International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2015)

June2015, Volume 26, Number 2
pp.157 -169

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

AN INTEGRATED FORWARD AND REVERSE SUPPLY CHAIN TO DETERMINE FACILITIES LOCATION AND TRANSPORTATION POLICIES

Alireza Rashidi Komijan*, Mohammad Reza Lotfi & Seyed Mojtaba Taghavi

***Alireza Rashidi Komijan**, Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Firoozkooh Branch, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran*
***Mohammad Reza Lotfi**, Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Firoozkooh Branch, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran*
***Seyed Mojtaba Taghavi**, M.Sc., Department of Industrial Engineering, Firoozkooh Branch, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran*

Keywords

**Facility Location,
Reverse logistics,
Closed loop logistics,
Supply chain,
Mixed integer programming,
location**

ABSTRACT

In recent years, designing a green supply chain network has become a key strategy and integrated logistics (including forward and reverse supply chain) is one way to achieve it. Transportation is also another essential part of a supply chain. As a result, planning of facilities in a logistics network considering transportation policies is a main topic in designing supply chain. In this paper an integer programming model is developed for an integrated multi-echelon, multi-product supply chain considering transportation policies (different vehicles with different capacity). Forward logistics includes suppliers, producers, distributions and customers) and reverse logistics includes collection and recycle centers. Solving model leads to determination of location and numbers of suppliers, producers, distributors, collection centers recycle centers as well as the amount of parts and products transported in the supply chain. The objective function is cost minimization (fixed, purchasing and transportation cost). For model validity, a numerical example is considered and solved using GAMS.

©2015 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 26, No. 2, All Rights Reserved

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــــریت تولیـــد

شمـــاره ۲، جلـــد ۲۶، تابستان۱۳۹۴

صفحـــــه ۱۶۹-۱۵۸

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

ارائه مدل یکپارچه زنجیره تامین پیشرو - معکوس با توجه به مکانیابی تسهیلات و تعیین سیاست‌های حمل‌ونقل بطور همزمان

علیرضا رشیدی کمیجان*، محمدرضا لطفی و سید مجتبی تقوی

کلمات کلیدی

لجستیک معکوس، لجستیک حلقه بسته، شبکه زنجیره تامین، مدل برنامه‌ریزی خطی عدد-صحیح مختلط، مکانیابی

چکیده:

در سال‌های اخیر ایجاد شبکه زنجیره تامین سبز به یک استراتژی کلیدی تبدیل شده که لجستیک یکپارچه (شامل زنجیره تامین پیشرو و معکوس) یکی از راه‌های دستیابی به آن میباشد. فرایندهای حمل‌ونقل نیز از بخش‌های ضروری زنجیره تامین محسوب می‌شود. بنابراین برنامه ریزی تسهیلات موجود در شبکه لجستیک با در نظر گرفتن سیاست‌های حمل‌ونقل یکی از موضوعات قابل توجه در طراحی شبکه لجستیک است. در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح برای شبکه لجستیک یکپارچه،شامل لجستیک پیشرو (تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و مشتریان) و لجستیک معکوس (مراکز جمع‌آوری، مراکزبازفرآوری و مرکزدفع) با درنظر گرفتن سیاست‌های حمل‌ونقل (وسائط نقلیه مختلف با ظرفیت‌های متفاوت) و شبکه حلقه بسته چند سطحی و چند محصولی ارائه می‌گردد. از جمله خروجی‌های مدل می توان به تعداد و تعیین مکان احداث تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان، مراکز توزیع، مراکز جمع‌آوری و بازفرآوری و نیز میزان کالا و قطعه‌ای که بین سطوح مختلف زنجیره، توسط وسائط نقلیه متفاوت جابجا می‌شود اشاره کرد. هدف مدل پیشنهادی حداقل کردن هزینه‌های ثابت احداث تسهیلات و همچنین هزینه‌های متغیر خرید و حمل‌ونقل وابسته به آنهاست. برای اعتبارسنجی مدل مفروض و اجزا آن یک مثال عددی با نرم افزار GAMS حل می‌شود.

۱. مقدمه

مدیریت زنجیره تامین، مجموعه‌ای از روشهای مورد استفاده برای یکپارچگی موثر و کارای تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و فروشندگان؛ به منظور حداقل کردن هزینه‌های سیستم و تحقق نیازمندیهای خدمات می‌باشد، بطوریکه کالاها به مقدارصحیح در مکان مناسب و در زمان مطلوب تولید و توزیع گردند [۱].

دو نوع زنجیره تامین اساسی در هر سیستم توزیع وجود داردکه شامل زنجیره پیشرو[۱] و زنجیره تامین معکوس[۲] می‌باشد.

استراتژی زنجیره پیشرو عبارتست از توزیع محصولات از کارخانه تولیدی به محل مشتری که می‌تواند شامل تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان، عمده فروشان، خرده فروشان و مصرف کنندگان باشد.

استراتژی لجستیک معکوس، تعمیر، بازیافت و یا ساخت دوباره محصول یا اجزا محصولات مستعمل و بازگرداندن آنها به زنجیره تولیدی است. لجستیک معکوس چهار اصل اساسی کاهش[۳]، جانشینی[۴]، استفاده مجدد[۵]و بازیافت[۶] را مورد بررسی قرار می‌دهد [۲].

محققان اروپایی تعریف زیر را از لجستیک معکوس[۷] ارائه کرده‌اند: «لجستیک معکوس فرایند برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل جریان‌های مربوط به مواداولیه، موجودی در جریان ساخت و محصولات نهایی می باشد، که در این راستا محصولات نهایی از سوی تولیدکنندگان، توزیع کنندگان یا مصرف‌کنندگان به جایگاه‌های بازیافت یا انهدام مناسب انتقال می‌یابند»[۳].فرآیند اصلی لجستیک معکوس عبارت

تاریخ وصول: ۹۱/۷/۲۱

تاریخ تصویب: ۹۲/۷/۲

سید مجتبی تقوی: دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فیروزکوه

محمدرضا لطفی: استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فیروزکوه

*__نویسنده مسئول مقاله:علیرضا رشیدی کمیجان__،استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فیروزکوه rashidi@azad.ac.ir

