فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی
واحد سنندج – سال پانزدهم/ شماره ۵۳ / پاییز ۱۳۹۹

استفاده از الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی میزان انتشار گازهای گلخانه ای حاصل از حمل و نقل و هزینه های زنجیره تامین سرد

رسول رضایی
دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
داود قراخانی (نویسنده مسؤول)
استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، گروه مدیریت صنعتی، قزوین، ایران
Email: davoodgharakhany@yahoo.com
رضا احتشام راثی
استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، گروه مدیریت صنعتی، قزوین، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۶/۱۵ * تاریخ پذیرش ۹۹/۰۸/۱۷

چکیده

زنجیره تامین سرد با توجه به مصرف انرژی بالا و نشت گازهای مبرد، سطوح بالایی از انتشار گازهای گلخانه ای را به همراه دارد و یکی از بزرگترین انتشار دهنده های کربن است. در زنجیره تامین سرد محصولات باید در دمای پایین و نزدیک یا زیر نقطه انجماد ذخیره شوند؛ برای این منظور از انبارهای سردخانه ای و کامیون‌های یخچال دار ضروری است، بنابراین این پژوهش به طراحی یک مدل تصمیم‌گیری چند هدفه خطی مدیریت زنجیره تامین سرد می پردازد که هدف آن کاهش هزینه کلی زنجیره تامین، شامل هزینه‌های ظرفیت، حمل و نقل، موجودی و نیز هزینه‌های مربوط به تاثیر گرم شدن کره زمین به دلیل انتشار گازهای گلخانه ای است. جهت تحلیل مسئله تحقیق، یک مدل ریاضی در زمینه بهینه‌سازی زنجیره تامین سرد طراحی شده و برای حل این مسئله از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. نتایج تابع اول تحقیق نشان می‌دهد که مدل در حالت تعداد مشتری بالا و هنگامی که تعداد توزیع کننده با تعداد تولید کننده برابر می باشد، بهترین حالت ممکن است. از تحلیل تابع دوم نتیجه گرفته می شود که کاهش زمان ترمیم تسهیلاتی در حداقل نمودن تابع نخست، کاهش هزینه ها و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای موثر است. بنابراین با توجه به مطالب بیان شده و نیز نتایج بدست آمده در این تحقیق، می-توان عنوان نمود که با بهینه سازی وسایل نقیله و نیز استفاده مناسب از تعداد بهینه‌ای از وسایل حمل و نقل می توان انتظار داشت که آلودگی و تکثیر گازهای گلخانه ای به حداقل ممکن برسد.

کلمات کلیدی: مدیریت زنجیره تامین سرد، مدل تصمیم‌گیری چند هدفه، گازهای گلخانه ای، الگوریتم ژنتیک.

۱-مقدمه

گرمایش جهانی زمین در چند دهه گذشته، به ویژه با افزایش تحقیقات علمی اخیر، شواهد محکمی برای نشان دادن عواقب شدید یک مسئله زیست محیطی است. متخصصان معتقدند که رادیواکتیو ساطع شده به اتمسفر عامل اصلی تولید گازهای گلخانه ای (GHG[1]) و پدیده گرمایش جهانی زمین است(Saif & Elhedhli, 2016). افزایش روز افزون گازهای گلخانه‌ای یکی از مهمترین نگرانی‌های جهانی است و توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است(Qi,Wang, Bai, 2017) و کاهش تولید این گازها به یک مسئله حیاتی برای حفاظت از محیط زیست مبدل شده است(Modak et al.,2017). هم اکنون ۶۵ درصد از گازهای گلخانه ای، ناشی از انتشار دی اکسید کربن (CO_2) است (Hariga, As'ad & Shamayleh, 2017). پدیده گرمایش جهانی و تغییرات آب و هوایی، به دلیل انباشت انتشار گازهای گلخانه ای (به ویژه CO_2) در جو، می تواند اثرات بالقوه فاجعه آمیز و غیر قابل برگشتی داشته باشد(Bradford & Fraser, 2008). امروزه تا حد زیادی از GHG به عنوان بزرگترین تهدید سیستم زیست محیطی یاد می‌شود(Modak et al.,2017). با توسعه تکنولوژی و اقتصاد جهانی، رقابت در زنجیره تامین نقش بسیار مهمی بین شرکت‌ها دارد. تحت این شرایط، انتخاب ساختار مناسب برای تصمیمات زنجیره تامین برای حفظ مزیت رقابتی بسیار با اهمیت است. از طرف دیگر کاهش سطح انتشار کربن ، نیز برای شرکت‌ها بسیار مهم است. بطوریکه اخیراً تمایلات مشتریان به سمت خرید محصولاتی با انتشار کربن کمتر است(Yang, Zhang & Ji, 2017). از این نقطه نظر مدیران هزینه های انتشار گازهای گلخانه ای را در استراتژی های تولید و توزیع مد نظر قرار می دهند؛ چرا که تقریباً تمام کشورها، از برخی مجازاتها برای انتشار گازهای گلخانه ای استفاده می‌کنند(Modak et al., 2017). در مدیریت زنجیره تأمین، یکی از مواردی که اهمیت بسیاری دارد، روند افزایشی ضایعات محصولات فاسد شدنی است؛ به طوری که به منظور رفع این نقص، مدیریت زنجیره تامین سرد به عنوان شاخه جدیدی از زنجیره تأمین که به اداره کردن محصولات فاسد شدنی می پردازد، معرفی شد. در زنجیره سرد به دلیل عمر محدود و بسیار کم محصولات و نیاز به کنترل های خاص، عدم دریافت، توزیع و تحویل به موقع سفارشات علاوه بر هزینه های عملیاتی، باعث فساد کلی محصولات، از دست دادن کیفیت و ایجاد انواع مسمومیت ها و ... می شود. همچنین به دلیل ماهیت خاص برخی از محصولات فاسد شدنی، قابلیت بازیافت در آنها وجود نداشته و ضایعات آنها باعث تحمیل خسارات جبران ناپذیری به محیط زیست می شود(Kuo & Chen, 2010). بنابراین در طراحی زنجیره تامین، توجه به فرسودگی محصولات به ویژه اقلام فاسد شدنی، باعث پیچیدگی بیشتری در فرآیند تصمیم گیری مدیران شده و زنجیره های پاسخگو باید برای حفظ کیفیت محصولات، از شیوه های حمل و نقل سریع و قابل اعتماد استفاده کنند. افزایش سطح حمل و نقل در زنجیره تامین سرد نیز به دلیل استفاده از تجهیزات سرد کننده، موجب انتشار بیشتر GHG می شود. به طور گسترده سیستم های سرد کننده یکی از بزرگترین انتشار دهنده های کربن در زنجیره تامین سرد هستند(Yakavenka et al., 2016). در زنجیره تامین سرد، محصولات باید در دمای پایین و در نزدیکی یا زیر درجه انجماد ذخیره و حمل شوند. این مسئله به استفاده از انبارهای سرد و کامیونها نیاز دارد که مقدار زیادی انرژی مصرف می کنند. مصرف انرژی بیشتر با انتشار دی اکسید کربن (CO_2) همراه است. علاوه بر این، سیستم های سرد کننده مقدار زیادی گازهای HFC[2] استفاده می کنند که پتانسیل بالایی برای گرم شدن کره زمین دارند و به مدت طولانی در جو باقی می مانند. نشت مکرر گازهای سیستم مبرد و بخصوص HFC ، جزء قابل توجهی از تأثیر گرمایش جهانی زمین است. بنابراین، هنگام طراحی عملیات زنجیره تامین سرد باید این گازها و سایر گازهای گلخانه‌ای مورد توجه قرار گیرد(Saif & Elhedhli, 2016).

طی چند سال گذشته، مطالعات زیادی پیرامون مدیریت زنجیره تامین سرد صورت گرفته است. بسیاری از مطالعات در مورد مسائل مربوط به تعداد، محل، ظرفیت و بهره برداری از مراکز توزیع/ تسهیلات زنجیره تامین بوده و ویژگی ها و شرایط خاصی را برای حمل و نقل، ذخیره سازی و توزیع اقلام فاسد شدنی تبیین کرده اند. با این وجود، راه حل قطعی برای زنجیره سرد، غیر ممکن است(Mallidis, Dekker & Vlachos, 2012) و هر محقق به فراخور دیدگاه خود به جنبه های مختلف زنجیره-

[1] Greenhouse Gases
[2] Hydro Fluoro Carbon

های تامین نگریسته است. با توجه به نگرانی های اخیر نسبت به تغییرات اقلیمی و گرم شدن جهانی کره زمین، که بخشی از آن ناشی از سیستم زنجیره تامین سرد است، در این پژوهش به طراحی یک مدل تصمیم‌گیری چند هدفه مدیریت زنجیره تامین سرد خواهیم پرداخت که هدف آن کاهش هزینه کلی زنجیره تامین، شامل هزینه‌های ظرفیت، حمل و نقل، موجودی و همچنین هزینه‌های مربوط به تاثیر گرم شدن کره زمین به دلیل انتشارات GHG می باشد. ضمناً در این تحقیق تاثیرات زیستی انتشار CO_2 به دلیل مصرف انرژی و اثرات ناشی از نشت گازهای خنک کننده انبارها و وسایل نقلیه(HFC) در بهینه سازی هزینه زنجیره تامین سرد مورد بررسی می گیرد. این مقاله شامل ۶ بخش کلی است که در بخش دوم مقاله؛ ادبیات نظری زنجیره تامین سرد با رویکرد سازگاری با محیط زیست، با بررسی پیشنه ای از پژوهش محققان اخیر بررسی می شود. بخش سوم مقاله به مدلسازی ریاضی با تشریح مفروضات مسئله چند هدفه به همراه پارامترها و متغیرهای تصمیم می‌پردازد. در بخش چهارم ، مدل مسئله در جامعه آماری تحقیق پیاده سازی شده و آزمون عددی تحت سناریوهای متعدد انجام می شود. در بخش پنجم، یافته های مدل تشریح شده و در نهایت در بخش هفتم، نتیجه گیری می گردد.

۲-روش‌شناسی پژوهش

در چرخه عمر محصولات فاسدشدنی پس از طی مراحل مختلف تولید تا توزیع و رسیدن به دست مصرف کننده نهایی، عوامل مختلفی سبب ایجاد ضایعات کمی و کیفی این محصولات می شوند. ضایعاتی که در چنین سیستم هایی رخ می دهند به نوعی مشخص کننده نقاط ضعف سیستم است. امروزه با توجه به چنین شرایطی برای محصولات فاسدشدنی، مفهوم نوین مدیریت زنجیره سرد ظهور کرده است(Montanari, 2008).

