عددی بیان‌شده است.

جدول 2: خلاصه مطالعات بررسی‌شده

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| موضوع | سال | مدل | روش حل | مطالعه موردی÷ | ابعاد پایداری | | | چند دوره‌ای | ارزش زمانی پول | محدودیت بودجه | تصادفی | کیفت پسماند |
| Ec[[29]](#footnote-29) | So[[30]](#footnote-30) | En[[31]](#footnote-31) |
| طراحی شبکه معکوس WEEE [[17](#_ENREF_17)] | 2017 | MILP | GA | Iran | + | + | Carbon tax | Static | - | - | - | - |
| طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس برای WEEE تحت عدم قطعیت [[18](#_ENREF_18)] | 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 WEEE [[19](#_ENREF_19)] | 2016 | MILP | Scenario-Based | - | + | - | Carbon offset | Static | - | - | amount of WEEE  price | - |
| طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس تصادفی برای WEEE [[20](#_ENREF_20)] | 2015 | MILP | Sample average approximation | Turkey | + | - | - | Static | - | - | amount WEEE  quality WEEE  transportation costs | - |
| طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس برای WEEE در ترکیه [[21](#_ENREF_21)] | 2015 | MILP | Scenario-Based | Turkey | + | - | - | Static | - | - | - | - |
| بهینه‌سازی زنجیره تأمین e-waste [[22](#_ENREF_22)] | 2015 | MILP | GA | Egypt | + | - | - | Static | - | - | - | - |
| یکپارچه‌سازی زنجیره‌تامین حلقه بسته با مسئله تخصیص و تصمیمات بازیافت محصولات [[25](#_ENREF_25)] | 2015 | IP | GA | Chain | + | - | - | Static | - | - | - | + |
| مدل 3 سطحی برای پیکربندی زنجیره تأمین حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت [[26](#_ENREF_26)] | 2013 | MILP | expect value | - | + | - | - | Static | - | - | demand | - |
| مکان‌یابی مراکز جمع‌آوری در شبکه RL برای WEEE [[23](#_ENREF_23)] | 2104 | MIP |  | Turkey | + | - | - | Multi | - | - | - | - |
| زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن رقابت و سرمایه‌گذاری در کانال‌های توزیع در شرایط عدم قطعیت [[27](#_ENREF_27)] | 2013 | Mathematical modeling |  | - | + | - | - | Static | - | + | Price & demand | - |
| طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس چند دوره‌ای [[24](#_ENREF_24)] | 2012 | MILP |  | Germany | + | - | - | Multi | - | - | - | - |

## بررسی شکاف تحقیقاتی و جایگاه تحقیق

مرور ادبیات مطالعات و پژوهش‌های که در جهت مدیریت پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی انجام‌شده است نشان می‌دهد که فارغ از مدل‌های ریاضی ارائه‌شده و رویکردی که برای حل مدل در نظر گرفته‌شده است، در شبکه طراحی‌شده تسهیلات نوسازی در نظر گرفته نشده است. خلاصه مطالعات بررسی‌شده در جدول 2 نشان داده‌شده است همان‌طور که مشاهده می‌کنید در میان پژوهش‌های انجام‌شده هیچ‌کدام محدودیت بودجه برای سرمایه‌گذاری ثابت را در نظر نگرفته‌اند به‌علاوه تعداد کمی از آن‌ها 3 بعد اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی را به‌صورت هم‌زمان در نظر گرفته‌اند همچنین جای خالی موضوع کیفیت پسمانده و ارزش زمانی پول نیز در میان پژوهش‌ها احساس می‌شود.