است از: (۱) جمع آوری، (۲) بازرسی، انتخاب و مرتب‌سازی، (۳) بازفرآوری[۸](تعمیر، دمونتاژ، بازیافت و انهدام) و (۴) توزیع مجدد.
در فرآیند لجستیک معکوس محصولات بازگشتی در مراکز جمع‌آوری انباشته می‌گردد، پس از بازرسی درصورتیکه محصول قابل تعمیر باشد پس از انجام اصلاحات، مجدداً به زنجیره عرضه وارد می‌گردد، اگر محصول قابل استفاده نبوده اما قطعاتی از آن قابل استفاده باشد دمونتاژ شده و قطعات قابل‌استفاده دوباره به زنجیره عرضه باز می گردند، اگر محصول و قطعات غیر قابل استفاده باشند بازیافت شده و بعنوان مواد اولیه به زنجیره عرضه وارد می‌گردند و اگر کالا قابل تعمیر و قابل بازیافت نباشد بصورت ایمن انهدام می‌گردد که از جمله روش های انهدام می توان به دفن و سوزاندن اشاره کرد.
طراحی شبکه لجستیک یکی از مهمترین تصمیمات استراتژیک در مدیریت زنجیره تامین می‌باشد. بطور کلی طراحی شبکه، شامل تعیین مکان، ظرفیت وتخصیص تسهیلات به منابع و بازارهای مختلف می باشد که تمامی این موضوعات تاثیر بسزایی بر انعطاف‌پذیری، کارایی و در نتیجه عملکرد زنجیره تامین دارند.
بدلیل اینکه احداث تسهیلات یا بستن آنها هزینه‌بر و وقت‌گیر است، اعمال تغییر طراحی شبکه در کوتاه مدت ممکن نیست. چون تصمیمات عملیاتی و تاکتیکی وابسته به تصمیمات استراتژیک می‌باشد طراحی ترکیب لجستیک برای تصمیمات سطوح عملیاتی و تاکتیکی نقش محدودیت را بازی می‌کند[۴].
از دیگر ویژگی‌هایی که شبکه‌های لجستیک معکوس را از زنجیره تامین سنتی متمایز می‌سازد عبارت است از: (۱) سیستم‌های لجستیک سنتی که برای جابجایی محصولات در کانال‌های معکوس، طراحی نشده‌اند (۲) هزینه‌های لجستیک معکوس نسبت به لجستیک مستقیم بیشتر می‌باشد (۳)کالاهای برگشتی اغلب نمی‌توانند در روش‌های یکسان با شبکه زنجیره مستقیم، حمل‌ونقل یا ذخیره شوند.
لجستیک معکوس یک سیستم حلقه بسته بین بازار کالای مصرف شده و بازار فروش محصولات احیا شده است، لذا ساختاری متفاوت با زنجیره‌های تامین سنتی حلقه باز دارد.
در ضمن در این ساختار یک ارتباط چند به چند وجود دارد، در حالیکه در سیستم‌های لجستیک مستقیم با ارتباطات یک به چند واگرا مواجه هستیم. موضوع مهم دیگر در لجستیک معکوس ایجاد هم‌افزایی بین جریان‌های مختلف محصولات است؛ بعنوان مثال یکپارچه‌سازی جمع‌آوری و توزیع می‌تواند مانع خالی برگشتن وسایل حمل‌ونقل شود. بطورکلی یکپارچه سازی جریان مستقیم و معکوس موجب کاهش هزینه‌های بالاسری و سرجمع هزینه‌ها می‌شود[۵].
تعداد اندکی از مقالات در سال‌های اخیر به ارائه مدل‌های یکپارچه زنجیره تامین پیشرو - معکوس پرداخته‌اند. از آنجا که طراحی مجزای لجستیک پیشرو و معکوس منجر به حصول جوابهای غیر بهینه می‌گردد، طراحی شبکه لجستیک باید بطور یکپارچه انجام گیرد. با این کار منابعی از قبیل حمل‌ونقل و ظرفیت‌های انبار به اشتراک گذاشته می‌شوند و باعث صرفه جویی در شبکه می‌گردند. مفهوم زنجیره تامین حلقه بسته در حال حاضر به طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است که نتیجه آن عبارت است ازاینکه، هر دو زنجیره تامین پیشرو[۹] و پسرو[۱۰] باید به طور مشترک اداره شوند. ساختار هر دو شبکه‌های زنجیره تامین پیشرو و پسرو بر عملکرد یکدیگر تاثیر دارند.
بنابراین، برای جلوگیری از نتایج زیر-بهینه[۱۱]ناشی از طراحی جدا، طراحی شبکه‌های پیشرو و پسرو باید یکپارچه باشند. این نوع یکپارچه‌سازی شبکه لجستیک پیشرو و معکوس را «یکپارچه‌سازی افقی» می‌نامند که شامل یکپارچه‌سازی مسایل بهینه‌سازی مرتبط در همان سطح تصمیم (استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی) است [۵-۷].
در مسایل طراحی شبکه در دنیای واقعی اهداف متنوعی وجود دارد. غالباً هدف کمینه سازی هزینه کل در طراحی شبکه لجستیک مستقیم و معکوس بیشترین کاربرد را دارد.
تحقیقات گذشته در زمینه طراحی شبکه لجستیک پیشرو - معکوس غالباً خود را تنها با در نظر گرفتن سطح ظرفیت هر تسهیل محدود می‌کند و به مواردی مانند جریان ظرفیت محدود از طریق وسائط حمل‌ونقل مختلف توجه نشده است. اما در این تحقیق شبکه یکپارچه پیشرو-معکوس چند سطحی چند محصولی همراه با مکانیابی تسهیلات و تعیین سیاست‌های حمل‌ونقل بطور همزمان در نظر گرفته شده است. بطوریکه در بخش‌هایی از شبکه، جریان محصول و در بخش‌هایی، جریان مواد اولیه و قطعات وجود دارد. در ادامه، یک مدل ریاضی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح با هدف کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های استقرار تسهیلات و حمل و نقل ارائه شده است.
با مدلسازی فوق می توان به سوالات زیر پاسخ داد:

۱. تامین‌کنندگان، کارخانجات،مراکزتوزیع،مراکزجمع‌آوری و مراکزبازفرآوری کجا مستقر گردند؟
۲. چه تعداد تامین‌کننده، کارخانه، مرکزتوزیع، مرکزجمع‌آوری و مراکز بازفرآوری مورد نیاز است؟
۳. جریان مناسب توزیع بین تامین‌کنندگان و کارخانجات، کارخانجات و مراکزتوزیع، مراکزتوزیع و مشتریان، مشتریان و مراکزجمع‌آوری، مراکزجمع‌آوری و مراکز بازفرآوری، مراکزبازفرآوری با کارخانجات و واحد دفع چیست؟
۴. مسیر مناسب وسائط نقلیه با ظرفیت‌های متفاوت بین تسهیلات مختلف چگونه می‌باشد؟

در ادامه در بخش دوم به بررسی ادبیات موضوع و در بخش سوم به تعریف مساله و ارائه مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح پرداخته

شده است. در بخش چهارم یک مثال عددی مطرح و با نرم افزار GAMS حل می‌شود ودر نهایت بخش پنجم به بیان نتیجه‌گیری می پردازد.

۲.مروری بر ادبیات موضوع

دولتشاهی ادبیات لجستیک معکوسرا در ۵ دسته طبقه‌بندی کرده است [۸]:

(۱) پژوهش در زمینه مفاهیم پایه لجستیک معکوس

(۲) مطالعات در زمینه موضوعات لجستیکی

(۳) پژوهش در زمینه خصوصیات شرکت‌ها

(۴) مطالعات در زمینه کاربردهایلجستیک معکوس

(۵) پژوهش در زمینه رویکردهای کمّی.

دولارت و همکاران یک مرور کلی در مدل‌های طراحی زنجیره تامین مستقیم (سیستم تولید و توزیع) انجام دادند. آنها مدل‌های فوق را بصورت مکانیابی تسهیلات تک سطحی و چند سطحی طبقه‌بندی کردند. در واقع آنها، اجزا بکارگرفته شده در طراحی لجستیک مستقیم از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۷ را شناسایی کردند [۹].

ملو و همکاران بررسی جامعی از مدل‌های مکانیابی تسهیلات و طراحی شبکه‌های زنجیره تامین انجام دادند. آنها اجزای اصلی مدل‌های تصمیم‌گیری استراتژیک در حوزه برنامه‌ریزی زنجیره تامین خصوصاً لجستیک معکوس را شناسایی کردند. در آخر یک لیست از نیازهای تحقیقاتی آینده در حوزه‌های مرتبط شناسایی گردید [۱۰].

در این مقاله یک مرور کلی از مسایل طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته (یکپارچه) بیان می‌کنیم. خلاصه‌ای از تحقیقات پیشین در حوزه طراحی زنجیره تامین یکپارچه در جدول۲ نمایش داده شده است. بررسی‌های صورت گرفته از مدل‌های کمی مدیریت لجستیک نشان می‌دهد مدل‌های رایج مورد استفاده در طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته، مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلطمی‌باشد. هدف مشترک این مدل‌ها تعیین حداقل هزینه طراحی سیستم است که معمولا شامل موازنه میان هزینه‌های ثابت احداث تسهیلات و هزینه‌های متغیر خرید و حمل‌ونقل می‌باشد. دامنه مدل‌ها مطابق جدول ۲، از مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات بدون در نظر گرفتن ظرفیت و با لحاظ کردن تنها یک محصول[۵] تا مدل‌های پیچیده چندمحصوله و دارای ظرفیت [۱۱]، متغیر است. معمولاً هدف این دسته مدل‌ها کمینه‌سازی هزینه یا بیشینه-سازی سود طراحی می‌باشد.

فیلیشمنو همکاران یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای طراحی شبکه‌های لجستیک حلقه بسته ارائه کردند. مدل آنها بصورت تک محصولی و بدون محدودیت ظرفیت تسهیلات بود که جریان پیشرو و معکوس را بطور همزمان مورد بررسی قرار می-داد[۵].