تاکنون در خصوص مدیریت زنجیره سرد تعاریف معدودی توسط پژوهشگران ارائه شده است. مدیریت زنجیره سرد، مدیریت سیستم هایی است که مواد فاسدشدنی را در یک درجه حرارت محیطی مناسب در تمامی مراحل، از تولید کننده تا مصرف کننده نهایی، جهت تضمین کیفیت در بر می گیرد(Salin & Nayga, 2003). مونتانری(۲۰۰۸) مدیریت زنجیره سرد را به اداره کردن امور مربوط به محصولات فاسد شدنی مانند محصولات دارویی، فرآورده های خونی، محصولات لبنی، غذایی، سبزیجات، میوه، گل، گوشت و سایر محصولات فاسدشدنی اطلاق نموده که باید به طور روزانه و در زمان خاصی توزیع شوند(Montanari, 2008). سالین و نایگا(۲۰۰۳) مدیریت زنجیره سرد را سیستمی پویا معرفی می کنند که با نظارت و برنامه ریزی مؤثر به اداره کردن مراحل مختلف چرخه عمر محصولات فاسدشدنی می پردازد و با استفاده از فرآیندها و فعالیت های مناسب به کاهش هزینه های تولید، کاهش ضایعات، افزایش کیفیت، کاهش مسمومیت، افزایش رضایتمندی مشتریان و افزایش درآمد تولیدکنندگان و دیگر مشاغل فعال در بازار فاسدشدنی منجر می شود(Salin & Nayga, 2003). به بیان دیگر مدیریت زنجیره سرد، به شرایطی اشاره دارد که برمبنای آن به تجهیزات و برنامه ریزی ویژه ای در یک شبکه، جهت حفظ و نگهداری کیفیت مواد فاسد شدنی در تمامی فرآیند، از تولید کننده تا مصرف کننده نهایی، نیاز است(Lan & Ya, 2008). اما یکی از مهمترین جنبه های تمایز زنجیره سرد نسبت به زنجیره تأمین سنتی در میزان خسارت احتمالی ناشی از عدم تحویل به موقع محصولات و نظارت صحیح بر فرآیندها می باشد، زیرا عدم تحویل به موقع محصولات در زنجیره سنتی صرفاً به تحمیل هزینه هایی از قبیل جریمه های دیرکرد، بیکاری نیروی انسانی، توقف خطوط تولید و از دست دادن سهم بازار منجر می گردد؛ در حالی که در زنجیره سرد علاوه بر موارد ذکر شده، موجب فساد کلی محصول و از دست دادن کیفیت و ایجاد مسمومیت ها می‌گردد. همچنین به دلیل ماهیت خاص برخی محصولات فاسدشدنی، قابلیت بازیافت آن ها نیز وجود نداشته و ضایعات باعث تحمیل خسارات جبران ناپذیری به محیط زیست می گردد(Shabani et al., 2011).

در زنجیره تامین پایدار، کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه ای از اهمیت بالایی برخوردار است. اکثر کشورها به منظور کاهش انتشار کربن، مکانیزم‌هایی را طراحی کرده‌اند. قانون" cap-and-trade " که توسط دولت ها تحمیل می‌شود، انگیزه‌ای جهت کاهش انتشار کربن در زنجیره تامین ایجاد می کند(Xu, Chen & Bai, 2016). در پاسخ به مقررات سختگیرانه و افزایش آگاهی های زیست محیطی، شرکتها در تلاش برای کاهش تاثیرات گرمایش جهانی در عملیات خود هستند(Saif &

Elhedhli, 2016). بنابراین، سازمان ها در سراسر جهان تلاش های زیادی برای کاهش انتشار GHG انجام داده اند. در بسیاری از صنایع، عملیات زنجیره تامین منبع مهمی برای انتشار GHG است. بر اساس یک تخمین علمی بیش از سه چهارم انتشار گازهای گلخانه ای مرتبط با بخش های مختلف صنعت مربوط به فعالیت های زنجیره تامین است(Wang, Lai & Shi, 2015).

بر اساس نظر جیمز و جیمز(۲۰۱۰)، حدود ۱٪ از تولید گازهای گلخانه ای جهان از طریق زنجیره تامین سرد ایجاد می شود. در مورد زنجیره تامین سرد، افزایش هزینه‌های انرژی، اثرات منفی زیست محیطی و فشار ذینفعان مختلف با مقررات دولتی همراه شده است. از این رو، در زنجیره تامین سرد کاهش هزینه های مصرف انرژی به عنوان سمبل پایداری مبدل شده است. با توجه به چنین نگرانی ها محققان به دنبال بررسی جنبه های زیست محیطی زنجیره تامین سرد و در نظر گرفتن انتشار GHG در مدلهای بهینه سازی عملکرد زنجیره تامین هستند(Hariga, As'ad & Shamayleh, 2017).

بخش دیگر ادبیات پژوهش به نقش حمل و نقل و انبارداری اقلام سرد در انتشار گازهای گلخانه ای اشاره دارد. با وجود فاصله بین مناطق مختلف جهان، تدارکات محصولات وابسته به دمای نگهداری که دارای شرایط زمانی و تحویل متفاوتی است؛ از اهمیت خاصی برخوردار است. به حداقل رساندن زمان تحویل اقلام فاسد شدنی یکی از مشکلات اصلی حمل و نقل است، زیرا قیمت آنها در طول زمان کاهش می یابد و تاثیرات اقتصادی منفی بر تمام اعضای زنجیره تامین دارد (Yakavenka et al., 2016).

بسیاری از ضایعات شرکت هایی که در زمینه محصولات فاسدشدنی در حال فعالیت هستند؛ ناشی از عدم تناسب تجهیزات حمل ونقل با نوع محصولاتی است که در حال تولید و عرضه است. انتخاب صحیح سیستم حمل ونقل کالاها و محصولات فاسد شدنی می تواند به حفظ کیفیت مواد فاسدشدنی در طول تمامی مراحل حمل ونقل زنجیره سرد از تولید کننده تا مصرف کننده نهایی منجر شده و از فاسد شدن و ایجاد ضایعات در محصولات تا حد زیادی جلوگیری کند. همچنین از آنجایی که این نوع محصولات نیازمند نگهداری در شرایط محیطی خاصی هستند؛ دیگر تجهیزات حمل و نقل معمولی پاسخگوی برآوردن نیازها نیست. به منظور حل این مسئله، جهت حمل و نقل از وسائل نقلیه با سیستم سرد کننده (مانند کامیونها، ظروف و واگن های یخچال دار) استفاده می شود که همراه با امکانات مناسب سردخانه ای موجب حفظ کیفیت محصولات فاسد شدنی می شوند(Yakavenka et al., 2016).

صنعت حمل و نقل باعث ایجاد حدود ۵ درصد از انتشار کربن در جهان می شود و تولید GHG ناشی از حمل و نقل بسیار بالا است. در بخش حمل و نقل، ارتباطاتی بین هزینه ها و انتشار کربن وجود دارد. ضریب بار یک شاخص عملکرد مهم برای حمل و نقل است و بیان کننده نسبت تناژ واقعی حمل شده به حداکثر باری که قابل حمل، می باشد و وسلیه نقلیه باید با توجه به حداکثر وزن خود پر شود. ضریب بار برای حمل و نقل جاده ای در بیشتر کشورها پایین است. به عنوان مثال، براساس گزارش آژانس محیط زیست اروپا به طور کلی ضریب بار در کشورهای اروپایی کمتر از ۵۰ درصد است. در نتیجه، ناکارآمدی حمل و نقل جاده ای منجر به ایجاد هزینه و انتشار کربن زیادی شده است. در زنجیره تامین، اگر ظرفیت کامیون در نظر گرفته نشود، راه حل "بهینه کربن" به طور کلی شامل بارگذاری کامیون فراتر از ظرفیت خود است. به منظور جلوگیری از چنین اشکالاتی، احتساب ظرفیت کامیون با در نظر گرفتن انتشار کربن ضروری است. در نتیجه، در سیستم حمل و نقل مورد بررسی، ظرفیت کامیون های ورودی و خروجی به طوردقیق حساب می‌شود. با توجه به این توضیحات شرکت ها می توانند با ایجاد رابطه منطقی بین کارایی حمل و نقل و سایر اهداف مانند به حداقل رساندن موجودی، کل هزینه های لجستیکی خود را بهینه کنند(Bouchery et al., 2017).

بخش سوم از ادبیات نظری پیرامون بررسی نتایج تحقیقات اخیر می باشد. طی سال های اخیر انواع مدل های مختلف برای طراحی زنجیره تامین با مقاصد به حداقل رساندن انتشار GHG مطرح شده اند، که هر کدام بر اساس مفروضات و ابعاد خصوصی تمرکز داشته‌اند. رامودین و همکاران(۲۰۰۸) یک مدل طراحی زنجیره تامین سبز را ارائه نمودند که ملاحظات مبادله کربن را در نظر می‌گیرد اما فرض می‌کند که اندازه و موقعیت تسهیلات از پیش شناخته شده می باشد(Ramudhin et al.,

