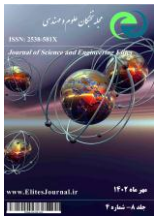
مجله نخبگان علوم و مهندسی

Journal of Science and Engineering Elites

جلد ۸- شماره ۴ - سال ۱۴۰۲

www.ElitesJournal.ir



طراحی مدل ریاضی بهینه سازی شبکه لجستیک یکپارچه با رویکرد نوآوری در زنجیره تامین سبز راهبرد نوین کسب مزیت رقابتی

یوسف آقائی پور[۱*]، حمیدرضا بصیری[۲]، کاظم اصغرزاده[۳]، کامران باقری[۴]

۱- دکترای مهندسی صنایع، کارشناس حوزه صنایع خودروسازی، مدرس دانشگاه و شرکت ایران خودرو، کنشگر حوزه خودروسازی سبز

۲- کارشناس مدیریت صنعتی، کارشناس حوزه صنایع خودروسازی، کنشگر حوزه خودروسازی سبز

۳- کارشناس تکنولوژی جوش، کارشناس حوزه صنایع خودروسازی، کنشگر حوزه خودروسازی سبز

۴- کارشناس فناوری بازرسی جوش، کارشناس حوزه صنایع خودروسازی، مدرس شرکت ایران خودرو، کنشگر حوزه خودروسازی سبز

*yousef.a1359@yahoo.com

ارسال: مهر ماه ۱۴۰۲ پذیرش: مهر ماه ۱۴۰۲

چکیده

قوانین زیست محیطی و رشد آگاهی های محیط زیستی مشتریان وحجم بالای محصولات بازگشتی؛ اهمیت بخش زنجیره تامین معکوس را بیشتر نموده است. بنابراین، شرکتهای تولیدی نمی توانند زنجیره معکوس را تنها به عنوان یک هزینه اضافی ببینند و باید در مورد زنجیره تامین خود قادر به تفکر استراتژیک باشند. هدف این مقاله ارائه یک مدل ریاضی مکان یابی تسهیلات پویا در طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه - بسته، ازطریق بررسی استراتژیک یک افق برنامه ریزی چند دوره ای در جهت حداقل نمودن اثرات زیست محیطی و کسب مزیت رقابتی با نظریات پورتر می باشد. مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط (MILP) که برای تعیین مکانهای بهینه کارخانجات تولیدی، مراکز توزیع، مراکز جمع آوری و تسهیلات بازسازی استفاده شده همراه با جریانهای یکپارچه رو به جلو و معکوس، هزینه کل مکان تسهیلات و حمل و نقل مربوط به جریانهای رو به جلو و معکوس در شبکه را حداقل می نماید. این مدل دو طرفه مکانیابی تسهیلات برای انتقال محصولات نهایی وجمع آوری بازده های محصول در یک زنجیره تامین یکپارچه حلقه - بسته بطور همزمان مدنظر قرارگرفته است. مدل برنامه ریزی چند هدفه عدد صحیح آمیخته جدید برای مکان یابی تسهیلات و طراحی همزمان شبکه رو به جلو و معکوس جهت تعیین جامع راه حل های بلندمدت استراتژیک بسط داده شده که حداکثر نمودن ارزش خالص فعلی(NPV) جریان نقدینگی برای کل زنجیره تامین و همچنین حداقل نمودن انتشار گازهای گلخانه ای از محصولات تولیدی تامین کنندگان را ارائه خواهد کرد. پارامترهای الگوریتم های پیشنهادی(MOPSO) و(NSGA-II) به کمک روش طراحی آزمایشات تاگوچی تنظیم شده است. نتایج عددی نشان می دهد که مدل جدید با الگوریتم های فراابتکاری فوق برای بدست آوردن جنبه های کمی برنامه ریزی استراتژیک در شرایط زنجیره تامین حلقه - بسته قابل استفاده می باشد.

کلمات کلیدی: شبکه لجستیکی پویا، زنجیره تامین سبز، ارزش خالص فعلی(NPV)، اثرات زیست محیطی، مزیت رقابتی، الگوریتم های فراابتکاری.