سالما و همکاران، مدل فیلیشمنو همکاران [۵] را توسعه دادند و یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای طراحی شبکه های لجستیک حلقه بسته ارائه کردند. مدل آنها چند محصولی با ظرفیت محدود تسهیلات و همراه با پارامترهای تصادفی بود و مکانیابی تسهیلات از قبیل کارخانه‌ها، انبارها و واحدهای دمونتاژ در آن صورت می‌گرفت [۱۲].

یوستر و همکاران یک شبکه زنجیره عرضه چند محصولی حلقه بسته که در آن شبکه لجستیک مستقیم موجود فرض شده و تنها مراکز جمع‌آوری و احیا تعیین مکان می‌شوند را طراحی کردند. این مدل جریان مستقیم و معکوس را به طور همزمان بهینه سازی می کند. همچنین آنها یک راه حل دقیق مبتنی بر تکنیک تجزیه Benders ارائه کردند [۱۳].

لیستس یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی برای طراحی یکپارچه شبکه زنجیره تامین مستقیم-معکوس پیشنهاد کرد. از ویژگی‌های این مدل امکان اعمال سناریوهای مختلف برای پارمترهای تقاضا و میزان برگشتی‌ها می‌باشد. برای حل مدل نیز روش تجزیه در نمونه‌های با اندازه بزرگ بر اساس روش شاخه و برش ارائه شد [۱۴].

کو وایوانز شبکه‌ای با فراهم‌کنندگان خدمات لجستیک طرف سوم[۱۲] در نظر گرفتند. آنها یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط برای طراحی همزمان شبکه مستقیم و معکوس ارائه کردند. در این مقاله از تسهیلات ترکیبی استفاده شده است. آنها از الگوریتم ژنتیک هیورستیک برای حل مدل فوق استفاده کردند [۱۵].

لی و دونگ یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای طراحی شبکه لجستیک یکپارچه برای کامپیوترهای مستعمل ارائه کردند. آنها شبکه ساده‌ای با یک مرکز تولید و تعداد مشخصی تسهیلات ترکیبی توزیع- جمع‌آوری که بایستی باز گردد، طراحی کردند. مدل فوق به دلیل پیچیدگی‌های زیاد با استفاده از یک روش ابتکاری آمیخته با روش فراابتکاری tabu search حل شده است. از ضعف‌های این مقاله می‌توان به فرض‌های ساده‌سازی مانند مشخص بودن تعداد تسهیلات ترکیبی، استفاده از یک کارخانه و توجه صرف به فرایند احیا از اجزا لجستیک معکوس اشاره کرد [۱۶].

مینو کو یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط ارائه کردند. مدل آنها چندپریوده، چندمحصولی برای طراحی شبکه لجستیک حلقه بسته، جهت فراهم‌کنندگان خدمات لجستیک طرف سوم می‌باشد. به اینصورت که محصولات بازگشتی از خرده-فروشان یا مشتریان نهایی، برای توزیع مجدد، بازرسی، تعمیر و بازسازی می‌شوند لذا در این راستا مکانیابی تسهیلات تعمیر و انبارها توسط مدل صورت می‌گیرد. برای حل مدل نیز از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است [۱۱].

لو و بوستل یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط دو سطحی با در نظر گرفتن لجستیک مستقیم و معکوس و تسهیلاتی مانند مراکز تولید-تعمیر و مراکز جمع‌آوری پیشنهاد کردند، و یک الگوریتم حل بصورت لاگرانژین هیورستیک برای مدل ایجاد کردند [۱۷].

پیشوایی و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط دو هدفه جهت به حداکثر رساندن معیار پاسخ‌دهی شبکه به تقاضای مشتریان و به حداقل رساندن هزینه‌های کل در شبکه‌های زنجیره عرضه حلقه بسته ارائه کردند. مدل آنها شامل هر دو جریان مستقیم و معکوس می‌باشد که به مکانیابی مراکز ترکیبی تولید-احیا، مراکز توزیع، مراکز جمع‌آوری-بازرسی و مراکز انهدام می‌پردازد. برای حل مدل پیشنهادی، یک الگوریتم ممتیک توسعه یافته پیشنهاد کردند [۱۸].

وانگ و هسو یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط، تک محصولی با هدف حداقل کردن هزینه‌های تاسیس مراکز تسهیلات (مراکز تولید، توزیع و بازیافت) و هزینه متغیر حمل‌ونقل در شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ارائه کردند. مدل فوق شامل محدودیت‌های ظرفیت تسهیلات و محدودیت‌های تعادلی بین تسهیلات است[۱۹].

کانان و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی خطی، چند پریوده و چند محصولی با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های خرید، حمل‌ونقل و نگهداری موجودی ارائه کردند. این تحقیق در خصوص شبکه بازیافت باتری انجام گرفت. محدودیت‌های این مدل شامل ظرفیت تسهیلات، زمان در دسترس کارخانه‌ها و محدودیت‌های تعادلی بین تسهیلات می‌باشد. برای حل مدل نیز از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است [۲۰].

پیشوایی و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی خطیعدد صحیح مختلط استوار[۱۳] ارائه کردند. هدف مدل آنها کمینه سازی هزینه بازکردن تسهیلات، هزینه حمل‌ونقل و هزینه جریمه برآورده نشدن تقاضای مشتریان در شرایط عدم اطمینان بود. شبکه لجستیک آنها حلقه بسته و شامل محدودیت‌های جریان ظرفیت تسهیلات و محدویت تعادلی بین تسهیلات می‌باشد[۲۱].

پاکسوی و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی خطی با هدف کمینه کردن هزینه حمل، هزینه تشعشع co_2و هزینه خرید محصولات و حداکثر کردن منفعت بدست آمده از بازیابی محصولات در شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ارائه کردند. مدل آنها شامل محدودیت‌های ظرفیت تسهیلات، ظرفیت میزان حمل در هر مسیر، ظرفیت‌های تعادلی بین تسهیلات و تامین تقاضای مشتریان می‌باشد [۲۲].

در خصوص روش حل مدل‌های فوق باید گفت از آنجا که عمده مسایل طراحی شبکه لجستیک بصورت NP-hardدسته بندی می‌شوند، لذا بسیاری از روشهای هیورستیک، متاهیورستیک و روش لاگرانژینبرای حل این مدل‌ها نیز بوجود آمده است.

ساختار مدل‌های طراحی شبکه لجستیک به ۵ دسته تقسیم بندی می‌گردند که شامل، اجزا شبکه لجستیک، ویژگی‌های مساله، مدلسازی، خروجی و اهداف هستند [۱۸]. اجزا هر یک از دسته‌بندی‌های فوق در جدول ۱ ، به تفکیک آمده است. در واقع سیستم کدینگ مبتنی بر جدول ۱ ارائه گردید و مدل‌های موجود در ادبیات لجستیک یکپارچه در دهه گذشته مطابق جدول ۲ کدبندی گردید. همچنین ویژگی‌های این مطالعه، در سطر آخر جدول۲ آمده است.

جدول ۱. سیستم کدینگ مدل‌های طراحی شبکه لجستیک

اجزا شبکه لجستیک					
اجزا لجستیک پیشرو					
تامین‌کنندگان	y	مراکز تولید	P	مراکز توزیع	D
اجزا لجستیک معکوس					
مراکز توزیع مجدد				Rd	
مراکز جمع آوری/ بازرسی				CI	
مراکز بازیافت				RY	
مراکز دمونتاژ/مرتب سازی				b	
مراکز بازیابی/ترمیم				RC	
مراکز دفع				DC	
ویژگی های مساله					
پریود			محصول		
تک پریود	S		تک محصول		g
چند پریود	M		چند محصول		t

تعداد تسهیلات که باز می شود		جریان ظرفیت	
نامعین	N	محدود	F
معین	X	نامحدود	U
تقاضا		ظرفیت تسهیلات	
قطعی	D	نامحدود	UC
تصادفی	S	محدود	Ca
خروجی			
موجودی	I		
میزان تقاضا	DS		
میزان حمل و نقل	T		
ظرفیت تسهیل	FC		
مکانیابی تخصیص	L		
مدلسازی			
گسسته			
برنامه‌ریزی خطی مختلط تصادفی	SL		
برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط	NL		
برنامه‌ریزی خطی	LP		
برنامه‌ریزی خطی مختلط	MP		
برنامه‌ریزی خطی مختلط استوار	R		
هدف			
مینیمم هزینه /ماکزیمم سود	C		
سایر	o		