جدول 3 خلاصه‌ای تحقیقات انجام‌شده است به کمک این جدول می‌توان شکاف تحقیقاتی را مشخص کرد به‌علاوه تفاوت پژوهش حاضر با پژوهش‌های انجام‌شده 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 انجام‌شده در این حوزه تا به اکنون اکثراً تصمیمات مکان‌یابی و تخصیص و تنها در پژوهش ردیف 11 از تحقیقات تعیین ظرفیت موردبررسی قرارگرفته است در پژوهش حاضر علاوه بر مکان‌یابی و تخصیص، انتخاب تکنولوژی تولید در واحدهای تولیدی و انتخاب وسیله‌های حمل‌ونقل نیز در نظر گرفته‌شده است. ستون چهارم ابعاد پایداری را نشان می‌دهد در اکثر تحقیقات تنها بعد اقتصاد دیده‌شده است به‌جز پژوهش شکوری و همکاران [[17](#_ENREF_17)] که هر سه بعد پایداری در نظر گرفته‌شده است. روش محاسبه بعد زیست‌محیطی، نرخ ثابت مالیات است اما در ایران روشی شبیه به روش پلکانی [[28](#_ENREF_28)] مورداستفاده قرار می‌گیرید که تا سقف حد مجاز بدون مالیات و بیشتر از آن مالیات محاسبه می‌شود. ستون 5 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 گرفته‌اند به‌جز پژوهش کیانگ کیانگ [[27](#_ENREF_27)] که در مدل‌سازی محدودیت هزینه‌ها هر دوره وجود دارد به‌علاوه در میان پژوهش‌ها هیچ‌کدام ارزش زمانی پول در نظر گرفته نشده است.

جدول 3: جدول تحلیل شکاف

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1- ردیف | 2- مرجع | 3- متغیرهای تصمیم | | | | | 4- پایداری | | | 5- ویژگی‌های مدل | | | | | | | | | | | | | | | 6- تسهیلات لجستیک معکوس | | | | | | | 7- مطالعه موردی |
| مکان‌یابی | تخصیص | تعیین ظرفیت | انتخاب تکنولوژی | انتخاب وسیله نقلیه | اقتصادی | زیست‌محیطی | احتماعی | دوره | | پارامتر تصادفی | | | هدف | | تصمیم | | محصول | | بازار | | محدودیت سرمایه | نرخ تنزیل | دسته‌بندی | دمونتاژ | نوسازی (تعمیر) | مراکز جمع‌آوری | پسماندخطرناک | مرکز دفن | بازسازی |
| تک دوره | چند دوره‌ای | قیمت و هزینه | تقاضا | کیفیت پسماند | تک هدف | چند هدف | متمرکز | غیرمتمرکز | تک محصول | چند محصول | تک بازار | چند بازار |
| 1 | [[17](#_ENREF_17)] | ✔ |  |  |  |  | ✔ | ✔ | ✔ | ✔ |  |  |  |  | ✔ |  | ✔ |  |  | ✔ | ✔ |  |  |  | ✔ | ✔ |  |  |  | ✔ |  | ✔ |
| 2 | [[18](#_ENREF_18)] | ✔ | ✔ |  |  |  | ✔ |  |  | ✔ |  |  |  | ✔ | ✔ |  | ✔ |  | ✔ |  | ✔ |  |  |  | ✔ | ✔ |  | ✔ |  | ✔ |  | ✔ |
| 3 | [[19](#_ENREF_19)] | ✔ | ✔ |  |  |  | ✔ | ✔ |  | ✔ |  | ✔ |  |  | ✔ |  | ✔ |  |  | ✔ |  | ✔ |  |  |  | ✔ |  | ✔ | ✔ | ✔ |  |  |
| 4 | [[20](#_ENREF_20)] | ✔ | ✔ |  |  |  | ✔ |  |  | ✔ |  | ✔ | ✔ | ✔ | ✔ |  | ✔ |  |  | ✔ |  | ✔ |  |  | ✔ | ✔ |  | ✔ |  | ✔ |  | ✔ |
| 5 | [[21](#_ENREF_21)] | ✔ | ✔ |  |  |  | ✔ |  |  | ✔ |  |  |  |  | ✔ |  | ✔ |  |  | ✔ | ✔ |  |  |  | ✔ | ✔ |  | ✔ |  |  |  | ✔ |
| 6 | [[22](#_ENREF_22)] | ✔ | ✔ |  |  |  | ✔ |  |  | ✔ |  |  |  |  | ✔ |  | ✔ |  | ✔ |  |  | ✔ |  |  | ✔ | ✔ | ✔ | ✔ |  | ✔ |  | ✔ |
| 7 | [[25](#_ENREF_25)] | ✔ | ✔ |  |  |  | ✔ |  |  | ✔ |  |  |  |  | ✔ |  | ✔ |  | ✔ |  | ✔ |  |  |  |  | ✔ |  | ✔ |  | ✔ |  | ✔ |
| 8 | [[26](#_ENREF_26)] | ✔ | ✔ |  |  |  | ✔ |  |  | ✔ |  |  | ✔ |  | ✔ |  | ✔ |  |  |  | ✔ |  |  |  |  | ✔ | ✔ | ✔ |  | ✔ |  |  |
| 9 | [[23](#_ENREF_23)] | ✔ | ✔ |  |  |  | ✔ |  |  |  | ✔ |  |  |  | ✔ |  | ✔ |  | ✔ |  | ✔ |  |  |  |  |  |  | ✔ |  |  |  | ✔ |
| 10 | [[27](#_ENREF_27)] | ✔ | ✔ |  |  |  | ✔ |  |  | ✔ |  | ✔ | ✔ |  | ✔ |  |  | ✔ |  | ✔ | ✔ |  | ✔\* |  |  |  |  | ✔ |  | ✔ |  |  |
| 11 | [[24](#_ENREF_24)] | ✔ | ✔ | ✔ |  |  | ✔ |  |  |  | ✔ |  |  |  | ✔ |  | ✔ |  |  | ✔ | ✔ |  |  |  | ✔ |  |  | ✔ |  | ✔ |  | ✔ |
| پژوهش | | ✔ | ✔ | ✔ | ✔ | ✔ | ✔ | ✔ |  |  | ✔ |  |  |  | ✔ |  | ✔ |  |  | ✔ | ✔ |  | ✔ | ✔ | ✔ | ✔ | ✔ | ✔ |  | ✔ | ✔ | ✔ |