2008). یک مدل دقیق‌تر و پیچیده چند هدفه که جنبه‌های ارزیابی چرخه عمر (LCA[۳]) در فرایند طراحی زنجیره تامین را در نظر گرفته بود، توسط بوجارسکی و همکاران (۲۰۰۹) ارائه شد. موقعیت تسهیلات، انتخاب نوع فناوری پردازش و برنامه ریزی تولید/ توزیع از تصمیمات راهبردی شناسایی شده در مدل ارائه شده محسوب می شوند(Bojarski et al., 2009). ژین و همکاران (۲۰۰۹) در به تحلیل شرایط محیطی و درجه حرارت مناسب در خودروهای یخچا ل دار در سیستم حمل ونقل و لجستیک زنجیره سرد پرداختند. و بین مدل های مختلف لجستیک، مدل تعادل حرارتی به عنوان بهترین رویه جهت حمل ونقل در زنجیره سرد انتخاب و معرفی شد(Xin, Ruhe & Guanghai, 2009). جیمز و جیمز(۲۰۱۰) اثرات متقابل زنجیره سرد و تغییرات آب و هوایی را بررسی کردند. تغییرات آب و هوایی جهان بر روی زنجیره تامین سرد از طریق افزایش متوسط دما، موجب افزایش مصرف انرژی در سیستم های تبرید می شود. از سوی دیگر، تولید این انرژی و از گازهای سیستم خنک کننده، منجر به تولید CO_2 و گرم شدن زمین می‌گردد(James & James, 2010). آپت(۲۰۱۰) اهمیت بسیار زیادی برای زمان توزیع و تحویل کالا در شبکه مدیریت زنجیره تامین مواد فاسد شدنی قائل شد و نتیجه گیری کرد که تصمیم گیرندگان زنجیره تامین باید زمان را به عنوان یک فاکتور اساسی در نظر بگیرند تا آسیب پذیری شبکه تامین و اختلال آن کاهش یابد. از این رو، مسیرهای حمل و نقل و تصمیم گیری برای انتخاب حالتهای مختلف حمل و نقل بسیار مهم هستند(Apte, 2010). رونگ و همکاران(۲۰۱۱) یک مدل MILP[۴] ارائه دادند که هدف آن کمینه سازی هزینه های کل برنامه ریزی تولید و توزیع مواد فاسد شدنی با تمرکز بر کیفیت محصول بود و تاکید آنها بر زمان حمل و نقل و محدودیت مدت زمان ذخیره سازی بود(Rong, Akkerman & Grunow, 2011). جابر و همکاران(۲۰۱۳) با هدف هماهنگی در زنجیره تامین با انگیزه کاهش تولید GHG ، انتشار کربن را در دو سطح (فروشنده و خریدار) زنجیره تامین بررسی کردند. هدف آنها به حداقل رساندن موجودی ها و کاهش هزینه های ناشی از جرائم انتشار کربن بیش از حد و تولید GHG بود(Jaber, Glock & El Saadany, 2013). بن جعفر و همکاران(۲۰۱۳)، به بررسی انتشار کربن در زنجیره تامین با دیدگاه مدل های ساده پرداخت. آنها تصمیم گیری های عملیاتی در تدارکات، تولید، و مدیریت موجودی را با در نظر گرفتن انتشار کربن بصورت یکپارچه بررسی کردند و نشان دادند که سیاستهای انبارداری و کنترل موجودی اقلام سرد در انتشار کربن موثر است(Benjaafar, Li & Daskin, 2013). چن و همکاران(۲۰۱۳) یک مدل میزان سفارش اقتصادی (EOQ[۵]) برای بهینه‌سازی میزان سفارش در خصوص تابع قیمت با محدودیت تولید GHG را بررسی کردند. آنها مقدار بهینه سفارش را با توجه به تابع هدف هزینه و تابع انتشار GHG به عنوان یک محدودیت در نظر گرفتند. همچنین اثرات GHG به عنوان یک محدودیت در مقدار سفارش بهینه برای سناریوهای مختلف لحاظ شد(Chen, Benjaafar & Elomri, 2013). هوون و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی اثر مقررات انتشار کربن در انتخاب برنامه های حمل و نقل تحت تقاضای تصادفی پرداختند و هزینه های موجودی، حمل و نقل و انتشار کربن را تجزیه و تحلیل نمودند. آنها با ارائه فرمول ریاضی مشکل انتخاب حالت های مختلف حمل و نقل را تحت سیاستهای نظارتی مختلف انتشار کربن بررسی کردند(Hoen et al., 2014). گاویندان و همکاران (۲۰۱۴) مدل بهینه سازی چند هدفه برای طراحی شبکه چندمنظوره زنجیره تامین پایدار برای مواد فاسد شدنی با اهداف دوگانه به حداقل رساندن هزینه ها و اثرات زیست محیطی بررسی و پیشنهاد کردند برای این منظور یک مساله مسیریابی چند منظوره با پنجره های دو زمانه مورد استفاده قرار گیرد (Govindan et al., 2014).

دیابت و سالیم،(۲۰۱۵) یک مسئله مکان یابی–موجودی را بررسی کردند که سعی در کاهش تاثیر GHG دارد. مدل ارائه شده شامل یک تامین‌کننده، چندین توزیع کننده (DCs) و چندین خرده فروش بود و مواد تولید شده از تامین کننده به توزیع‌کننده و از توزیع‌کننده به خرده فروش انتقال پیدا می‌کند. پارامتر تقاضا به صورت غیر قطعی تحت سناریوهای مختلف در نظر گرفته شد.

[3] Life-cycle assessment
[4] Mixed-integer linear programming
[5] Economic Order Quantity

به دلیل پیچیدگی مدل، از الگوریتم ژنتیک برای حل آن استفاده شد و تحلیل حساسیت الگوریتم ژنتیک توسط چندین کروموزوم که به صورت آزمایشی انتخاب شده‌اند، صورت گرفت(Diabat & Al-Salem, 2015). بزرگی و همکاران(۲۰۱۶) نیز ادبیات نظری در زنجیره تامین سرد و انتشار کربن را مورد بررسی قرار دادند. آنها در سه سطح عملیاتی، تاکتیکی و استراتژیکی به بررسی عمیق تصمیم گیری زنجیره سرد در انتشار GHG پرداختند(Bozorgi et al., 2016). سیف و الهدلی (۲۰۱۶) نیز به موضوع طراحی زنجیره تامین سرد با ملاحظات زیست محیطی و بهینه سازی با روش شبیه سازی پرداختند. آنها با در نظر گرفتن مشکلات طراحی زنجیره تامین سرد مدلی را با هدف به حداقل رساندن هزینه کل ظرفیت حمل و نقل، هزینه های موجودی و اثرات گرمایش جهانی توسعه دادند(Saif & Elhedhli, 2016). یاکاونکا و همکاران(۲۰۱۶) یک سیستم پشتیبانی تصمیم برای طراحی شبکه های زنجیره ای سرد مطرح کردند و به شناسایی پارامترها و مشخصه های متمایز کننده زنجیره تامین کالاهای فاسد شدنی پرداختند. و یک روش مدلسازی برای بهینه کردن هزینه های تولید و انتشار CO_2 در طراحی زنجیره تامین ارائه دادند. که برای طراحی زنجیره های تامین بهینه و پایدار باید محدودیت های طول عمر محصولات را در فرایند تصمیم گیری در نظر گرفت. توجه به مدت زمان نگهداری محصول با شناسایی و حذف مسیرهای اضافی در شبکه تامین و حالت های مختلف حمل و نقل بررسی شد(Yakavenka et al., 2016). بوچری و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله ای به بررسی رابطه بین هماهنگی زنجیره تامین و انتشار کربن با توجه به جنبه های هزینه ای پرداختند. در مدل مورد بررسی این مقاله، هزینه های حمل و نقل، موجودی و انتشار کربن محاسبه شد و نکته حائز اهمیت این بود که ظرفیت وسیله نقلیه نیز در بهینه سازی هزینه ها درنظر گرفته شد(Bouchery et al., 2017). هاریگا و همکاران (۲۰۱۷) به ارزیابی اثرات انتشار کربن ناشی از حمل و نقل و اقدامات ذخیره سازی اقلام سرد، در چارچوب زنجیره تامین چند مرحله ای پرداختند که شامل کارخانه/ انبار، مرکز توزیع (DC)و خرده فروشی بود. در این تحقیق ابتدا مدلی برای به حداقل رساندن هزینه های عملیاتی، مدلی برای کاهش انتشار کربن و سپس مدل ترکیبی اقتصادی و زیست محیطی ارائه شد. مدلهای ارائه شده به دنبال بهینه سازی مقادیر حمل و نقل، در کنار تعداد کامیون جهت بالادست و پایین دست زنجیره تامین سرد و همچنین تعداد فریزر مورد استفاده در مرکز توزیع بود و برای حل بهینه سازی هر سه مدل الگوریتم های حل مسئله پیشنهاد شد(Hariga, As'ad & Shamayleh, 2017). در این پژوهش با استفاده از یک مدل ریاضی که تصمیم گیری‌های استراتژیک مکان یابی و تصمیم گیری‌های تاکتیکی موجودی را در بر می گیرد به طراحی مدل تصمیم‌گیری چند هدفه مدیریت زنجیره تامین سرد پرداخته شده که هدف آن کاهش هزینه کلی زنجیره تامین، شامل هزینه‌های ظرفیت، حمل و نقل و موجودی و همچنین هزینه‌های مربوط به تاثیر گرم شدن کره زمین به دلیل انتشارات GHG می باشد. همچنین تاثیرات زیستی انتشار CO_2 به دلیل مصرف انرژی و نیز نشت گاز خنک کننده در انبارها و وسایل نقلیه و همچنین کم کردن هزینه در مدیریت زنجیره تامین سرد مورد بررسی قرار گرفته است.

الف) مدلسازی ریاضی

با توجه به توصیف مسئله تحقیق و اینکه روش کلی حل مسئله از نوع برنامه ریزی ریاضی است، به مدلسازی ریاضی پرداخته می شود. برای مدلسازی ریاضی بر اساس هدف کلی تحقیق که کاهش هزینه کلی زنجیره تامین، شامل هزینه‌های ظرفیت، حمل و نقل و موجودی و همچنین هزینه‌های مربوط به تاثیر گرم شدن کره زمین به دلیل انتشارات(GHG) می باشد، ابتدا مفروضات مسئله تبیین و سپس شاخص های مدل، پارامترها و متغیرهای تصمیم بیان می گردد. در نهایت بر مبنای اهداف تحقیق، ۲ تابع که در برگیرنده بهینه سازی هزینه ها و ماکزیمم کردن کاهش زمان ترمیم تسهیلات، ارائه می شود. مفروضات مدل در واقع ویژگی های مدل هستند که با توجه به اهداف تحقیق و مرور ادبیات تحقیق آورده شده اند.

مفروضات مدل:

۱. همه تولید کنندگان یک نوع محصول تولید می‌کنند(مدل تک محصولی است).
۲. مدل تک دوره ای است.
۳. تولید کنندگان و مراکز توزیع در معرض اختلال احتمالی هستند.
۴. تمام نیاز های مشتری باید برآورده شود.