جدول ۲.بررسی ادبیات لجستیک یکپارچه

مراجع مقالات	اجزا شبکه لجستیک										ویژگی های مساله											خروجی				مدل						هدف		
	پیشرو			معکوس							پریود		تعداد تسهیلات که	باز می شوند	محصول		جریان ظرفیت		تقاضا		ظرفیت تسهیلات		وسائط تقلیه											
	Y	P	D	Rd	CI	b	RY	RC	DC	M	S	n	x	i	t	U	a	D	S	UC	Ca	V	I	DS	T	FC	L	SL	NL	LP	MP	R	o	C
Fleischmann et al. (2001)[5]		×	×			×			√		√	√		√		√		√		√				√	√		√				√			√
Lu , Bostel (2007)[17]		×			×			×	√		√	√		√		√		√		√					√		√				√			√
Salema et al.(2006)[23]		×	×		×			×			√	√		√		√		√			√			√	√		√				√			√
Ko , Evans (2007)[15]		√	×					×		√		√			√	√		√			√				√		√		√					√
Salema et al.(2007)[12]		×	×			×			√		√	√			√	√			√		√			√	√		√	√						√
Min , Ko (2008)[11]		√	×					×		√		√			√	√		√			√				√		√		√					√
Lee , Dong (2008)[16]		×	×		×						√		√	√			√	√			√				√		√				√			√
Wang, Hsu (2010)[20]	√	×	×				×		√		√	√		√		√		√			√				√		√				√			√

Pishvaee et al.(2010)[18]		×	×		×			×	×		√	√		√		√		√			√			√	√	√	√				√	√
Kannan et al. (2010)[20]	√	√	√		√	√		√	√	√		-	-		√	√		√		√			√	√				√				√
Pishvaee et al.(2011)[21]				×	×			×	√		√	√		√			√		√	√				√		√				√		√
Paksoy et al. (2011)[22]	√	√	√		√	√		√	√		√	-	-		√		√	√			√			√				√				√
Our work	×	×	×		×	×	×	×	√		√	√			√		√	√			√	√		√		√			√			√

توضیح:

√مرتبط با تسهیلاتی است که بصورت معین در شبکه لجستیک وجود دارند.

×مرتبط با تسهیلاتی است که بایستی در شبکه لجستیک مکانیابی شوند.

۳. تعریف مساله

در صنایع مختلف از قبیل کامپیوتر، تلفن همراه، دستگاه کپی و صنعت خودرو و... شبکه لجستیک بایستی منحصر به فرایندهای آن صنایع طراحی گردد، اما از ویژگی‌های این تحقیق بکارگیری تقریباً تمام اجزای شبکه لجستیک می‌باشد، لذا شبکه لجستیک یکپارچه ارائه شده در این مطالعه بصورت کلی بوده و صنایع متنوعی را می‌تواند پشتیبانی نماید.

شبکه لجستیک یکپارچه پیشرو-معکوس مورد بررسی در این مطالعه بصورت چندرده‌ای، چندمحصولی بوده و دارای ۷ سطح شامل تامین کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان، مشتریان، مراکزجمع‌آوری، مراکزبازفرآوری و مرکزدفع می‌باشد که در آن ظرفیت‌های محدود تسهیلات و سیاست‌های حمل‌ونقل بین تسهیلات در نظر گرفته می شود.

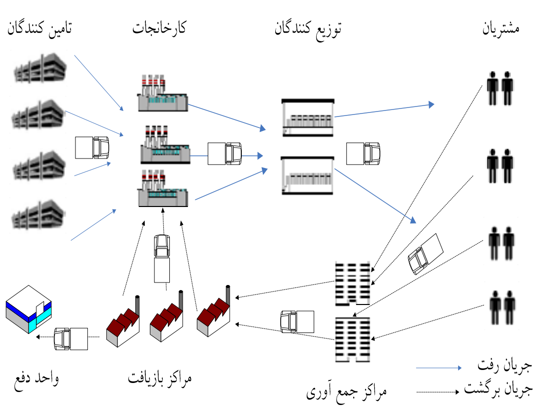
شبکه استفاده شده در این تحقیق در شکل۱ آمده است. در جریان پیشرو، قطعات و مواد از تامین‌کنندگان به مراکزتولید، همچنین محصولات تولید شده از مراکزتولید به مراکزتوزیع و از آنجا به مشتریان بگونه‌ای که تقاضای مشتریان تامین گردد، منتقل می-شوند. مراکز مشتری از پیش تعیین شده و ثابت فرض می‌شود. در جریان برگشت، محصولات مرجوعی در مراکزجمع‌آوری انباشته می‌شود در مرحله بعد محصولات به مراکز بازفرآوری منتقل شده و در آنجا دمونتاژ شده و به قطعات تشکیل دهنده محصول تبدیل می‌گردد. در آنجا بر حسب کیفیت، جداسازی روی قطعات صورت می‌گیرد و آن بخشی از قطعات که قابل بازیافت، بازسازی و تعمیر بوده پس از بازیافت، بازسازی و تعمیر به کارخانه‌های تولیدی می-روند و بخش دیگر قطعات که شامل قطعات ضایعاتی (فاقد توجیه اقتصادی بازفرآوری) می‌باشد به مرکز دفع منتقل می‌گردد. با اتخاذ این استراتژی، محصولات برگشتی می‌توانند مطابق یک فرایند مشخص بازگشت به تسهیلات مناسب جهت بازفرآوری انتقال یابند.

با توجه به اینکه انتقال محموله بین تسهیلات مختلف، وسیله نقلیه خاص خود را می‌خواهد، لذا کلیه انتقال‌ها در شبکه با وسائط حمل‌ونقل مخصوص بین دو تسهیل صورت می‌گیرد.

در شبکه مستقیم، محصولات بر اساس سیستم کششی به سمت مشتریان کشیده می‌شوند و در شبکه معکوس، محصولات برگشتی بر اساس سیستم فشاری در جهت معکوس منتقل می‌شوند. درصد محصولات برگشتی هر یک از مراکز مشتری مشخص بوده و همچنین میانگین نرخ دفع نیز مشخص است و تمام تقاضای مشتریان نیز باید ارضا گردد.

در مراکز بازفرآوری، مواد و قطعات بازسازی شده به شبکه زنجیره عرضه مستقیم باز می‌گرددو مانند مواد و قطعات نو مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین شبکه لجستیک این مطالعه، حلقه بسته[۱۴] می‌باشد. بر اساس مفاهیمی که در بالا گفته شد ما می‌دانیم که زنجیره تامین حلقه بسته از زنجیره تامین متعارف متفاوت است، مسایل آن پیچیده‌تر بوده و نیاز به تلاش مضاعف برای تجزیه تحلیل هر دو لجستیک مستقیم و معکوس بصورت توام دارد.

خروجی‌های مدل شامل تعداد و تعیین مکان مراکزتامین، مراکزتولید، مراکزتوزیع، مراکز جمع‌آوری و مراکز بازفرآوری (درجه تمرکز شبکه) و مقدار جریان بهینه وسائط حمل‌ونقل بین تمامی تسهیلات موجود در شبکه با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های ثابت بازکردن تسهیلات و هزینه‌های متغیر وسائط حمل‌ونقل و هزینه متغیر خرید قطعات و محصولات می‌باشد.



شکل۱. شبکه استفاده شده در این تحقیق

۳-۱. مفروضات

دراین مطالعه مساله طراحی شبکه لجستیک یکپارچه چندسطحی دارای مفروضاتی به شرح ذیل می‌باشد.