ستون 6 تسهیلات در نظر گرفته‌شده در شبکه را نشان می‌دهد که در بین پژوهش‌ها هیچ‌کدام بازسازی را در نظر نگرفته‌اند.

بنابراین وجود پژوهشی که به طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته بپردازد و حداقل ابعاد اقتصاد و زیست‌محیطی را در نظر بگیرد و یک برنامه زمانی برای پیاده‌سازی و راه‌اندازی شبکه طراحی‌شده با توجه به محدودیت بودجه ارائه دهد، لازم است. لازم به ذکر است اگرچه پژوهش‌های زیادی در این حوزه انجام‌شده است امّا ادبیات نشان می‌دهد که پژوهش مناسب که مدیریت پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی ایران بپردازد وجود ندارد.

## جمع‌بندی فصل دوم

در این فصل به بررسی ادبیات حوزه مدیریت زنجیره تأمین WEEE پرداخته شد و پژوهش‌ها ازلحاظ کاربرد آن‌ها در دنیای واقعی و میزان واقعی بودن فرضیات و نحوه مدل‌سازی و روش حل آن‌ها موردبررسی قرار گرفتند. در ابتدای فصل به دسته‌بندی پژوهش‌ها حوزه مدیریت زنجیره تأمین WEEE به 4 دسته مختلف پرداخته و جایگاه پژوهش در میان دسته‌بندی‌ها تعیین شد و در ادامه ادبیات مرتبط با پژوهش پیش رو موردبررسی قرار گرفت.

در میان پژوهش‌ها، هیچ‌کدام تصمیماتی غیر از مکان‌یابی و تخصیص را در نظر نگرفته‌اند در دنیایی واقعی مسئله انتخاب نوع وسیله نقلیه یکی از تصمیمات مهم محسوب می‌شود چون‌که وسیله حمل‌ونقل یکی منابع انتشار کربن است و به‌علاوه بخش قابل‌توجه ای از هزینه‌ها در این بخش صرف می‌شود. ظرفیت تسهیلات نیز یکی از تصمیمات مهم در زنجیره تأمین است که در هیچ‌کدام از پژوهش‌ها در نظر گرفته نشده است. در دنیایی واقعی تسهیلات زنجیره تأمین در یک دوره راه‌اندازی نمی‌شوند بلکه در طی چندین دوره زمانی این اتفاق می‌افتد دلیل آن عدم وجود سرمایه لازم برای راه‌اندازی تمام تسهیلات هست که این محدودیت در هیچ‌یک از پژوهش‌ها مدنظر قرار نگرفته‌اند.