۵. تولیدکنندگان دارای تولید و عرضه محدود هستند و همه تولیدکنندگان می‌توانند در صورت لزوم به تمام مراکز توزیع محصول نهایی را منتقل کنند و هیچ محدودیتی در این زمینه وجود ندارد.
۶. هزینه تولید هر واحد محصول در نقاط مختلف به دلیل متفاوت بودن دستمزد نیروی کار، هزینه انرژی و قیمت مواد خام متفاوت است.
۷. هزینه حمل و نقل از تولیدکننده به توزیع کننده و از توزیع کننده به مشتریان با توجه به پارامترهایی چون مسافت حمل و نقل، نوع وسیله حمل و نقل (کامیون، کشتی، هواپیما و ...) متفاوت است.
۸. اختلال به وجود آمده در تولیدکنندگان و توزیع کنندگان می‌تواند کلی یا جزئی باشد. یعنی این امکان وجود دارد که کل یک تسهیل دچار اختلال شود و تسهیل در دوره زمانی مختل شده قادر به ارایه هیچ گونه سرویسی نباشد و یا در حالت اختلال جزئی بخشی از تسهیل دچار اختلال شده و تسهیل قادر است درصدی از ظرفیت خود را سرویس دهد.
۹. نقاط مشتری از قبل و طبق مطالعات انجام شده در بازار شناسایی شدند و تقاضا و نیازهای مشتریان برآورد گردیده است.
۱۰. جهت انتخاب مکان تولیدکنندگان و توزیع کنندگان نقاط کاندیدی در نظر گرفته شده است که با توجه به شرایط و مدل اقدام به تاسیس یا عدم تاسیس آنها گرفته می‌شود.
۱۱. فرض شده که از منابع موجود، ترمیم مورد نیاز، در زمانی که کل تسهیل دچار اختلال شده را برآورد کنیم و بر اساس درصد اختلال می‌توان مقدار بودجه مورد نیاز ترمیم تسهیل در زمان اختلال جزیی را برآورد کرد.
۱۲. تعداد تسهیلاتی که باید احداث شوند از قبل تعیین شده نیست.
۱۳. جریان مواد تنها بین دو سطح متوالی از لایه های شبکه می‌تواند برقرار باشد و همچنین ارتباطی بین تسهیلات در یک لایه وجود ندارد.
۱۴. تقاضای مشتریان ثابت و معلوم است.
۱۵. هر مشتری می‌تواند از یک یا چند مرکز توزیع سرویس دریافت کند.
۱۶. تسهیلات (تولید و توزیع) مستقل از یکدیگرند و اختلال در یک تسهیل تاثیری در عملکرد تسهیل دیگر ندارد.

شاخص های مدل:

برای تبیین مدل ریاضی این تحقیق چهار شاخص در نظر گرفته شده است که عبارتند از:

۱- شاخص خرده فروشان / مشتریان: $i = 1 , \dots , m$
۲- شاخص مکان های بالقوه انبار: $j = 1 , \dots , n$
۳- شاخص کارخانه های تولید: $k = 1 , \dots , n$
٤- شاخص محصولات: $l = 1 , \dots , q$

پارامترها و متغیرهای تصمیم:

پارامترهای مدل ریاضی مسئله که شامل ۳۴ مورد است در جدول(۱) فهرست گردیده و متغیرهای تصمیم در مدل ریاضی نیز که شامل ۱۳ متغیر است در جدول(۲) بیان شده است.

جدول شماره (۱): پارامترهای مدل ریاضی تحقیق

ردیف	پارامترها	توضیحات
۱	a_j	هزینه ثابت سالیانه برای باز کردن یک انبار در مکان j
۲	c_{jkl}	هزینه حمل و نقل محصول از واحد تولیدی به انبار
۳	d_{il}	تقاضای مورد انتظار سالانه محصول از خرده فروشان
۴	r_{ij}	هزینه سالانه خدمت به مشتری از یک انبار
۵	$s_{jl}(.)$	حداکثر عملکرد موجودی
۶	$t_{jl}(.)$	تابع هزینه کل موجودی

ردیف	پارامترها	توضیحات
۷	u_l	حجم محصول
۸	$f_j(.)$	تابع هزینه ظرفیت وابسته به دوره
۹	eCO_{2jkl}	میانگین انتشارات CO2 منتشره از حمل و نقل محصول از واحد تولیدی به انبار
۱۰	$eHFC_{jkl}$	میانگین نشت گاز HFC از حمل و نقل محصول از واحد تولیدی به انبار
۱۱	GWP_{HFC}	پتانسیل گرمایش زمین از انتشاره گازهای HFC
۱۲	b_j	ثابت سالیانه میزان گاز CO_2 از انبار
۱۳	O_{ij}	میزان انتشار گاز CO_2 جهت خدمت رسانی از انبار به خرده فروش
۱۴	$g_j(.)$	میزان گاز CO_2 منتشره از یک انبار به عنوان تابعی از حجم آن
۱۵	N_l	تعداد واحدهای حمل محصول
۱۶	Nv	تعداد حمل محموله ها با استفاده از یک نوع کامیون
۱۷	Uv	گنجایش یک نوع کامیون
۱۸	F_i	هزینه ثابت برای احداث تسهیل i
۱۹	F_j	هزینه ثابت برای احداث تسهیل j
۲۰	y_{ij}	هزینه انتقال هر واحد محصول ازتسهیل i به تسهیل j
۲۱	y_{jk}	هزینه انتقال هر واحد محصول ازتسهیل j به تسهیل k
۲۲	S_i	حد اکثر عرضه محصول توسط تولید کننده i
۲۳	Z_j	حداکثر ظرفیت مرکز توزیع j
۲۴	D_k	تقاضای مشتری در نقطه k
۲۵	A_i	درصدی از اختلال که ممکن است تسهیل i با آن مواجه شود
۲۶	a_j	درصدی از اختلال که ممکن است تسهیل j با آن مواجه شود
۲۷	R_i	حد اکثر منبع پشتیبان مورد نیاز زمانی که کل تسهیل i دچار اختلال شده است.($a_i=1$)
۲۸	R_j	حد اکثر منبع پشتیبان مورد نیاز زمانی که کل تسهیل j دچار اختلال شده است.($a_j=1$)
۲۹	TB_i	کل بودجه پشتیبان پیش بینی شده برای تولیدکنندگان در زمان مواجه با اختلال
۳۰	TB_j	کل بودجه پشتیبان پیش بینی شده برای مراکز توزیع در زمان مواجه با اختلال
۳۱	m_i	نسبت بین منبع مصرفی به زمان ترمیم در تولید کننده i
۳۲	m_j	نسبت بین منبع مصرفی به زمان ترمیم در مرکز توزیع j
۳۳	w_i	هزینه برون سپاری در هر واحد زمان برای تسهیل i
۳۴	w_j	هزینه برون سپاری در هر واحد زمان برای تسهیل j

جدول شماره (۲): متغیرهای تصمیم مدل ریاضی تحقیق

ردیف	متغیرتصمیم	توضیحات
۱	X_{ij}	متغیرهای تصمیم گیری دودویی برای اختصاص خرده فروشان به انبارها
۲	Y_{jkl}	تعدادی از محصولات حمل شده از خط تولید به انبار
۳	z_j	متغیرهای تصمیم گیری دودویی برای محل انبار
۴	q_{ij}	مقدار محصولی که باید از تسهیل i به مرکز توزیع j انتقال داده شود
۵	q_{jk}	مقدار محصولی که باید از تسهیل j به مرکز توزیع k انتقال داده شود
۶	X_i	اگر تولید کننده i باز شود برابر با یک ودر غیر این صورت صفر است
۷	X_j	اگر مرکز توزیع j باز شود برابر با یک ودر غیر این صورت صفر است
۸	t_i	مقدار کاهش زمان ترمیم برای تسهیل مختل شده i

ردیف	متغیرتصمیم	توضیحات
۹	t_j	مقدار کاهش زمان ترمیم مورد نیاز برای تسهیل مختل شده j
۱۰	rb_i	بودجه ترمیم در نظر گرفته شده برای تسهیل i
۱۱	rb_j	بودجه ترمیم در نظر گرفته شده برای تسهیل j
۱۲	osb_i	بودجه برون سپاری در نظر گرفته شده برای تسهیل i
۱۳	osb_j	بودجه برون سپاری در نظر گرفته شده برای تسهیل j

ب) توابع هدف و محدودیت ها

در تابع هدف اول تحقیق کل هزینه سالانه مورد انتظار این سیستم شامل: هزینه ظرفیت انبار (ثابت و وابسته به اندازه)، هزینه انتقال و جابجایی بین کارخانه‌ها و انبارها، و بین انبارها و خرده فروشان، و هزینه های موجودی (مثل سفارش دهی، نگهداری، و بازگرداندن سفارشات، یا هزینه ضرر فروش ها) می باشد که به صورت زیر فرمول سازی می شود:

رابطه (۱)

$$TC = \sum_{j=1}^{n}(\hat{a}_j z_j) + \sum_{j=1}^{n} 1 \sum_{k=1}^{p} 1 \sum_{l=1}^{q} \hat{c}_{jkl} y_{jkl} + \sum_{j=1}^{n} 1 \sum_{i=1}^{m} \hat{r}_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^{n} 1 \sum_{l=1}^{q} t_{jl} \left(\sum_{i=1}^{m} d_{il} x_{ij} \right) + \sum_{j=1}^{n} \hat{f}_j \left(\sum_{l=1}^{p} u_l s_{jl} \left(\sum_{i=1}^{m} d_{il} x_{ij} \right) \right)$$

سیستم های تهویه هوا (خانگی و خودروها) و یخچالها (خانگی، صنعتی، تجاری، و حمل و نقل) بیشترین میزان گازهای HFC را تشکیل می‌دهند. فرآوری غذا، سردخانه‌ها و کاربرد آن در حمل و نقل تقریبا دو سوم از مقدار کلی استفاده از HFC در یخچال ها را تشکیل می‌دهد. بنابراین، استفاده از گازهای سرد کننده و همچنین محاسبه مجموع تاثیر گرم شدن جهانی برای شرکت هایی که از این گازها استفاده می‌کنند اهمیت زیادی دارد.

هر کارخانه دارای ظرفیت کافی برای برآوردن تقاضای کل می باشد، بنابراین ظرفیت کارخانه یک مسئله نیست.