۱. تقاضای تمام مشتریان ارضا می‌گردد.
۲. تمام مراکز جمع آوری و بازیافت مشابه یکدیگرند به گونه ای که هر محصول می‌تواند وارد هر یک از مراکز جمع‌آوری شود و نیز می تواند از آنجا به هر یک از مراکز بازیافت منتقل شود. این فرض برای سایر سطوح زنجیره لزوما برقرار نیست. به طور مثال هر کارخانه نمی تواند هر محصول را تولید کند یا اینکه هر محصول فقط شامل تعداد خاصی از قطعات می باشد نه همه آنها.
۳. مراکز استقرار مشتریان از پیش تعیین شده و ثابت فرض می‌شود اما مکانهای مختلفی برای احداث مکان تامین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده، مراکزجمع‌آوری و بازیافت وجود دارد. بنابراین یکی از خروجی‌های مدل آن است که بطور مثال مشخص کند در کدام مکانها کارخانه تولیدی احداث شود یا مراکز جمع‌آوری در کجا مستقر شوند.
۴. در سطوح متوالی انتقال بین دو تسهیل امکان دارد و بین تسهیلات در یک سطح جریانی وجود ندارد.
۵. ظرفیت تسهیلات و میزان جریان بین تسهیلات محدود است(ظرفیت محدود وسایط نقلیه).

یکی از پارامترهای ویژه و قابل توجه در مدل‌های لجستیک حلقه بسته، نرخ بازیافت و نرخ‌های دفع و بازسازی می‌باشد. مطابق تحقیق واندرلان و همکاران، در سیستم‌های بازسازی فرض اصلی این است که مقدار محصولات برگشتی به تقاضای محصولات وابسته است [۲۴]. لذا مقدار بازیابی بصورت درصدی از تقاضای مشتری در مدل در نظر گرفته شده است که این منجر به فرض ششم می‌شود:

۶. نرخ های بازیابی و دفع مشخص هستند.
۷. فرض بر این است محصولات در شبکه مورد نظر در یک تسهیل نمی‌مانند و در اسرع وقت به مرحله بعدی می‌روند لذا از در نظر گرفتن هزینه نگهداری موجودی صرفنظر می‌کنیم.
۸. فواصل بین تسهیلات در سطوح مختلف مشخص است.
۹. وسایل حمل و نقلی که بین سطوح مختلف بکار می‌روند لزوما یکسان نیستند. به طورمثال، همان وسایلی که محصولات نهایی را از کارخانه تولیدی به مرکز توزیع ارسال می‌کنند لزوما برای انتقال محصول از مرکز توزیع به مشتری مورد استفاده قرار نمی گیرند.
۱۰. ظرفیت وسائط نقلیه مشخص هستند.
۱۱. محدودیتی در تعداد وسیله نقلیه وجود ندارد.
۱۲. یک وسیله نقلیه در طول سفر خود فقط به یک مقصد سرویس می‌دهد.

نمادهای زیر در مدل توسعه داده شده مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

۳-۲. اندیس‌ها و مجموعه‌ها:

I مجموعه تمام تامین کنندگان بالقوه
i اندیس تامین کننده $(i \in I)$
J مجموعه تمام تولید کنندگان بالقوه
j اندیس تولید کننده $(j \in J)$
K مجموعه تمام توزیع کنندگان بالقوه
k اندیس توزیع کننده $(k \in K)$
L مجموعه تمام مشتریان
l اندیس مشتری $(l \in L)$
M مجموعه تمام مراکز جمع آوری بالقوه
m اندیس مرکز جمع آوری $(m \in M)$
N مجموعه تمام مراکز بازفرآوری بالقوه
n اندیس مرکز بازفرآوری $(n \in N)$
S مجموعه تمام قطعات
s اندیس قطعه $(s \in S)$
P مجموعه تمام محصولات
p اندیس محصول $(p \in P)$
P_s مجموعه محصولاتی که قطعه s در آن بکار می‌رود
P_j مجموعه محصولاتی که در کارخانه j تولید می‌گردد
J_p مجموعه تمام کارخانجاتی که محصول p تولید می‌کنند
P_k مجموعه محصولاتی که می توانند توسط توزیع کننده k توزیع شوند
K_p مجموعه توزیع کنندگانی که محصول p را توزیع می‌کنند
K_s مجموعه توزیع کنندگانی که قطعه s در محصولاتی که توزیع می‌کنند وجود دارد
I_s مجموعه تامین کنندگانی که قطعه s را تهیه می‌کنند
J_s مجموعه تولیدکنندگانی که از قطعه s استفاده می‌کنند
S_i مجموعه قطعاتی که از طریق تامین کننده i تهیه می‌شوند
S_j مجموعه قطعاتی که مورد نیاز تولیدکننده j هستند
P_l مجموعه محصولاتی که مورد نیاز مشتری l است
L_p مجموعه مشتریانی که محصول p را مصرف می‌کنند
$V\alpha$ مجموعه تمام وسایل نقلیه سرویس دهنده در مسیر i به j
α اندیس وسیله نقلیه سرویس دهنده در مسیر i به j $(\alpha \in V\alpha)$
$V\beta$ مجموعه تمام وسایل نقلیه سرویس دهنده در مسیر j به k
β اندیس وسیله نقلیه سرویس دهنده در مسیر j به k $(\beta \in V\beta)$
$V\gamma$ مجموعه تمام وسایل نقلیه سرویس دهنده در مسیر k به l
γ اندیس وسیله نقلیه سرویس دهنده در مسیر k به l $(\gamma \in V\gamma)$
$V\delta$ مجموعه تمام وسایل نقلیه سرویس دهنده در مسیر l به m
δ اندیس وسیله نقلیه سرویس دهنده در مسیر l به m $(\delta \in V\delta)$
$V\varepsilon$ مجموعه تمام وسایل نقلیه سرویس دهنده در مسیر m به n
ε اندیس وسیله نقلیه سرویس دهنده در مسیر m به n $(\varepsilon \in V\varepsilon)$

$V\theta$مجموعه تمام وسایل نقلیه سرویس دهنده در مسیر n به j

θاندیس وسیله نقلیه سرویس دهنده در مسیر n به $j(\theta \in V\theta)$

$V\tau$مجموعه تمام وسایل نقلیه سرویس دهنده در مسیر n به lf

τاندیس وسیله نقلیه سرویس دهنده در مسیر n به $lf(\tau \in V\tau)$

۳-۳. پارامترها

b_α:هزینه حمل هر کیلوگرم بار در واحد مسافت بین تامین کننده و تولید کننده توسط وسیله نقلیهα

b_β:هزینه حمل هر کیلوگرم بار در واحد مسافتبین تولید کننده و توزیع کننده توسط وسیله نقلیهβ

b_γ:هزینه حمل هر کیلوگرم بار در واحد مسافتبین توزیع کننده و مشتری توسط وسیله نقلیهγ

b_δ:هزینه حمل هر کیلوگرم بار در واحد مسافتبین مشتری و مرکز جمع آوری توسط وسیله نقلیهδ

b_ε:هزینه حمل هر کیلوگرم بار در واحد مسافتبین مرکز جمع‌آوری و مرکز بازفرآوریتوسط وسیله نقلیهε

b_θ:هزینه حمل هر کیلوگرم بار در واحد مسافتبین مرکز بازفرآوری و تولید کننده توسط وسیله نقلیهθ

b_τ:هزینه حمل هر کیلوگرم بار در واحد مسافتبین مرکز بازفرآوری و واحد دفع توسط وسیله نقلیهτ