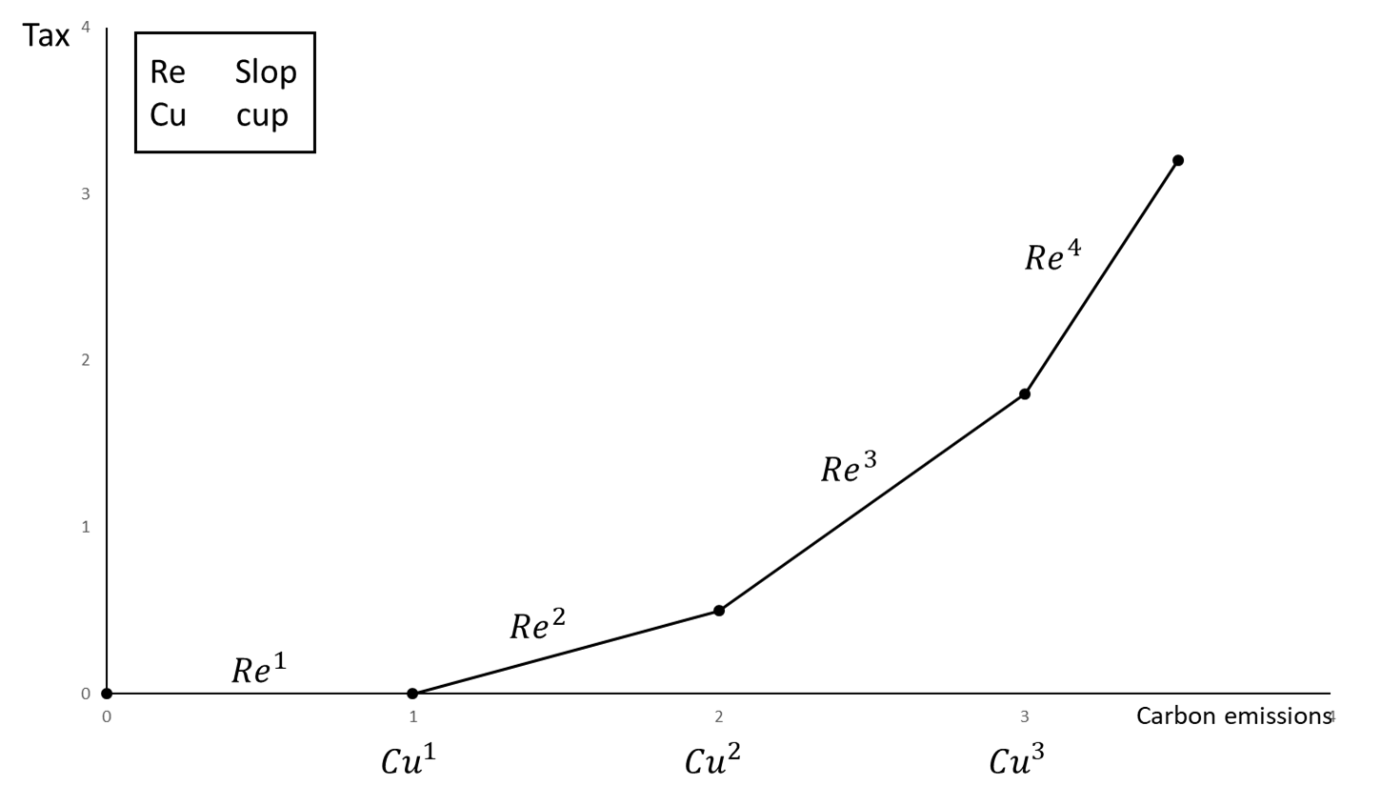
پس از بررسی ادبیات و مقایسه آن‌ها در انتها به بررسی شکاف تحقیقات و جایگاه پژوهش پیش رو در میان آن‌ها پرداخته شد.

# فصل سوم: مدل‌سازی

## 

## نرخ پلکانی مالیات کربن

برای محاسبه مالیات انتشار کربن 4 روش مختلف، 1- مالیات کربن[[32]](#footnote-32) 2- کرین کاپ[[33]](#footnote-33) 3- تجارت و کاپ[[34]](#footnote-34) 4- انحراف کربن[[35]](#footnote-35) وجود دارد [[29](#_ENREF_29)] که پس از بررسی­ها بهترین روش برای محاسبه مالیات کربن روش پلکانی است در این روش برای بازه­های مختلف انتشار نرخ متفاتی انتخاب شده است که به صورت صعودی افزایش می­یابد. که در شکل 4 نمایش داده شده است میزان انتشار تا سقف Cu1 مالیات آن صفر خواهد بود و در بازه Cu1 تا Cu2 مالیات با نرخ Re2 محاسبه خواهد شد.