تعداد، مکان و اندازه انبارها برای باز کردن در ابتدا شناخته شده نیست. یک مقدار ثابت هزینه سالانه a_j برای باز کردن یک انبار در مکان j وجود دارد. علاوه بر این، هزینه ظرفیت وابسته به حجم نشان داده شده توسط یک تابع مقعر $f_j(.)$ برای رسیدن به مقیاس اقتصادی وجود دارد. محصولات از کارخانه ها برای باز کردن انبارها در مقادیر انبوه با استفاده از کامیون ها جا به جا می شوند، بنابراین C_{jkl} ، هزینه حمل و نقل یک واحد از محصول l از کارخانه‌ی K به انبار J، ثابت است. هر واحد محصول l دارای حجم u_l می‌باشد. برای تضمین خدمات بهتر به مشتریان، هر خرده فروش به یک انبار برای انجام نیازهای آن از همه محصولات اختصاص یافته است. هیچ محدودیتی در رابطه با الگوی تقاضای خرده فروشان وجود ندارد، به عنوان مثال، زمان و ترکیب سفارشات می‌تواند از هر گونه توزیع احتمالی پیروی کند. با این حال، ما فرض می‌کنیم که برنامه ریز می‌تواند این توزیع را با دقت منطقی مشخص کند. فرض کنید d_a تقاضای سالانه مورد انتظار محصول l از خرده فروش i باشد. محصولات سفارش داده شده با استفاده از انواع مختلف کامیون ها بسته به اندازه سفارش و مسافت جا به جا می‌شوند، بنابراین هزینه حمل و نقل از نظر طولی متناسب با تعداد ارکان جا به جا شده نمی‌باشد. با این وجود، از آن جایی که توزیع تقاضای هر مشتری شناخته شده است، r_{ij} می تواند هزینه سالانه خدمت به مشتری i از انبار j برآورد شود. نهایتاً، انبارها یک سیاست موجودی را اجرا می‌کنند که با هدف حداقل رساندن کل هزینه کالا از جمله سفارش دهی، نگهداری، و بازگشت سفارش یا ضرر هزینه‌های فروش می‌باشد. با توجه به دانستن سیاست لیست گیری موجودی در هر انبار، می توانیم تابع هزینه کل موجودی $t_{jt}(.)$ و تابع میزان حداکثر موجودی $S_{jt}(.)$ را برای هر محصول بسازیم، که هر دو تابع کل تقاضای انجام شده توسط انبار می‌باشد. بیشترین سطح موجودی به سیاست موجودی گیری اجرا شده توسط انبارها بستگی دارد. برای مثال، اگر یک انبار از سیاست موجودی مبنا

یا یک سیاست (s,S) استفاده کند، برابر با سفارش تا مقدار (به ترتیب، R یا S) می باشد؛ در حالی که برای سیاست های یک نقطه سفارش مجدد (Q,R) یا (R,n Q) این برابر با Q+R است و غیره. به علاوه، تأثیر گرمای جهانی این سیستم نتیجه انتشار GHG از طریق جابجایی قطعات بین کارخانه ها و انبارها، و بین انبارها و خرده فروشان، و انتشارات GHG مربوط به انبار کردن محصولات می باشد.

فرض کنید $eCO2_{jkl}$ میانگین انتشارات دی اکسید کربن مربوط به جابجایی یک جزء از محصول l بین کارخانه‌ی k و انبار j باشد و $eHFC_{jkl}$ میانگین نشت گاز HFC به ازای هر واحد از محصول l جابجا شده بین کارخانه ی k و انبار j است. تأثیر گرمای جهانی ترکیب شده از هر دو گاز منتشر شده با استفاده از اصل تعادل بین انتشار یک جزء از HFC و واحد GWP_{HFC} از دی اکسید کربن اندازه‌گیری می‌شود که GWP_{HFC} پتانسیل گرمایش جهانی HFC است. بنابراین، e_{jkl} میزان دی اکسید کربن معادل گازهای گلخانه ای ساتع شده برای جابجایی یک جزء بین یک کارخانه و یک انبار به این صورت محاسبه می گردد:

رابطه (۲) $$e_{jkl} = GWP_{HFC} . eHFC_{jkl} + eCO_{2jkl}$$

به علاوه، O_{ij} میانگین انتشارات دی اکسید کربن سالانه برای خدمت به خرده فروش i از انبار j ، b_j میانگین انتشارات دی اکسید کربن سالانه ثابت از انبار j و تابع مقعر $g_j(.)$ میانگین انتشارات دی اکسید کربن سالانه از یک انبار به عنوان تابعی از حجم آن می تواند در روشی مشابه مشاهده گردد. بنابراین کل انتشارات دی اکسید کربن این سیستم می تواند به این صورت تعریف شود:

رابطه (۳)

$$TE = \sum_{j=1}^{n}(b_j z_j) + \sum_{j=1}^{n} 1 \sum_{k=1}^{p} 1 \sum_{l=1}^{q} e_{jkl} y_{jkl} + \sum_{j=1}^{n} 1 \sum_{i=1}^{m} O_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^{n} g_j \left(\sum_{l=1}^{q} u_l s_{jl} \left(\sum_{i=1}^{m} d_{il} x_{ij} \right) \right)$$

فرض کنید w وزن تعیین شده برای هدف به حداقل رساندن انتشارات است که می تواند قیمت انتشارات کربن در زمینه یک طرح تجارت کربن باشد. از این رو، برای به حداقل رساندن همزمان هزینه کل و کل انتشارات دی اکسید کربن، تابع هدف برابر است با:

رابطه (۴) TC+w.TE

که با توجه به آن، مسئله بصورت رابطه(۵) فرمول نویسی می‌شود:

$$[P]: \ min \sum_{j=1}^{n}(\hat{a}_j z_j) + \sum_{j=1}^{n} 1 \sum_{k=1}^{p} 1 \sum_{l=1}^{q} \hat{c}_{jkl} y_{jkl} + \sum_{j=1}^{n} 1 \sum_{i=1}^{m} \hat{r}_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^{n} 1 \sum_{l=1}^{q} t_{jl}\left(\sum_{i=1}^{m} d_{il} x_{ij}\right) + \sum_{j=1}^{n} \hat{f}_j \left(\sum_{l=1}^{q} u_l s_{jl}\left(\sum_{i=1}^{m} d_{il} x_{ij}\right)\right)$$ رابطه (۵)

$$s.t. \quad \sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1 \qquad \forall i$$ رابطه (۶)

$$\sum_{k=1}^{p} y_{jkl} = \sum_{i=1}^{m} d_{il} x_{ij} \qquad \forall j, l$$ رابطه (۷)

$$\sum_{k=1}^{p} x_{ij} \leq z_j \qquad \forall i, j$$ رابطه (۸)

$$\sum_{k=1}^{p} x_{ij} \ , z_j \in \{0,1\}, \quad \forall i, j, \quad y_{jkl} \geq 0, \qquad \forall j.k.l$$ رابطه (۹)

که:

$$f_j(.) = f_j(.) + wg_j(.)$$

$$\hat{c}_{jkl} = c_{jkl} + we_{jkl}$$

$\hat{r}_{ij} = r_{ij} + wo_{ij}$

$\hat{a}_j = a_j + wb_j$

محدودیت (۶) تضمین می کند که هر خرده فروش واقعاً برای یک انبار تعیین می گردد. محدودیت (۷) میزان تعادل را برای هر انبار و محصول نشان می‌دهد. در حالی که آخرین محدودیت تصریح می‌کند که یک خرده فروش نمی‌تواند برای یک انبار تعیین شود مگر این که آن انبار باز باشد. مدل نخست مشکل طراحی زنجیره عرضه چند کالا را همانند سازی می‌کند که اقتصاد مقیاس را در زنجیره عرضه با استفاده از یک دوره طولانی در تابع هزینه نیز در نظر می‌گیرد. به منظور پیدا کردن r_{ij} و o_{ij}، هزینه سالانه و انتشار کربن معادل برای خدمت به خرده فروش i توسط انبار j، فرض کنیم که هر خرده فروش به صورت جداگانه خدمت کرده است، به عنوان مثال، یک کامیون به یک خرده فروش تک برای ارسال انجام سفارش آن اختصاص دارد. این فرض زمانی معقول است که فرکانس سفارش کم است (به عنوان مثال، کاملاً بعید است که برای چند خرده فروش مجاور در همان روز سفارش انجام گیرد)، زمانی که اندازه حمل و نقل بزرگ باشد، و یا وقتی که خرده فروشان به طور گسترده ای پراکنده شده اند. فرض کنید $V=\{1,\ldots,v\}$ مجموعه ای از انواع وسایل نقلیه مختلف است که می تواند برای جابجایی محصولات بین انبارها و خرده فروشان مورد استفاده قرار گیرد. پس از دانستن توزیع تقاضا از هر خرده فروش، می‌توانیم تعداد مورد انتظار سالانه محموله ها را با استفاده از یک نوع خاص از کامیون تعیین کنیم:

رابطه (۱۰)

$$E(N_v)= E(N).Pr(U_{v-1}<\sum_{l=1}^{q}.N_l u_l \le U_v).1_v \epsilon V_{ij}$$

که N_v تعداد جابجایی‌ها با استفاده از نوع کامیون v، U_v و U_v-1 ظرفیت حجمی انواع کامیون v و نوع کوچکتر بعدی آن v-1 و N_l تعداد واحدهای محصول جابجا شده l می باشد، و $1_v \epsilon V_{ij}$ یک تابع شاخص با مقدار ۱ است، در صورتی که این نوع کامیونها متعلق به مجموعه V_{ij} کامیون هایی باشد که بین i و j مورد استفاده قرار می گیرند.

در تابع هدف دوم تحقیق که هدف آن ماکزیمم کردن کاهش زمان ترمیم تسهیلاتی است که دچار اختلال شده و باید زودتر به حالت نرمال برگردند به صورت زیر فرمول نویسی می شود:

$max:\ \sum_{i=1}^{m} t_i + \sum_{j=1}^{d} t_j$ رابطه (۱۱)

$rb_i = R_i a_i x_i$ رابطه(۱۲)

$rb_j = R_j a_j x_j$ رابطه (۱۳)

$t_i = (1/m_i) rb_i x_i$ رابطه (۱۴)

$t_j = (1/m_j) rb_j x_j$ رابطه (۱۵)

$osb_i = t_i w_i$ رابطه (۱۶)

$osb_j = t_j w_j$ رابطه (۱۷)

$\sum_{i=1}^{m} (rb_i + osb_i) x_i \le TB_i \quad i = 1,2,\ldots,m$ رابطه (۱۸)

$\sum_{j=1}^{d} (rb_j + osb_j) x_j \le TB_j \quad j = 1,2,\ldots,d$ رابطه (۱۹)

$q_{jk}, rb_i, rb_j, osb_i, osb_j, t_i, t_j \ge 0 \quad \forall i,j$ رابطه (۲۰)

$x_i, x_j \{0,1\} \forall i,j$ رابطه (۲۱)

در تابع هدف دوم که با هدف کاهش زمان ترمیم تسهیلاتی که دچار اختلال شده تدوین شده است، محدودیت(۱۲) و(۱۳) بیانگر این است که بودجه ترمیم تسهیلات تولید و توزیع در صورتی که احداث شوند، باید برابر ماکزیمم بودجه در نظر گرفته برای آنها شود. محدودیت (۱۴) و (۱۵) بیانگر این است که زمان ترمیم تسهیلات تولید و توزیع در صورت احداث، برابر با بودجه در نظر گرفته برای آن در نسبت بودجه مصرفی به کاهش زمان ریکاوری است. محدودیت (۱۶) و (۱۷) بیانگر مقدار بودجه مورد نیاز

برای برون سپاری فعالیت های تولید و توزیع است. محدودیت (۱۸) و (۱۹) بیانگر این است که مجموع بودجه پشتیبان (شامل مجموع بودجه ترمیم و برون سپاری) تسهیلات تولید و توزیع باید کوچکتر مساوی کل بودجه در نظر گرفته شده برای آنها باشد.