۱- مقدمه

محل تسهیلات یکی از مسائلی است که بطورگسترده مورد مطالعه محققان و پژوهشگران قرار گرفته است. هرچند تاکنون یک جواب برای مسائل مکان یابی تسهیلات ارائه نشده است؛ ولی در چنددهه گذشته تلاش های تحقیقاتی قابل توجهی به توسعه مدلهای مکان یابی برای شبکه های زنجیره تامین اختصاص داده شده است. مکان یابی تسهیلات نقش مهمی در برنامه ریزی استراتژیک زنجیره تامین ایفا می کند و اثر بلند مدتی بر عملکردش دارد زیرا باز نمودن و بستن دائمی تسهیلات و انتقال آن به مکان دیگر هزینه فوق العاده زیادی ایجاد می نماید. بنابراین تصمیم گیری مکان یابی تسهیلات پرهزینه و دارای حساسیت زمانی است، و به همین علت هزینه و زمان دو معیار اصلی و موثر در مدلهای مربوطه بوده است. امروزه به دلیل نگرانی های زیست محیطی، برنامه ریزی مکان یابی تسهیلات برای زنجیره های معکوس تامین بیش از پیش به مسئله مهم تبدیل شده است. به منظور جلوگیری وکاهش اثرات زیست محیطی منفی که به دلیل مدیریت نامناسب زباله(یا ضایعات) به شرکتها تحمیل می شود، بسیاری از آنها می کوشند محصولاتی راکه به پایان عمرمفید خود رسیده اند، بهبود بخشیده و از مصرف منابع طبیعی بکاهند. استفاده از محصولات بازیافتی که دارای ویژگیهای کیفی هستند بجای مواد خام، نیز می تواند به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد. در این صورت تعیین بهترین استراتژیهای مکان یابی وتوزیع که کارآمدی مالی فعلی یک کسب وکار را تضمین می کند امری لازم و اساسی است. ایجاد زنجیره تامین معکوس بطور جداگانه از زنجیره تامین مرسوم رو به جلو، نه تنها هزینه های زیرساختی را افزایش می دهد بلکه سود مربوط به بهبود محصول را نیزکاهش می دهد؛ بایکپارچه سازی زنجیره های تامین رو به جلو و معکوس، یک زنجیره تامین حلقه - بسته با هدف بسته شدن حلقه جریانهای مواد، گسترش می یابد تا تضمین کند که می توان محصولات را بطور موثر و یا کارا به تسهیلات گوناگون در زنجیره تامین بازگرداند در نتیجه انتشار گازهای گلخانه ای و زباله های باقی مانده، و همچنین هزینه سربار نیزکاهش می یابند و باعث افزایش بهره وری می گردند.

لذا مسائل زیست محیطی متمرکز بر کاهش زائدات زباله، مواد خطرزا، پسمانده های مصرف کننده و بنگاههای صنعتی و تجاری؛ همچنین ارزش اقتصادی حاصل از گسترش عمر محصول و نیز قابل استفاده نمودن و زمان استفاده کالا و محصولات تولید شده بعنوان دو هدف مهم در زنجیره تامین حلقه - بسته در نظر گرفته شده است. درواقع از دیدگاه اقتصادی، شرکتها می توانند از سود حاصل از احیا و بازیافت محصولات به طور مستقیم استفاده نمایند؛ و حتی در برخی از محصولات، ایجاد خدمات تعمیر پس از فروش می تواند رضایت بیشتر مشتریان را فراهم و از این طریق بطور غیر مستقیم سود بیشتری نصیب شرکتها می گردد. زنجیره تأمین سبز علاوه بر بهره مندی از مزایای ناشی از صرفه جویی در استفاده از منابع، انرژی، انبارها، کاهش آلودگی با استفاده از مواد خام سازگار با محیط زیست، کاهش ضایعات و ... از مزایای کارایی و یا به تعبیر دیگر از استراتژی کاهش هزینه ها بهره مند می شود و از یک سو با ایجاد نوآوری در طراحی و تولید محصولات سبز و قابل بازیافت علاوه بر کاهش هزینه های تخریب محیط زیست از استراتژی پاسخ گویی یا به تعبیر دیگر از استراتژی تمایز استفاده می کند. ترکیب همزمان این دو استراتژی که به عنوان استراتژی های پورتر شناخته می شوند، مزیت رقابتی را برای صنایع به همراه خواهد داشت. هر چند مسائل تاثیرات زیست محیطی بیش از وجه اقتصادی مورد توجه واقع گردیده است، هر دو هدف(زیست محیطی و اقتصادی) با استفاده از مدلهای کارا، با اعمال زیرساختار یکسان قابل دستیابی هستند. مکان یابی تسهیلات و طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه - بسته چندین سال است مورد پژوهش قرارگرفته است ولیکن ادبیاتی که به انگیزه این مقاله از نظر نیاز به داشتن یک مدل گسترده تر برای مکان یابی تسهیلات در زنجیره تامین حلقه - بسته با دیدگاه زیست محیطی و اقتصادی برای نشان دادن عواملی که می تواند در تصمیم گیری طراحی شبکه اختلال ایجاد نماید، تقریبا کمیاب است.