شکل 4 : 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 هیچ یک از تسهیلات شبکه به جزء انبار موجودی نگهداری نمی‌شود بنابراین میزان خروجی برابر میزان ورودی است.
* زمان عملیات در تسهیلات بازسازی، بازیافت و دمونتاژ یه دوره برنامه ریزی در نظر گرفته شده است به عبارت بهتر میزان خروجی هر یک از این تهسیلات برابر میزان ورودی دوره قبل است.
* نرخ مالیات بر انتشار کربن به‌صورت زیر در نظر گرفته‌شده است:

معادلة 1: نرخ انتشار کربن



* 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 نمی‌شود.

در جدول 4 لیست مجموع‌های مدل ریاضی نشان داده‌شده است:

جدول 4: جدول مجموعه‌ها

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **توضیح** | **نماد** | **#** | **توضیح** | **نماد** | **#** |
| مجموعه ظرفیت‌های انبارها | H(i) | 11 | مجموعه تأمین‌کننده‌ها ، s ϵ S | S | 1 |
| مجموعه ظرفیت‌های مراکز دمونتاژ | H(d) | 12 | مجموعه تولیدکنندگان f ϵ F | F | 2 |
| مجموعه ظرفیت‌های مراکز نوسازی | H(n) | 13 | مجموعه مراکز بازیافت q ϵ Q | Q | 3 |
| مجموعه ظرفیت‌های مراکز بازسازی | H(m) | 14 | مجموعه مراکز دمونتاز d ϵ D | D | 4 |
| مجموعه ظرفیت‌های مراکز بازیافت | H(q) | 15 | مجموعه مراکز نوسازی n ϵ N | N | 5 |
| مجموعه دوره‌های برنامه‌ریزی | T | 16 | مجموعه مراکز بازسازی m ϵ M | M | 6 |
| مجموعه تکنولوژی‌های تولید | O | 17 | مجموعه مراکز انبار | I | 7 |
| مجموعه روش‌های حمل‌ونقل | K | 18 | مجموعه مراکز توزیع | Z | 8 |
| مجموعه پله‌های مالیات انتشار کربن | Ta | 19 | مجموعه مواد اولیه | J | 9 |
| مجموعه محصولات | P | 20 | مجموعه ظرفیت‌های تولید با تکنولوژی o | H(o) | 10 |