ج) پیاده سازی مدل و آزمون عددی:

در این پژوهش با توجه به ماهیت کار، جامعه آماری محصولات شرکت دامداران است که در بازار محصولات فاسدشدنی در حال فعالیت هستند. نمونه آماری در این پژوهش به صورت فرضی محصولات شیر شرکت دامداران تعیین شده است. علت این انتخاب را نیز می توان بازه زمانی فساد پذیری این محصول و نیز اهمیت به سرد نگه داشتن محصول از مرحله اولیه تولید تا زمان تحویل کالا به مشتری دانست. همان گونه که قبلاً بیان گردید؛ مدل اولیه تحقیق کل هزینه سالانه مورد انتظار سیستم شامل: هزینه ظرفیت انبار (ثابت و وابسته به اندازه)، هزینه انتقال و جابجایی بین کارخانه ها و انبارها، و بین انبارها و خرده فروشان، و هزینه‌های موجودی (مثل سفارش‌دهی، نگهداری، و بازگرداندن سفارشات، یا هزینه ضرر فروش ها) می باشد. در این تحقیق فرض شده که هزینه ظرفیت انبار از توزیع یکنواخت (۱۰۰۰۰۰,۱۸۰۰۰۰) و (۱۲۰۰۰۰, ۵۲۰۰۰۰)، هزینه انتقال و جابجایی بین کارخانه ها و انبارها، و بین انبارها و خرده فروشان به ترتیب از توزیع یکنواخت (۱۰۰۰, ۴۰۰) و (۶۰۰ , ۲۰۰) و هزینه‌های موجودی برای تولید کنندگان و توزیع کنندگان از توزیع یکنواخت (۲,۱۰) و (۲,۱۵) پیروی می‌کند. حال به حل مسئله با مفروضات (تعداد مشتری = ۳۰، ۵۰ و ۵۰) ؛ (تعداد توزیع کننده = ۱۰، ۲۰، ۲۰) و (تعداد تولید کننده= ۱۰،۱۰، ۲۰) پرداخته میشود. مفروضات برای ۲۰ شهر مورد تقاضا به صورت جدول(۳) در نظر گرفته شده است:

جدول شماره (۳): مقادیر مفروض مدل

شهر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
تقاضای مورد انتظار سالانه از خرده فروشان	۱۴۱	۱۱۸	۱۶۸	۱۴۵	۱۱۳	۸۶	۱۶۷	۱۳۵	۱۲۶	۱۲۱	۱۶۰	۱۴۹	۱۵۵	۱۳۸	۱۱۴	۱۲۳	۱۱۳	۱۵۳	۱۱۸	۱۴۱
حجم محصول	۱۵۶	۱۶۵	۱۷۲	۱۷۶	۱۶۵	۱۶۸	۱۷۶	۱۶۴	۱۵۳	۱۷۷	۱۵۴	۱۵۵	۱۵۷	۱۷۵	۱۵۶	۱۶۸	۱۶۰	۱۸۰	۱۵۹	۱۵۶
متغیر تصمیم اختصاص خرده فروش به انبار	۴۲	۳۸	۲۶	۳۵	۳۱	۴۰	۴۰	۳۳	۱۶	۴۷	۳۸	۱۶	۱۸	۲۹	۱۶	۲۸	۳۶	۱۲	۱۶	۴۲

همچنین فرض بر این است که فاصله میان ۲۰ شهر مورد تقاضا به صورت جدول(۴) می باشد:

جدول شماره (۴): فاصله میان شهرها (کیلومتر)

	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
۱	۴۵۰	۳۰	۴۰	۷۰	۱۹۰	۳۰	۴۰	۱۱۰	۳۷۰	۶۰	۳۹۰	۶۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۰۰	۲۶۰	۹۰	۳۹۰	۱۱۰
۲		۴۳۰	۴۴۰	۴۸۰	۶۳۰	۳۷۰	۴۲۰	۵۰۰	۸۰۰	۴۷۰	۴۹۰	۳۶۰	۴۱۰	۵۲۰	۴۹۰	۱۷۰	۴۹۰	۵۰۰	۵۱۰
۳			۲۰	۵۰	۱۷۰	۵۰	۴۰	۸۰	۳۵۰	۴۰	۳۹۰	۸۰	۱۰۰	۹۰	۷۰	۲۸۰	۷۰	۳۷۰	۹۰
۴				۶۰	۱۷۰	۵۰	۳۰	۸۰	۳۴۰	۵۰	۳۹۰	۹۰	۹۰	۱۱۰	۷۰	۳۰۰	۵۰	۳۹۰	۸۰
۵					۱۳۰	۱۰۰	۸۰	۷۰	۳۱۰	۲۰	۴۴۰	۱۳۰	۱۵۰	۶۰	۵۰	۳۳۰	۵۰	۴۴۰	۷۰
۶						۲۱۰	۱۹۰	۱۱۰	۱۹۰	۱۴۰	۵۳۰	۲۴۰	۲۶۰	۱۸۰	۱۰۰	۴۴۰	۱۲۰	۳۷۰	۱۱۰
۷							۲۰	۱۲۰	۳۸۰	۹۰	۳۸۰	۵۰	۹۰	۱۴۰	۱۱۰	۲۵۰	۱۰۰	۳۸۰	۱۲۰
۸								۱۰۰	۳۷۰	۷۰	۳۶۰	۶۰	۷۰	۱۳۰	۱۰۰	۲۷۰	۹۰	۳۶۰	۱۱۰
۹									۲۹۰	۷۰	۴۶۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۲۰	۲۰	۳۵۰	۳۰	۴۶۰	۱۰
۱۰										۳۲۰	۷۲۰	۴۲۰	۴۳۰	۳۶۰	۲۸۰	۶۲۰	۳۰۰	۲۷۰	۲۹۰
۱۱											۴۳۰	۱۲۰	۱۴۰	۶۰	۵۰	۳۲۰	۶۰	۴۳۰	۸۰
۱۲												۳۸۰	۲۹۰	۴۸۰	۴۵۰	۵۸۰	۴۴۰	۱۰	۴۵۰
۱۳													۱۴۰	۱۷۰	۱۴۰	۲۱۰	۱۴۰	۴۳۰	۱۶۰
۱۴														۱۹۰	۱۶۰	۳۴۰	۱۳۰	۲۹۰	۱۶۰

۱۵	۱۳۰	۴۹۰	۱۱۰	۳۷۰	۱۰۰		
۱۶	۳۰	۴۵۰	۲۰	۳۴۰			
۱۷	۳۶۰	۶۳۰	۳۴۰				
۱۸	۳۰	۴۵۰					
۱۹	۴۶۰						

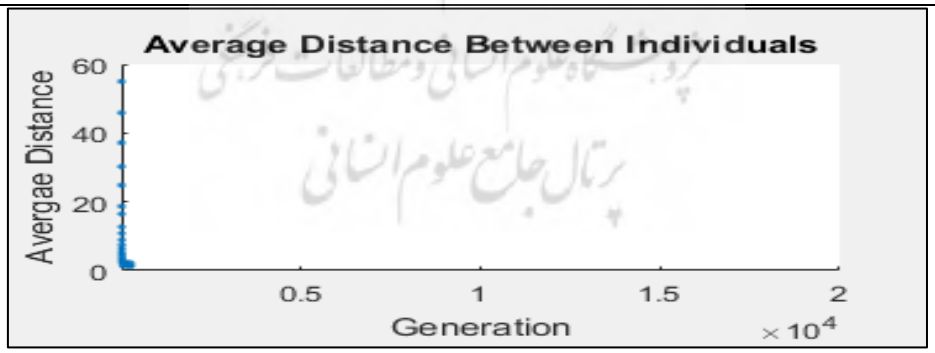
اطلاعات مقادیر پارامترهای الگوریتم NSGA II برابر جدول (۵) است:

جدول شماره (۵): مقادیر پارامترهای الگوریتم NSGA II

Population size	Number of generation	Fraction	Cross over rate	Mutation Percentage	Mutation rate	Cross over Fraction
150	110	0.269	0.975	0.4	0. 02	0.852

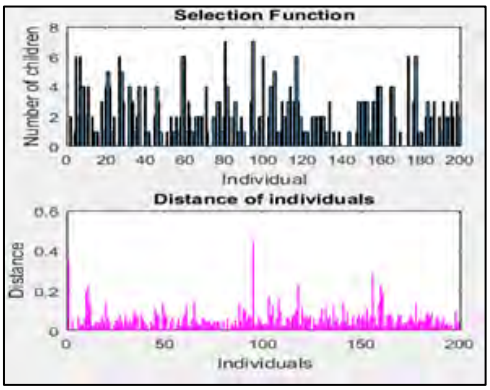
جدول شماره (۶): نتایج حل مساله در ابعاد بزرگ با الگوریتم NSGA II

ردیف	تعداد تولید کننده ، توزیع کننده و مشتری	F_1	F_2
۱	۱۰, ۲۰, ۳۰	10564498.88	1843.264
		10860877	1976.356
		10970961.43	3311.640
		11534148.73	4560.112
		11788320.06	4987.611
		13514773.02	5276.481
۲	۱۰, ۳۰, ۵۰	12869724.8	4898.160
		12976678.24	4899.246
		15146332.21	5146.063
۳	۲۰, ۳۰, ۵۰	14238320.37	5249.013
		14773918.04	5441.088
		15210824.91	5675.689
		15757331.8	5697.801



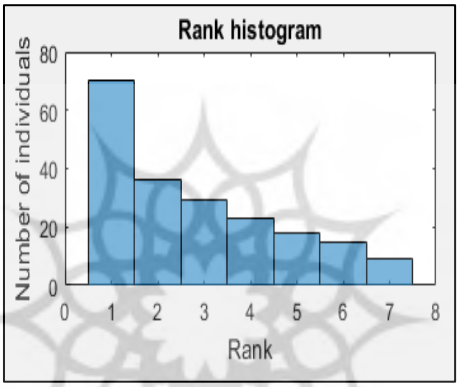
شکل شماره (۱): فاصله میانگین بین افراد در هر نسل

شکل(۱) روش مناسبی برای اندازه گیری گوناگونی جمعیت می باشد. که در مثال حل شده در بالا به دلیل آنکه تمامی مشتریان محصول خاصی از یک شرکت تولیدی فرض گردیده است بنابراین گوناگونی جمعیتی اندک بوده و در مرز مشابهی قرار گرفته است. اگر مقادیر مقیاس شده در محدوده کوچکی متمرکز باشند همه افراد تقریبا شانس مشابه برای تولید مجدد هستند و به این ترتیب پیشرفت جستجو برای تمامی افراد جامعه مورد بررسی می باشد.