sp_α:ظرفیت وسیله نقلیهα برحسب کیلوگرم

sp_β:ظرفیت وسیله نقلیهβ برحسب کیلوگرم

sp_γ:ظرفیت وسیله نقلیهγ برحسب کیلوگرم

sp_δ:ظرفیت وسیله نقلیهδ برحسب کیلوگرم

sp_ε:ظرفیت وسیله نقلیهε برحسب کیلوگرم

sp_θ:ظرفیت وسیله نقلیهθ برحسب کیلوگرم

sp_τ:ظرفیت وسیله نقلیهτ برحسب کیلوگرم

wp_p:وزن محصول p برحسب کیلوگرم

w_s: وزن قطعه s برحسب کیلوگرم

e_i:ظرفیت تامین کننده i برحسب کیلوگرم

f_j :ظرفیت کارخانه j برحسب کیلوگرم

g_k :ظرفیت توزیع کننده k برحسب کیلوگرم

h_m:ظرفیت مرکز جمع آوری m برحسب کیلوگرم

u_n:ظرفیت مرکز بازفرآوریn برحسب کیلوگرم

pc_l:درصد محصولات بازگشتی مشتری l

plf_{sn}:درصدی از تعداد قطعه s که در مرکز n قابل بازفرآورینیست

B_{ps}: ضریب مصرف قطعه s از محصول p

c_{si}:هزینه خرید قطعهs از تامین کننده i

c_{pj}:هزینه تولید محصول pدر کارخانه j

c_{sn}:هزینه بازفرآوریقطعه sدر واحد بازفرآوریn

cf_i:هزینه تاسیس تامین کننده i

cm_j:هزینه تاسیس کارخانه j

cd_k:هزینه تاسیس توزیع کننده k

cc_m:هزینه تاسیس مرکز جمع آوری m

cr_n:هزینه تاسیس مرکز بازفرآوریn

d_{ij}:فاصله تامین کننده i تا کارخانه j

d_{jk}:فاصله کارخانه j تا توزیع کننده k

d_{kl}:فاصله توزیع کننده k تا مشتری I

d_{lm}:فاصله مشتری I تا مرکز جمع آوری m

d_{mn}:فاصله مرکز جمع آوری m تا مرکز بازفرآوریn

d_{nj}:فاصله مرکز بازفرآوریn تا کارخانه j

d_{nlf}: فاصله مرکز بازفرآوریn تا واحد دفع

c_s:هزینه دفع هر واحدقطعه s

dm_{pl}:تقاضای مشتری l از محصول p

۴-۳. متغیرهای تصمیم:

$x_{sij\alpha}$: میزان قطعه s که از تامین کننده i به کارخانه j توسط وسیله نقلیه α می‌رود

$y_{pjk\beta}$: میزان محصول p که از کارخانه j تا توزیع کننده k وسیله نقلیه β حمل می‌شود

$z_{pkl\gamma}$: میزان محصول p که از توزیع کننده k تا مشتری I توسط وسیله نقلیه γ می‌رود

$t_{plm\delta}$: میزان محصول p که از مشتری I تا مرکز جمع آوری m توسط وسیله نقلیه δ حمل می‌شود

$q_{pmn\varepsilon}$: میزان محصول p که از مرکز جمع آوری m تا مرکز بازفرآوری n توسط وسیله نقلیه ε می‌رود

$r_{snj\theta}$: میزان قطعه s که از مرکز بازفرآوری n تا کارخانه j توسط وسیله نقلیه θ می‌رود

$o_{sn\tau}$: میزان قطعه s که از مرکز بازیافت n تا واحد دفع توسط وسیله نقلیه τ حمل می‌شود

$$Tf_i = \begin{cases} 1 & \text{اگر تامین کننده i تاسیس شود} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$Tm_j = \begin{cases} 1 & \text{اگر کارخانه j تاسیس شود} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$Td_k = \begin{cases} 1 & \text{اگر توزیع کننده k تاسیس شود} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$Tc_m = \begin{cases} 1 & \text{اگر مرکز جمع آوری m تاسیس شود} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$Tr_n = \begin{cases} 1 & \text{اگر مرکز بازفرآوریn تاسیس شود} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

۳-۵.مدل ریاضی

۳-۵-۱. تابع هدف

Min

$$\sum_{s\in S}\sum_{i\in I_s}\sum_{j\in J_s}\sum_{\alpha\in V\alpha}\left(b_\alpha w_s d_{ij}+c_{si}\right)x_{sij\alpha} \quad (۱)$$

$$+\sum_{p\in P}\sum_{j\in J_p}\sum_{k\in K_p}\sum_{\beta\in V\beta}\left(b_\beta wp_p d_{jk}+c_{pj}\right)y_{pjk\beta} \quad (۲)$$

$$+\sum_{p\in P}\sum_{k\in K_p}\sum_{l\in L_p}\sum_{\gamma\in V\gamma} b_\gamma wp_p d_{kl} z_{pkl\gamma} \quad (۳)$$

$$+\sum_{p\in P}\sum_{l\in L_p}\sum_{m\in M}\sum_{\delta\in V\delta} b_\delta wp_p d_{lm} t_{plm\delta} \quad (۴)$$

$$+\sum_{p\in P}\sum_{m\in M}\sum_{n\in N}\sum_{\varepsilon\in V\varepsilon} b_\varepsilon wp_p d_{mn} q_{pmn\varepsilon} \quad (۵)$$

$$+\sum_{s\in S}\sum_{n\in N}\sum_{j\in J_s}\sum_{\theta\in V\theta}\left(b_\theta w_s d_{nj}+c_{sn}\right)r_{snj\theta} \quad (۶)$$

$$+\sum_{s\in S}\sum_{n\in N}\sum_{\tau\in V\tau}\left(c_s+b_\tau w_s d_{nlf}\right)o_{sn\tau} \quad (۷)$$

$$+\sum_{i\in I} cf_i Tf_i \quad (۸)$$

$$+\sum_{j\in J} cm_j Tm_j \quad (۹)$$

$$+\sum_{k\in K} cd_k Td_k \quad (۱۰)$$

$$+\sum_{m\in M} cc_m Tc_m \quad (۱۱)$$

$$+\sum_{n\in N} cr_n Tr_n \quad (۱۲)$$

عبارت (۱) تا (۱۲) نشاندهنده تابع هدف مدل بوده که شرح جملات آن بصورت زیر است: عبارت (۱)شامل هزینه خرید از تامین‌کنندگان و هزینه حمل و نقل به کارخانه‌ها می‌باشد. عبارت (۲) هزینه تولید کارخانه‌ها و هزینه حمل و نقل به مراکز توزیع را نشان می‌دهد. عبارات (۳) تا (۵) هزینه حمل و نقل به مشتریان، مراکزجمع‌آوری و مراکزبازفرآوری را شامل می‌شوند. عبارت (۶) نیز هزینه عملیات بازفرآوری و هزینه حمل و نقل به کارخانه‌ها را در بر دارد. عبارت (۷) شامل هزینه دفع هر واحد و هزینه حمل و نقل به مرکز دفع می‌باشد. عبارات (۸) تا (۱۲) نیز هزینه های تاسیس تامین‌کننده‌ها، کارخانه‌ها، مراکزتوزیع، مراکزجمع‌آوری و مراکز بازفرآوری را نشان می‌دهد.

۳-۵-۲.محدودیت‌ها:

s.t.

$$\sum_{s\in S_i}\sum_{j\in J_s}\sum_{\alpha\in V\alpha} w_s x_{sij\alpha} \le e_i Tf_i \quad \forall i \quad (۱۳)$$

$$\sum_{i\in I_s}\sum_{\alpha\in V\alpha} x_{sij\alpha}+\sum_{n\in N}\sum_{\theta\in V\theta} r_{snj\theta} \ge \sum_{p\in P_s}\sum_{k\in K_s}\sum_{\beta\in V\beta} B_{ps} y_{pjk\beta} \quad \forall s,j \quad (۱۴)$$

$$\sum_{p\in P_j}\sum_{k\in K_p}\sum_{\beta\in V\beta} wp_p y_{pjk\beta} \le f_j Tm_j \quad \forall j \quad (۱۵)$$

$$\sum_{j\in J_p}\sum_{\beta\in V\beta} y_{pjk\beta} \ge \sum_{l\in L_p}\sum_{\gamma\in V\gamma} z_{pkl\gamma} \quad \forall p,k \quad (۱۶)$$

$$\sum_{p\in P_k}\sum_{l\in L_p}\sum_{\gamma\in V\gamma} wp_p z_{pkl\gamma} \le g_k Td_k \quad \forall k \quad (۱۷)$$

$$\sum_{k\in K_p}\sum_{\gamma\in V\gamma} z_{pkl\gamma} \ge dm_{pl} \quad \forall p,l \quad (۱۸)$$

$$\sum_{m\in M}\sum_{\delta\in V\delta} t_{plm\delta} = pc_l \sum_{k\in K_p}\sum_{\gamma\in V\gamma} z_{pkl\gamma} \quad \forall p,l \quad (۱۹)$$

$$\sum_{p\in P}\sum_{l\in L_p}\sum_{\delta\in V\delta} wp_p t_{plm\delta} \le h_m Tc_m \quad \forall m \quad (۲۰)$$