جدول 5: لیست پارامترهای مدل

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| توضیح پارامتر | نماد | # | توضیح پارامتر | نماد | # |
| نرخ انتشار کربن وسیله نقلیه K برای حمل محصول |  | 22 | هزینه راه‌اندازی تولیدی با تکنولوژی o و ظرفیت h در دوره t |  | 1 |
| نرخ انتشار کربن وسیله نقلیه کربن برای حمل مواد اولیه j |  | 23 | هزینه راه‌اندازی انبار با ظرفیت h در دوره t |  | 2 |
| تعداد مواد اولیه j در محصول |  | 24 | هزینه راه‌اندازی دمونتاژ با ظرفیت h در دوره t |  | 3 |
| ظرفیت تولید با تکنولوژی o و ظرفیت h |  | 25 | هزینه راه‌اندازی نوسازی با ظرفیت h در دوره t |  | 4 |
| ظرفیت انبار با ظرفیت h |  | 26 | هزینه راه‌اندازی بازسازی با ظرفیت h در دوره t |  | 5 |
| ظرفیت مرکز دمونتاژ با ظرفیت h |  | 27 | هزینه راه‌اندازی بازیافت با ظرفیت h در دوره t |  | 6 |
| ظرفیت مرکز نوسازی با ظرفیت h |  | 28 | فاصله بین تسهیلات e و b |  | 7 |
| ظرفیت مرکز بازسازی با ظرفیت h |  | 29 | هزینه حمل‌ ماده اولیه j با وسیله نقلیه k در دوره t |  | 8 |
| ظرفیت مرکز بازیافت با ظرفیت h |  | 30 | هزینه حمل‌ونقل محصول با نقلیه k در دوره t |  | 9 |
| بودجه راه‌اندازی در دوره t |  | 31 | هزینه تولید محصول در دوره t با تکنولوژی o |  | 10 |
| نرخ تنزیل |  | 32 | هزینه نگهداری محصول در دوره t |  | 11 |
| درصد قطعات نوع j قابل استفاده در پسماندهای کیفیت پایین |  | 33 | هزینه دمونتاژ محصول در دوره t |  | 12 |
| درصدی از قطعات j در پسماندهای کیفیت متوسط که باید تعویض شوند |  | 34 | هزینه نوسازی در دوره t |  | 13 |
| درصد پسماندها باکیفیت بالا |  | 35 | هزینه بازسازی در دوره t |  | 14 |
| درصد پسماندها باکیفیت متوسط |  | 36 | هزینه خرید مواد اولیه j در دوره t از تأمین‌کننده s |  | 15 |
| تقاضای مرکز توزیع z در دوره t |  | 37 | قیمت فروش پسماند j در دوره t |  | 16 |
| یک مقدار خیلی بزرگ |  | 38 | قیمت فروش محصول نهایی در دوره t |  | 17 |
| نرخ مالیات انتشار کربن در پله ta |  | 39 | قیمت خرید پسماندها دارای کیفیت بالا |  | 18 |
| میزان محصولات بازگشتی از مرکز z در دوره t به‌عنوان پسماند |  | 40 | قیمت خرید پسماندها دارای کیفیت متوسط |  | 19 |
| سقف میزان انتشار در پله ta |  | 41 | قیمت خرید پسماندها دارای کیفیت بد |  | 20 |
|  |  |  | نرخ انتشار یک کیلو گرم کربن به ازای تولید محصول با استفاده از تکنولوژیo (کیلو گرم) |  | 21 |

جدول 6: لیست متغیرهای مدل ریاضی

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| # | نماد | توضیح متغیر تصمیم | # | نماد | توضیح متغیر تصمیم |
| 1 |  | 1 راه اندازی انبار i با ظرفیت h در دوره t  0 در غیر این صورت | 10 |  | 1 انتخاب نوع حمل و نقل k برای حمل پسماندها  0 در غیر این صورت |
| 2 |  | 1 راه اندازی تولیدی f با تکنولوژی o و ظرفیت h در دوره t  0 در غیر این صورت | 11 |  | میزان حمل‌ مواد اولیه j از تأمین‌کننده s به تولیدی f در دوره t و وسیله نقلیه k |
| 3 |  | 1 راه اندازی بازیافتی q با ظرفیت h در دوره t  0 در غیر این صورت | 12 |  | میزان حمل‌ونقل محصولات بین تسهیلات در دوره t |
| 4 |  | 1 راه اندازی دمونتاژ d با ظرفیت h در دوره t  0 در غیر این صورت | 13 |  | میزان تولید کارخانه f در دوره t با تکنولوژی o |
| 5 |  | 1 راه اندازی نوسازی n با ظرفیت h در دوره t  0 در غیر این صورت | 14 |  | میزان انتشار در پله ta |
| 6 |  | 1 راه اندازی بازسازی m با ظرفیت h در دوره t  0 در غیر این صورت | 15 |  | موجودی محصولات نو در انبار i در دوره t |
| 7 |  | 1 انتخاب نوع حمل و نقل k برای حمل ماده اولیه  0 در غیر این صورت | 16 |  | موجودی پسماندکیفیت بالا در انبار i در دوره t |
| 8 |  | 1 انتخاب نوع حمل و نقل k برای حمل محصول  0 در غیر این صورت | 17 |  | موجودی پسماندکیفیت متوسط در انبار i در دوره t |
| 9 |  | 1 پر شدن پله ta در دوره t  0 در غیر این صورت | 18 |  | موجودی پسماندکیفیت پایین در انبار i در دوره t |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

مقدار تابع هدف برابر مجموع خالص هزینه‌ها به‌علاوی مجموع مالیات بر انتشار کربن در دوره­های برنامه ریزی است. معادله 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 نشان می‌دهد مجموع هزینه راه‌اندازی برابر مجموع هزینه راه‌اندازی در هر دوره است.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