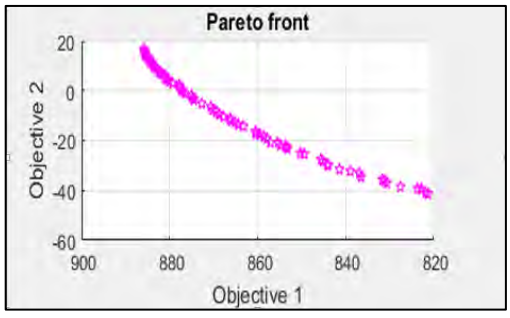
شکل شماره (۲): امتیازات خام جمعیت

مقیاس بندی تابع شایستگی امتیازات خام را که توسط تابع شایستگی برگردانده می شوند را به مقادیری در محدوده مناسب برای تابع انتخاب تبدیل می کند. تابع انتخاب از مقادیر شایستگی مقیاس شده برای انتخاب والدین نسل بعدی استفاده می کند.



شکل شماره (۳): امتیازات پس از عملیات مقیاس بندی Rank

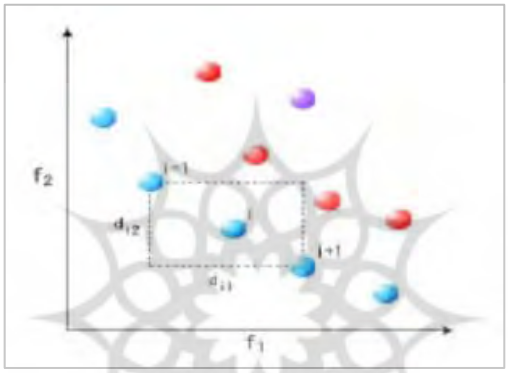
تابع انتخاب به افرادی با مقادیر مقیاسی بالاتر احتمال بیشتری برای انتخاب اختصاص می دهد. محدوده مقادیر مقیاس شده روی کارایی الگوریتم تاثیر زیادی دارد. اگر مقادیر مقیاس شده در محدوده کوچکی متمرکز باشند همه افراد تقریبا شانس مشابه برای تولید مجدد هستند و به این ترتیب پیشرفت جستجو برای تمامی افراد جامعه مورد بررسی می‌باشد. از آنجا که الگوریتم ژنتیک (NSGA) تابع شایستگی را حداقل می کند، کمترین مقدار امتیاز خام دارای بیشترین مقدار مقیاس شده می باشد. در واقع این تابع، امتیازات خام را برمبنای رتبه هر فرد نشان می دهد. رتبه هر فرد با بهترین مقدار شایستگی ۱ و به همین ترتیب ادامه پیدا می کند. در مجموع می توان عنوان نمود که این تابع آثار نامطلوب مربوط به گسترش امتیازات خام را از بین می برد. این الگوریتم در نسل ۸ به بهترین مقدار شایستگی دست پیدا کرده و بعد از آن هیچ پیشرفتی حاصل نشده است. درواقع تا نسل آخر کلیه افراد حاضر در جمعیت یکسان شده و همگی دارای مقدار شایستگی یکسانی می باشند.



شکل شماره (۴): طبقه بندی پارتو

تجزیه و تحلیل پارتو از اصل پارتو استفاده می کند که بنام قانون ۸۰/۲۰ هم شناخته شده است. ایده این اصل این است که ۲۰ درصد از علتها ۸۰ درصد از نتایج را بوجود می آورند. با این ابزار ما سعی می کنیم آن ۲۰ درصد از کار که ۸۰ درصد از نتایج کل

را بوجود می آورد، پیدا کنیم. تجزیه و تحلیل پارتو تکنیک ساده ای برای اولویت بندی تغییراتی است که باعث حل مشکلات می شوند. با استفاده از این رویکرد می توان تغییرات منفردی را که باعث بیشترین بهبود در وضعیت خواهند شد اولویت بندی کرد. در تحلیل این جداول می توان عنوان نمود که در شرایطی که دو جواب از نظر برازندگی وضعیت یکسانی دارند، جوابی ترجیح داده می‌شود که نسبت به دیگر جواب‌های جستجو شده جمعیت، از میزان پراکندگی بیشتری برخوردار باشد. از این رو، در الگوریتم NSGA-II نیز رویه‌ای برای این منظور طراحی شده است. جهت تشریح این رویکرد، ابتدا مفهومی تحت عنوان فاصله تراکمی[۶] ارائه می‌شود. برای بدست آوردن تخمینی از چگالی جواب‌های موجود در کنار یک جواب خاص، مانند جواب i ام در جمعیت، میانگین فاصله دو جواب واقع در طرفین جواب i ام برای هر کدام از M تابع هدف، محاسبه می‌شود. مقدار عددی d_i که از محاسبه تقریبی فضای مکعبی اطراف جواب i با بکار بردن نزدیکترین همسایه‌های آن بدست می‌آید را فاصله تراکمی می‌نامیم. در شکل (۸) فاصله تراکمی جواب i ام برابر است با میانگین طول اضلاع مستطیلی که رئوس آن، نقاط مجاور جواب i ام می‌باشند.



شکل شماره (۸): نمایش فاصله تراکمی

برای محاسبه فاصله تراکمی جواب‌ها، لازم است که ابتدا هر تابع هدف به ترتیب نزولی مرتب شود و بردار اندیس‌های مرتب شده جواب‌ها ایجاد گردد. سپس، برای جواب‌های ابتدایی و انتهایی بردار اندیس‌های مرتب شده، فاصله تراکمی، بی نهایت مقداردهی می‌شود و برای مابقی، فاصله تراکمی هر جواب بر اساس تفاضل مقادیر تابع هدف جواب بعد و قبل آن در بردار اندیس، طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$d_{I_j^m} = d_{I_j^m} + \frac{f_m^{(I_{j+1}^m)} - f_m^{(I_{j-1}^m)}}{f_m^{max} - f_m^{min}} \quad ; \quad m = 1,2,\dots,M \qquad \text{رابطه (۲۲)}$$

که در آن f_m^{max} و f_m^{min} به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار بدست آمده برای تابع هدف m ام در جمعیت حاضر است و $f_m^{(I_{j+1}^m)}$ و $f_m^{(I_{j-1}^m)}$ بترتیب مقدار تابع هدف m ام برای جواب بعدی و قبلی جواب j ام در بردار اندیس مرتب‌شده تابع هدف m ام می‌باشند. ذکر این نکته لازم است که برای هر جواب j ام، دو جواب $j+1$ ام و $j-1$ ام بعنوان همسایگان جواب j ام، برای تمام توابع هدف یکسان نمی‌باشند. به ویژه برای $M \geq 3$ همسایه‌ها متفاوت خواهند بود. بعلاوه با توجه به ناهمسان بودن مقادیر توابع هدف، شکل نرمالیزه شده آن‌ها در نظر گرفته شده است. با معرفی معیار فاصله تراکمی، برای مقایسه دو جواب، عملگری تحت عنوان عملگر مقایسه تراکمی[۷] ارائه می‌شود. عملگر مقایسه تراکمی $(\prec_n)$ برای فرآیند انتخابی که در ادامه ذکر می‌شود، طراحی شده است. فرض می‌شود که هر جواب i دو ویژگی را دارد: ۱- یک رتبه یا درجه نامغلوب بودن که آن را با r_i

[6] Crowding Distance
[7] Crowded-Comparison Operator

نشان می‌دهیم. ۲- یک فاصله تراکمی محلی که آن را با d_i نمایش می‌دهیم. فاصله تراکمی d_i یک اندازه از فضای جستجو حول جواب i است که توسط هیچ جواب دیگری از جمعیت اشغال نشده باشد. بر پایه دو ویژگی بیان شده، می‌توانیم عملگر مقایسه تراکمی را با قاعده زیر تعریف کنیم:

جواب i در مقایسه با جواب j پیروز می‌شود $(i \prec_n j)$، اگر و تنها اگر یکی از شرایط زیر برقرار باشد:

۱- جواب i دارای رتبه بهتری باشد یا $r_i < r_j$.

۲- اگر جواب‌های i و j هم رتبه‌اند $(r_i = r_j)$، جواب i فاصله تراکمی بهتری را داشته باشد یا $d_i > d_j$.

شرط اول این اطمینان را بوجود می‌آورد که جواب پیروز از درجه نامغلوب بهتری نسبت به حریف برخوردار است و شرط دوم که هنگام هم‌رتبه بودن جواب‌ها با آن روبرو هستیم، این اطمینان را می‌دهد که جواب پیروز از ناحیه تراکمی بزرگتری برخوردار است. در نتیجه با توجه به مطالب بیان شده و به Rank بدست آمده می توان نتیجه گرفت که مدل در حالتی که تعداد مشتری بالا است و هنگامی که تعداد توزیع کننده با تعداد تولید کننده برابر است (تعداد توزیع کننده = تولید کننده) بهینه ترین می باشد.