$$\sum_{n\in N}\sum_{\varepsilon\in V\varepsilon} q_{pmn\varepsilon} = \sum_{l\in L_p}\sum_{\delta\in V\delta} t_{plm\delta} \quad \forall m, \quad (۲۱)$$

$$\sum_{p\in P}\sum_{m\in M}\sum_{\varepsilon\in V\varepsilon} wp_p q_{pmn\varepsilon} \le u_n Tr_n \quad \forall n \quad (۲۲)$$

$$\sum_{p\in P_s}\sum_{m\in M}\sum_{\varepsilon\in V\varepsilon} B_{ps} q_{pmn\varepsilon} = \sum_{j\in J_s}\sum_{\theta\in V\theta} r_{snj\theta} + \sum_{\tau\in V_\tau} o_{sn\tau} \quad \forall n,s \quad (۲۳)$$

$$\sum_{s\in S_i\cap S_j} w_s x_{sij\alpha} \le sp_\alpha \quad \forall i,j, \quad (۲۴)$$

$$\sum_{p\in P_j\cap P_k} wp_p y_{pjk\beta} \le sp_\beta \quad \forall j,k, \quad (۲۵)$$

$$\sum_{p\in P_k\cap P_l} wp_p z_{pkl\gamma} \le sp_\gamma \quad \forall k,l \quad (۲۶)$$

$$\sum_{p\in P_l} wp_p t_{plm\delta} \le sp_\delta \quad \forall l,m \quad (۲۷)$$

$$\sum_{p\in P} wp_p q_{pmn\varepsilon} \le sp_\varepsilon \quad \forall m,n \quad (۲۸)$$

$$\sum_{s\in S} w_s r_{snj\theta} \le sp_\theta \quad \forall n,j \quad (۲۹)$$

$$\sum_{s\in S} w_s o_{sn\tau} \le sp_\tau \quad \forall n, \quad (۳۰)$$

$$plf_{sn}\sum_{p\in P_s}\sum_{m\in M}\sum_{\varepsilon\in V\varepsilon} B_{ps} q_{pmn\varepsilon} = \sum_{\tau\in V_\tau} o_{sn\tau} \quad \forall n, \quad (۳۱)$$

$$x_{sij\alpha}, y_{pjk\beta}, z_{pkl\gamma}, t_{plm\delta}, q_{pmn\varepsilon}, r_{snj\theta}, o_{sn\tau} \geq 0, \text{int} \quad \forall s,p,i,j,k,l,m,n,\alpha,\beta,\gamma,\delta,\varepsilon,\theta,\tau \quad (۳۲)$$

$$Tf_i, Tm_j, Td_k, Tc_m, Tr_n \in \{0,1\} \quad \forall j,k,m,n \quad (۳۳)$$

نامعادله (۱۳) نشان می‌دهد اگر تامین کننده i احداث و راه اندازی شود، حداکثر می تواند به میزان e_i کیلوگرم خروجی داشته باشد. محدودیت (۱۴) میزان محصول تولیدی توسط یک کارخانه را با تعداد قطعاتی که از تامین‌کنندگان و مراکز بازفرآوریدریافت می‌کند مرتبط می‌سازد. محدودیت (۱۵) نیز مشابه (۱۳) است که برای ظرفیت کارخانه‌ها نوشته شده است. نامعادله (۱۶) محدودیت تعادلی است که نشان می‌دهد میزان عرضه یک مرکز توزیع حداکثر برابر با میزان محصولی است که از کارخانه‌ها دریافت می‌کند. محدودیت (۱۷) نیز مشابه محدودیت (۱۳) است که ظرفیت مراکزتوزیع را نشان می‌دهند. محدودیت (۱۸) مربوط به تامین تقاضای مشتریان است. رابطه (۱۹) بیان می‌کند که درصد خاصی از محصول نوع p که به مشتری l می رسد، بازگشتی و معیوب است که به مراکزجمع‌آوری ارسال می‌شود. نامعادله (۲۰) نیز محدودیت مرتبط با ظرفیت مراکز جمع‌آوری را نشان می‌دهد. نامعادله (۲۱) نشان می‌دهد میزان ورودی به یک مرکز بازیافت برابر با خروجی از آن مرکز است. محدودیت (۲۲) نیز مربوط به ظرفیت مراکزبازفرآوری می‌باشد. محدودیت (۲۳) نشان می‌دهد از بین قطعاتی که به مرکز بازفرآوری وارد می‌شوند، بعضی قابل بازفرآوری بوده که به کارخانه‌ها ارسال می‌شوند و بخشی دیگر قابل بازفرآوری نیست و به واحد دفع منتقل می‌گردند. محدودیتهای (۲۴) الی (۳۰) تضمین کننده ظرفیت وسایل نقلیه هستند. محدودیت (۳۱) نشان می دهد که از کل قطعات s رسیده به یک مرکز بازیافت n، به میزان plf_{sn} درصد قابل بازفرآوری نیستند و باید به محل دفع ارسال شوند. محدودیتهای (۳۲) و (۳۳) نیز نوع متغیرهای تصمیم را مشخص می‌کنند.

۴. مثال عددی

در این بخش برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی به ارائه یک مثال عددی می‌پردازیم.داده‌های مورد نیاز مساله بصورت تصادفی تولید شده و برای حل مدل برنامه ریزی خطی نیز از نرم افزار GAMS استفاده می‌شود. در ادامه نیز خروجی‌های مدل در یک گراف مورد تجزیه تحلیل قرار می‌گیرد.

فرض کنید هفت سطح شبکه مطابق شکل۱درنظرگرفته شده است که شامل سه تامین‌کنندهبالقوه، دو مرکز بالقوه تولید، دو مرکز بالقوه توزیع، چهار مرکز مشتریان، دو مرکز بالقوه جمع آوری، دو مرکز بالقوه بازفرآوری و یک واحد دفع است، همچنین شبکه فوق دارای ۳ نوع محصول و ۴ تنوع قطعه یا مواد باشد و در هر یک از مسیر های ij ، jk، kl، lm، mn و nj و nlf تعداد دو نوع وسیله نقلیه برای سرویس دهی در نظر گرفته می‌شود.

مثال مفروض بانرم افزار GAMS حل گردید و خروجی‌های مدل درشکل ۲ در یک نگاه آمده است که به شرح ذیل می‌باشد:

۱- از بین سه تامین‌کننده بالقوه، مرکز تامین ۱و۲ انتخاب گردید.

۲- از بین دو کارخانه بالقوه، هر دو انتخاب شدند.

۳- از بین دو مرکز توزیع بالقوه، مرکز توزیع ۲ انتخاب گردید.

۴- از بین دو مرکزجمع‌آوری بالقوه، مرکزجمع‌آوری ۲ انتخاب گردید.

۵- از بین دو مرکزبازفرآوری بالقوه، مرکزبازفرآوری۲ انتخاب شد.

مقدار تابع هدف نیز معادل ۲۸۶۰۳۳۹ واحد پولی می‌باشد. زمان حل مثال فوق معادل ۰.۰۰۲ ثانیه می‌باشد.

از کد زیر برای شرح خروجیها استفاده می‌شود.

[شمارنده وسیله نقلیه] [تنوع وسیله نقلیه] (تعداد قطعه/محصول)

[شمارنده قطعه/محصول] [قطعه(s)/محصول(p)]

بعنوان نمونه در شکل ۲ مسیر ۱۱ عبارت s1(412)α1 بمعنی انتقال 412 عدد قطعه نوع یکم از تامین‌کننده یک به کارخانه یک توسط وسیله نقلیه دو از نوع α می‌باشد.