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

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |



معادله 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 پایین از انبارها به مراکز دمونتاژ، هزینه انتقال پسماندهای کیفیت بالا از انبارها به مراکز نوسازی، هزینه انتقال پسماندهای کیفیت متوسط از انبار ها به مراکز بازسازی، هزینه انتقال محصولات نوسازی شده از مراکز نوسازی به انبار، هزینه انتقال پسماندهای بازسازی‌شده از مراکز بازسازی به انبارها، هزینه انتقال قطعات بازسازی‌شده از مراکز دمونتاژ به تولید و هزینه انتقال مواد اولیه به مراکز بازسازی است.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

معادله هزینه عملیات را نشان می‌دهد که برابر مجموع هزینه‌های تولید، نگهداری در انبار، دمونتاژ، نوسازی، و بازسازی است. هزینه نگهداری در انبارها برابر با حاصل ضرب هزینه نگهداری هر دوره درمجموع محصولات ارسال شده به مراکز توزیع، پسماندهای جمع‌آوری‌شده و موجودی محصولات نو، پسماندهای کیفیت بالا، پسماندهای کیفیت متوسط و پسماندهای کیفیت پایین انبار است.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

معادله 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.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

معادله مجموع سود ناشی از فروش محصولات و پسماندها را نشان می‌دهد. معادله میزان انتشار کربن را نشان می‌دهد که برابر با مجموع انتشار کربن در مراکز تولیدی و حمل‌ونقل است. معادله میزان انتشار کربن در حمل‌ونقل را نشان می‌دهد که برابر نرخ انتشار کربن ضرب در مصافت حمل شده ضرب در تعداد محصول است و معادله میزان انتشار کربن در تولید محصولات را نشان می‌دهد.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

معادله­های - محدودیت­های خطی سازی تابع مالیات انتشار کربن را نشان می­دهد همچنین محدودیت *مجموع مالیات انتشار کربن را نشان می­دهد که با نرخ تنزیل جمع شده اند.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

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

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

محدودیت‌های و تعادل جریان را در واحدهای دمونتاژ را نشان می‌دهد که میزان وردودی در هر دوره برابر میزان خروجی دوره آینده است و به علاوه میزان خروجی دوره اول صفر خواهد بود.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

محدودیت‌های و تعادل جریان در واحدهای نوسازی و بازسازی را نشان می‌دهد که میزان خروجی هر دوره برابر میزان ورودی دوره قبل است. معادله میزان مواد اولیه مورد نیاز مراکز بازسازی را نشان می­دهد.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

محدودیت تعادل جریان محصولات نو در انبارها را نشان می‌دهد که در این معادله مجموع محصولات بازسازی شد، نوسازی شد و محصولات نو به علاوه موجودی انبار در دوره جاری باید برابر مجموع محصولات ارسال شده به مراکز توزیع و موجودی دوره آیند باشد. محدودیت میزان پسماندهای دارای کیفیت بالا که باید برای مراکز نوسازی ارسال شود را نشان می‌دهد که باید میزان پسماند ارسالی به نوسازی به علاوه موجودی در دوره جاری برابر میزان پسماندها باکیفیت بالا به علاوه موجودی پسماندهای کیفیت بالا دوره قبل باشد. محدودیت میزان پسماندهای دارای کیفیت متوسط که برای مراکز بازسازی ارسال شود را نشان می‌دهد. محدودیت میزان پسماندهای دارای کیفیت پایین که باید برای مراکز بازسازی ارسال شود را نشان می‌دهد.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |

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

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |

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

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |

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

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |

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

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |

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

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |

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

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

معادله محدودیت بودجه هزینه راه اندازی را نشان می­دهد که میزان هزینه در هر دوره باید کم تر از مجموعه بودجه دوره جاری و باقی مانده بودجه­ها دوره قبل باشد.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |

*معادله برآورد شدن تقاضا در هرکدام از توزیع‌کننده‌ها را نشان می‌دهد. معادله میزان بازگشت کل پسماندها را نشان می‌دهد.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

*محدودیت‌های - تضمین می‌کند که برای حمل مواد اولیه تنها یکی از روش‌های حمل‌ونقل انتخاب می­شود. محدودیت‌های* - تضمین *می‌کند که تنها یک روش از روش‌های حمل‌ونقل برای حمل محصولات انتخاب می­شود و همچنین محدودیت‌های* - تضمین *می‌کند برا حمل پسماندها به سمت مراکز بازیافت تنهای یکی از روش‌های حمل‌ونقل انتخاب می­شود.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |

محدودیت مقدار تولید هریک از کارخانه­ها را در دوره­های برنامه ریزی تعیین می­کنند و معادله تضمین می­کند که محصولات با تکنولوژی تولید می­شود که راه­اندازی شد است.