۳-نتایج و بحث

در این پژوهش به طراحی یک مدل تصمیم‌گیری چند هدفه مدیریت زنجیره تامین سرد پرداخته شد که هدف آن کاهش هزینه کلی زنجیره تامین، شامل هزینه‌های ظرفیت، حمل و نقل و موجودی و همچنین هزینه‌های مربوط به تاثیر گرم شدن کره زمین به دلیل انتشارات GHG می باشد. همچنین در این تحقیق تاثیرات زیستی انتشار CO_2 به دلیل مصرف انرژی و نشت گاز خنک کننده در انبارها و وسایل نقلیه (HFC) و همچنین کم کردن هزینه در مدیریت زنجیره تامین سرد مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق دو هدف دنبال گردید ؛ ۱) حداقل سازی هزینه کلی زنجیره تامین سرد و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای ، ۲) ماکسیمم کردن کاهش زمان ترمیم تسهیلاتی که دچار اختلال شده است. چون این مسأله از پیچیدگی محاسباتی زمانی زیادی برخوردار است و مسائل زنجیره تأمین واقعی دارای ده ها و یا حتی صدها تأمین کننده، تولید کننده و مشتری هستند، برای حل اینگونه مسائل از روش های فرا ابتکاری که در زمان بسیار کمتری جواب های نزدیک به بهینه را می یابند، بهره گرفته شد. الگوریتم NSGAII از جمله الگوریتم های بهینه سازی تکاملی چندهدفه می باشد که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان می دهد که مدل در حالتی که تعداد مشتری بالا است و هنگامی که تعداد توزیع کننده با تعداد تولید کننده برابر می باشد (تعداد توزیع کننده = تولید کننده) بهینه ترین حالت ممکن است. در واقع نتایج را اینگونه می توان تحلیل نمود که در زنجیره تامین سرد از آنجا که محصولات باید در دمای پایین و نزدیک یا زیر نقطه انجماد ذخیره شوند و برای این کار استفاده از انبارهای سردخانه و کامیون‌ها ضروری است، بنابراین حمل و نقل محصولات از کارخانه تا مشتری نیازمند کامیون های یخچال دار و نیز انبارهای خنک می باشد. از سویی می دانیم که این نوع کامیون ها آلودگی زیست محیطی بالایی دارند، ضمناً مصرف بالای انرژی انبارها و نیز کامیون ها با انتشار بیشتر دی اکسید کربن (CO_2) در امکانات تولید برق همراه است. و علاوه بر این، سیستم‌های خنک کننده از مقدار زیادی گازهای هیدرو فلورو کربن استفاده می‌کنند که دارای پتانسیل بالای گرمایش جهانی و طول عمر بسیار طولانی در جو می‌باشد. لذا در حمل و نقل این محصولات بایستی حجم بالایی از محصول در یک مرحله جابه جایی حمل شوند. نتایج این تحقیق نیز به این نکته اشاره دارد که با وجود تعداد مشتری بالا برای یک محصول تعداد حداقل توزیع کننده و حداقل تعداد حمل بار نیاز می باشد. از دیگر نتایج بدست آمده در این تحقیق می توان به حداقل تعداد توزیع کننده و ارتباط آن با تعداد حداقلی تولیدکنندگان محصول اشاره کرد که این موضوع نیز خود نتایج بدست آمده را تایید می نماید. در واقع در این حالت کمترین میزان حمل و نقل از محل تولید به توزیع کننده اتفاق می افتد و بنابراین کمترین میزان انتشار GHG حاصل از حمل و نقل کالاها و نیز نشت GHG حاصل از تعمیر ماشین های حمل و نقل اتفاق می افتد. از تحلیل تابع دوم می توان نتیجه گرفت که کاهش زمان ترمیم تسهیلاتی نیز می توان در حداقل نمودن تابع نخست و کاهش هزینه ها و کاهش انتشار GHG نقش بسزایی ایفا کند. بنابراین با توجه به مطالب بیان شده و نیز نتایج بدست آمده در این تحقیق می‌توان عنوان نمود که با بهینه سازی وسایل نقیله و نیز استفاده مناسب از تعداد بهینه ای از وسایل می توان انتظار داشت که آلودگی و

تکثیر گازهای گلخانه ای به حداقل ممکن برسد. به منظور بسط و گسترش نتایج تحقیق به سایر پژوهشگران پیشنهاد می گردد با اضافه کردن فاز مکان‌یابی برای کارخانه‌ها و تأمین کنندگان و همچنین اضافه کردن فاز مسیریابی وسائط نقلیه در هر مرحله از زنجیره تأمین سرد سایر هزینه های ناشی از حمل و نقل و همچنین هزینه های بعد زمانی محصولات فساد پذیر را مورد بررسی و تحلیل قرار دهند. همچنین پیشنهاد می شود با در نظر گرفتن سیستم بازیافت در زنجیره تأمین سرد و اتخاذ تصمیماتی جهت حداقل نمودن هزینه‌های محصولات قابل بازیافت نسبت به بهینه سازی هزینه و ماکزیمم ساختن سود به همراه کاهش ضایعات زیست محیطی بپردازند. محققان دیگر می توانند با در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت برای پارامترهای مسأله و استفاده از پارامترهای فازی یا احتمالی برای ضمن تطبیق نتایج حاصل به غنای این پژوهش بیافزایند.

٤-منابع

1. Apte, A. (2010). Supply Chain Networks for Perishable and Essential Commodities: Design and Vulnerabilities. *Operations and Supply Chain Management*, 3(2), 26-43.
2. Benjaafar, S., Li, Y., Daskin, M. (2013). Carbon footprint and the management of supply chains: insights from simple models. IEEE Trans. *Autom. Sci. Eng.* 10 (1), 99-116.
3. Bojarski .A. D., J. Lainez .M, Espun˜a .A, Puigjaner, L. (2009). Incorporating environmental impacts and regulations in a holistic supply chains modeling: An LCA approach. *Comp. & Chem. Engg*, 33(10), 1747– 1759.
4. Bouchery .Y, Ghaffari .A, Jemai. Z, Tan, T. (2017). Impact of coordination on costs and carbon emissions for a two-echelon serial economic order quantity problem. European Journal of Operational Research, 260(2),520-533.
5. Bozorgi, A., Zabinski, J., Pazour, J., Nazzal, D. (2016). Cold Supply Chains and Carbon Emissions: RecentWorks and Recommendations.Working paper, accessed Sept.
6. Bradford. J, E.D.G. Fraser. (2008). Local authorities, climate change and small and medium enterprises: Identifying effective policy instruments to reduce energy use and Carbon Emissions. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 15(3),156–172.
7. Chen, X., Benjaafar, S., Elomri, A. (2013). the carbon-constrained EOQ. *Oper. Res. Lett.*, 41 (2), 172–179.
8. Diabat. A, Al-Salem. M. (2015). An integrated supply chain problem with environmental considerations. *International Journal of Production Economics*, 164, 330-338.
9. Govindan, K., Jafarian, A., Khodaverdi, R., Devika, K., (2014). Twoechelon multiple-vehicle location–routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food. *Production Economics*, 152, 9-28.
10. Hariga M. As'ad, R. Shamayleh, A. (2017). Integrated economic and environmental models for a multi stage cold supply chain under carbon tax regulation. *Journal of Cleaner Production*, 166 (2017), 1357-1371.
11. Hoen, K., Tan, T., Fransoo, J., Van Houtum, G. (2014). Effect of carbon emission regulations on transport mode selection under stochastic demand. *Flex Serv. Manuf. J.*, 26, 170-195.
12. Jaber, M., Glock, C., El Saadany, A. (2013). Supply chain coordination with emissions reduction incentives. *Int. J. Prod. Res.*, 51, 69-82.

13. James, S.J., James, C. (2010). The food cold-chain and climate change. *Food Res. Int.*, 43(7), 1944-1956.
14. Kuo J. C, Chen M.C. (2010). Developing an advanced Multi-Temperature Joint Distribution System for the food cold chain. *Food Control*, 21(4): 559-566.
15. Lan, W., Ya, Z. Z. (2008). *A Research on Related Questions of Chinese Food Cold Chain Development.* International Conference on Management of e-Commerce and e-Government, Jiangxi, China, pp.18 – 21.
16. Mallidis, I., Dekker, R., Vlachos, D., (2012). The impact of greening on supply chain design and cost: a case for a developing region .*Transport Geography*, 22, 118–128.
17. Modak N.M, Ghosh D.K, Panda S, Sana S.S, (2017). Managing greenhouse gas emission cost and pricing policies in a two-echelon supply chain, NULL, http://dx.doi.org/10.1016/j.cirpj.2017.08.001.
18. Montanari. R., (2008). Cold chain tracking: a managerial perspective. *Trends in Food Science & Technology*, 19(8), 425-431.
19. Qi. Q, Wang .J, Bai .Q. (2017). Pricing decision of a two-echelon supply chain with one supplier and two retailers under a carbon cap regulation. *Journal of Cleaner Production,* 151, 286-302.
20. Ramudhin. A, Chaabane .A, Kharoune. M, Paquet .M, (2008). *Carbon market sensitive green supply chain network design*. IEEE Int. Conf. Indust. Engg. And Engg. Mgmt., pp. 1093–1097.
21. Rong, A., Akkerman, R., Grunow, M. (2011). An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain. *Production Economics*, 131, 421-429.
22. Saif, A., Elhedhli, S. (2016). Cold supply chain design with environmental considerations: a simulation-optimization approach. *Eur. J. Oper. Res.* 251, 274-287.
23. Salin V, Nayga R. M. (2003). A cold chain network for food exports to developing countrie. *International Journal of Physical Distribution& Lgistics Management*, 33(10), 918-933.
24. Shabani, A., Torabipour, S.M.R., Farzipoor Saen, R. (2011). Container Selection in the Presence of Partial Dual-Role Factors. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41(10), 991 - 1008.
25. Wang .F, Lai .X, Shi .N, (2011). A multi-objective optimization for green supply chain network design. *Decision Support Systems*, 51 (2) 262 – 269.
26. Xin H., Ruhe X., Guanghai L. (2009). *Analysis on Temperature Field of Refrigerated Car in Cold Chain Logistics*.Measuring Technology and Mechatronics Automation International Conference, Zhangjiajie, pp.673-676.
27. Xu. J, Chen .Y, Bai. Q. (2016). A two-echelon sustainable supply chain coordination under cap-and-trade regulation. *Journal of Cleaner Production*, 135 (1), 42-56
28. Yakavenka, V. Mallidis, I. Siamas, I. Vlachos, D. (2016). *A Decision Support System for Cold Supply Chain Network Design*. 11th MIBES Conference – Heraklion, Crete, Greece, 22-24 June 2016.
29. Yang. L, Zhang. Q, Ji .J. (2017). Pricing and carbon emission reduction decisions in supply chains with vertical and horizontal cooperation. *International Journal of Production Economics*, 191, 286-297.

Application of Genetic Algorithm for Optimization of Greenhouse Gas Emissions from Transport and cooling Supply Chain Costs

Rasoul Rezaei
Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran
Davood Gharakhani (Corresponding Author)
Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran
Email: davoodgharakhany@yahoo.com
Reza Ehtesham Rasi
Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Abstract
The cooling supply chain, due to its high energy consumption and refrigerant emissions, has high levels of greenhouse gas emissions and is one of the largest carbon emitters. In the cold supply chain, products should be stored at low and near or below freezing points. For this purpose, refrigerated warehouses and refrigerated trucks are essential. Therefore, this research aims to design a linear multi-objective decision-making model for supply chain management Which aims to reduce the overall supply chain cost, including the cost of capacity, transportation, inventory as well as costs associated with the effects of global warming due to greenhouse gas emissions. To analyze the research problem, a mathematical model for optimizing the supply chain has been designed and genetic algorithm has been used to solve this problem. The results of the first function test indicate that the model is high in the number of customers, and when the distributor's number is equal to the number of producers, the best one is possible. The second function analysis concludes that reducing the restoration time of the facility is effective in minimizing the first function, reducing costs and reducing greenhouse gas emissions. Therefore, according to the stated contents and the results obtained in this research, it can be pointed out that by optimizing the vehicles and also the proper use of the optimal number of means of transport, it can be expected that the pollution and proliferation of gases The greenhouse is at least possible.

Keywords: Cool Supply Chain Management, Multi-objective Decision Model, Greenhouse Gases, Genetic Algorithm.