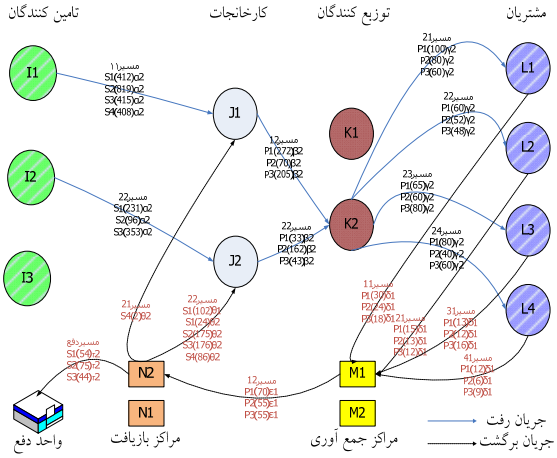
بعنوان نمونه دیگر در مسیرهای محصولات بازگشتی بعنوان مثال مسیر ۴۱ عبارت p1(12)δ1 بمعنی انتقال ۱۲ عدد محصول نوع یکم از مشتری چهارم به مرکز جمع‌آوری یکم توسط وسیله نقلیه یک نوع δ می‌باشد.

۵.نتیجه‌گیری

برنامه ریزی استراتژیک شبکه زنجیره تامین یکپارچه، وظایف مربوط به تعیین مکان تسهیلات مورد نیاز شبکه و نحوه ارتباط و تعامل تسهیلات تامین، تولید، توزیع، جمع‌آوری ، بازفرآوری و دفع را پوشش می‌دهد. فرایندهای حمل‌ونقل از بخش‌های ضروری زنجیره تامین هستند، این فرایندها جریان موادی را که یک سازمان با تامین کنندگان، توزیع‌کنندگان، مشتریان، مراکزجمع‌آوری و بازفرآوری دارد را برقرار می‌سازد. این تحقیق در واقع طراحی شبکه زنجیره تامین پیشرو و معکوس چند سطحی، چند محصولی همراه با مکانیابی تسهیلات و تعیین سیاست‌های حمل‌ونقل بطور همزمان می‌باشد. همچنین شبکه مورد استفاده در این تحقیق صنایع متنوعی را پشتیبانی می‌کند.

از دیگر ویژگی‌های این تحقیق عدم مشخص بودن تعداد تسهیلات مورد نیاز و بکارگیری تقریباً تمام اجزای شبکه لجستیک می‌باشد. لذا پس از شناسایی پارامترها، متغیرهای تصمیم و محدودیت‌ها، مساله با هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها مدل گردید. در ادامه برای اعتبارسنجی آن یک مثال عددی با نرم افزار GAMS حل شد.

برخی از مواردی که در تحقیقات آتی می‌توانند مورد توجه قرار گیرند به شرح ذیل می‌باشد: می‌توان با ورود پریودهای زمانی به مدل فوق و همچنین هزینه‌های نگهداری، کمبود، تاخیر و... به ارائه مدل کلی‌تر برای مساله پرداخت. کلیه پارامترهای مدل ارائه شده در این تحقیق به صورت قطعی در نظر گرفته شده است، می‌توان مطالعهٔ اخیر را با وارد کردن همه یا بخشی از پارامترها به طور تصادفی در نظر گرفت. در این تحقیق تابع هدف، تک هدفه در نظر گرفته شد، حال می توان آنرا بصورت چند هدفه مبتنی بر رای تصمیم گیرندگان در نظر گرفت. بعنوان مثال، اهداف دیگر می‌تواند بیشینه‌سازی سطح پاسخدهی شبکه به مشتریان، کمینه‌سازی اثرات منفی به محیط زیست و ماکزیمم‌سازی مسایل اجتماعی را در نظر گرفت. در نهایت عامل بسیار مهم درکاهش هزینه‌های زنجیره تامین زمانبندی در زنجیره تامین می‌باشد، لذا طراحی شبکه لجستیک همراه با زمانبندی در طول زنجیره نیز می‌تواند یکی از مدل‌های بسیار کاربردی در این حوزه باشد.



شکل ۲. کلیه خروجی‌های مثال در یک نگاه

پی‌نوشت

1. Forward
2. Reverse
3. Reduce
4. Substitution
5. Reuse
6. Recycle
7. Reverse logistic
8. Reprocessing
9. Forward
10. Reverse
11. Sub-optimality
12. 3PL
13. Robust
14. Closed loop

مراجع

[1] Simchi-levi David, kaminsky Philip, simchi-levi Eedith, designing and managing supply chain, McGraw-Hill publications,(2000).

[2] Jayaraman V, Ross A. A simulated annealing methodology to distribution network design and management, European Journal of Operational Research, (2003),Vol. 45, pp.144-629.

[3] Revlog. Revlog,the European working group on reverse logistics.

[4] Meepetchdee Y, Shah N. Logistical network design with robustness and complexity considerations, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management (2007),Vol. 22, pp.37-201.

[5] Fleischmann M, Beullens P, Bloemhof-ruwaard JM, Wassenhove L. The impact of product recovery on logistics network design, Production and Operations Management, (2001),Vol.10, No.2, pp.156–173.

[6] Verstrepen S, Cruijssen F, de Brito M, Dullaert W., An exploratory analysis of reverse logistics in Flanders, European Journal of Transport and Infrastructure Research,(2007),Vol. 7, No. 4, PP.301–316.

[7] Pishvaee MS, KianfarK, KarimiB. Reverse logistics network design using simulated annealing, Int. J. Adv Manuf. Technol, (2010),Vol.47, pp. 269–281.

[8] Dowlatshahi S. Developing a theory of reverse logistics, Interfaces, (2000),Vol.30, No. 3, pp. 143-155.

[9] DullaertW, Braysy O, Goetschalckx M, Raa B. Supply chain (re)design: support for managerial and policy decisions, European Journal of Transport and Infrastructure Research, (2007),Vol.7, No.2, pp. 73–91.

[10] Melo MT,Nickel S, Saldanha-da-Gama F.Facility location and supply chain management - A review, Eur. J. Oper. Res,(2009),Vol. 196, pp. 401–412.

[11] Min H, Ko HJ. The dynamic design of a reverse logistics network from the perspective of third-party logistics service providers, International Journal of Production Economics, (2008),Vol. 113, pp.176-192.

[12] Salema MIG, Barbosa-Povoa AP, Novais AQ. An optimization model for the design of a

capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty, European Journal of Operational Research, (2007),Vol.179, pp.1063-1077.

[13] Üster H, Easwaran G, Elif Akçali E, Sila Çetinkaya S. Benders decomposition with alternative multiplecuts for a multi-product closed-loop supply chain network design model,NavalResearchLogistics, (2007),Vol.54, No.8,December pp.890–907.

[14] Listes O. A generic stochastic model for supply-and-return network design, Comput.Oper. Res,(2007),Vol.34, No.2,pp.417-442.

[15] Ko HJ, Evans GW. A genetic-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs, Computers & Operations Research, (2007),Vol.34, pp.346–366.

[16] Lee D, Dong M. A heuristic approach to logistics network design for end-of- lease computer products recovery, Transportation Research Part E, (2008),Vol.44, pp.455–474.

[17] Lu Z, Bostel N. A facility location model for logistics systems including reverse flows: the case of remanufacturing activities, Computers & Operations Research, (2007),Vol.34, pp.299-323.

[18] PishvaeeMS, ZanjiraniFR,Dullaert W.A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design, Computers & Operations Research, (2010),Vol.37, pp.1100-1112.

[19] Wang Hsiao-Fan, Hsu Hsin-Wei. A closed-loop logistic model with a spanning-tree based genetic algorithm, Computers & Operations Research,(2010),Vol.37, pp.376-389.

[20] KannanG, SasikumarP, DevikaK. A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: a case of battery recycling, Appl. Math. Model, (2010),Vol.34, pp.655-670.

[21] Pishvaee MS, Rabbani Masoud, Torabi Seyed Ali. A robust optimization approach to closed-loop supply chain networkdesign under uncertainty, Applied Mathematical Modelling, (2011),Vol.35, pp.637-649.

[22] Paksoy Turan, Bektas Tolga, Özceylan Eren, Operational and environmental performance measures in a multi-product closed-loop supply chain, Transportation Research Part E,(2011),Vol.47, pp.532-546.

[23] Salema MI, Povoa APB, Novais AQ. A warehouse-based design model for reverse logistics, Journal of the Operational Research Society,(2006),Vol.57, No.6, pp. 615-629.

[24] Van der Laan E, Salomon M, Dekker R, Van Wassenhove L. Inventory control in hybrid systems with remanufacturing, Management Science,(1999), Vol.45, No.5, pp.733–747.