# منابع و مراجع

[1] ج. ح. رضا, د. مرتضی, and هدایتی،امیر, *مدیریت پسماندهای الکتریکی و الکترونیکی مبانی، سیستم ها، سایت ها*. انتشارات دانشگاه تهران, 1392.

[2] 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.

[3] 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.

[4] 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.

[5] D. M. Lambert, J. R. Stock, and L. M. Ellram, *Fundamentals of logistics management*. McGraw-Hill/Irwin, 1998.

[6] M. Christopher, *Logistics and supply chain management: creating value-adding networks*. Pearson education, 2005.

[7] J. R. Stock, *Reverse logistics: White paper*. Council of Logistics Management, 1992.

[8] R. Tibben-Lembke and D. Rogers, "Going backwards: reverse logistics trends and practices," *Reverse Logistics Executive Council,* 1998.

[9] 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.

[10] 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.

[11] C. J. Cleveland and C. G. Morris, *Dictionary of energy*. Elsevier, 2005.

[12] J. Shogren, *Encyclopedia of energy, natural resource, and environmental economics*. Newnes, 2013.

[13] 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. 1645-1660, 2011.

[14] 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.

[15] V. Ghisolfi, G. d. L. D. 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.

[16] J. Stock, "Reverse logistics, white paper, council of logistics management," *IL: Oak Brook,* 1992.

[17] S. Shokouhyar and A. Aalirezaei, "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.

[18] 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.

[19] 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.

[20] 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.

[21] 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.

[22] 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.

[23] 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.

[24] 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.

[25] 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.

[26] 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.

[27] 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.

[28] "ایین نامه اجرایی بند ج ماده 104 قانون برنامه توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران," in *1473/319-5328/105*, ed. ایران, 1397.

[29] 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.

1. Carbon Dioxide Information Analysis Center [↑](#footnote-ref-1)
2. PPM [↑](#footnote-ref-2)
3. Waste Electrical & Electronic Equipment [↑](#footnote-ref-3)
4. Closed-loop supply chain [↑](#footnote-ref-4)
5. World Commission on Environment and Development [↑](#footnote-ref-5)
6. Our Common Future [↑](#footnote-ref-6)
7. Reuse [↑](#footnote-ref-7)
8. Remanufacture [↑](#footnote-ref-8)
9. Material Recycling [↑](#footnote-ref-9)
10. Landfill [↑](#footnote-ref-10)
11. Carbon Footprint [↑](#footnote-ref-11)
12. Internalizing Externalities [↑](#footnote-ref-12)
13. Pigouvian Tax [↑](#footnote-ref-13)
14. MI Gomes [↑](#footnote-ref-14)
15. Mixed integer linear programming [↑](#footnote-ref-15)
16. TOPSIS [↑](#footnote-ref-16)
17. Verônica Ghisolfi [↑](#footnote-ref-17)
18. dis assembly [↑](#footnote-ref-18)
19. Scenario-Based [↑](#footnote-ref-19)
20. collecting centers [↑](#footnote-ref-20)
21. sorting centers [↑](#footnote-ref-21)
22. recycling centers [↑](#footnote-ref-22)
23. refinery centers [↑](#footnote-ref-23)
24. Recovery [↑](#footnote-ref-24)
25. modular [↑](#footnote-ref-25)
26. Closed loop supply chain [↑](#footnote-ref-26)
27. forward logistics [↑](#footnote-ref-27)
28. Quality function deployment [↑](#footnote-ref-28)
29. Economic [↑](#footnote-ref-29)
30. Social [↑](#footnote-ref-30)
31. environment [↑](#footnote-ref-31)
32. Carbon tax [↑](#footnote-ref-32)
33. Carbon CAP (Consumption-based Accounting and Policy) [↑](#footnote-ref-33)
34. Cap and trade [↑](#footnote-ref-34)
35. Carbon offset [↑](#footnote-ref-35)