پس از کنفرانس زمین در ریو۱۹۹۲ وتثبیت انتشار گازهای گلخانه ای در ۱۵۴ کشور جهان(معاهده اقلیم) و پس از آن پروتکل کیوتو در ۱۹۹۷[1]، کاهش تولید کربن(CO_2) و درآمد حاصل از آن؛ ارزیابی اقتصادی و مقرون به صرفه بودن انجام طرحهایی با مکانیسم توسعه پاک (CDM)[2] از نظر اقتصادی در بلند مدت هدف بسیار خوبی بنظر رسید. به همین علت این تحقیق درپی ارائه مدل ریاضی مکان یابی تسهیلات ظرفیت دار چند کالایی در طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه – بسته برای تعیین مکانهای بهینه

کارخانه های تولیدی، مراکز توزیع، مراکز جمع آوری و تجهیزات تولید مجدد و نیز دفع ضایعات با هدف حداکثر نمودن ارزش خالص فعلی(NPV) جریان نقدینگی برای کل زنجیره تامین و با اعمال محدودیتهای انتشارکربن جهت جلوگیری از اثرات مخرب محیط زیستی و با توجه به درآمد حاصل از کاهش تولید هر کیلوگرم کربن و فروش آن در قالب اهداف پروتکل کیوتو، وهمچنین افزایش مطلوبیت و مقبولیت در میان مشتریان برای ایجاد مزیت رقابتی ارائه می نماید. در تحقیق پیش رو، طراحی شبکه لجستیکی پویا رو به جلو و معکوس برای تعیین مکانهای بهینه کارخانه های تولیدی، مراکز توزیع، مراکز جمع آوری و تجهیزات تولید مجدد و نیز دفع ضایعات با توجه به اثرات محیط زیستی و به منظور کمینه سازی هزینه کل شبکه، با ارائه یک مدل برنامه ریزی چند هدفه عدد صحیح آمیخته(MOMIP) پیشنهاد می شود که جنبه نوآوری این تحقیق این است که مدل اثرات مخرب زیست محیطی تسهیلات را کاهش و باعث مزیت رقابتی می گردد؛ که این امر به کمک الگوریتم های فراابتکاری انجام خواهد شد.

۲- مروری بر مطالعات پیشین

ادبیات متنوع و بسیاری در مورد لجستیک کالا و طراحی شبکه های توزیع وجود دارد که در این بخش به گوشه ای از آن اشاره می شود. جایارامان[۱] و همکاران در طراحی شبکه لجستیک حلقه بسته برای فراهم آورندگان خدمات لجستیک طرف سوم[۲] یک مدل پیشرفته دو هدفه برنامه ریزی عدد صحیح آمیخته با ادغام مراکز توزیع با مراکز جمع آوری و مراکز احیا ارائه کرده اند[۷].
جایارامان و پیرکول[۳] یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته[۴] را برای یک شبکه لجستیک چندکالایی چهارردە ای ارائه کردند[۶]. این مدل، جزء معدود مدلهایی است که به تصمیم گیری درباره رده تأمین کنندگان می پردازد.
ملاکرینودیس[۵] و همکاران(۲۰۰۵) برای طراحی مجدد ساختار شبکه انبارها به منظور کاهش هزینه ها از یک متدولوژی چند هدفه برنامه ریزی فیزیکی استفاده کرده اند[۱۴]. لیستس[۶] و دکر[۷] یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته را برای طراحی شبکه لجستیک معکوس با هدف کمینه سازی هزینه ارائه داده اند. این کار، جزء معدود مقالاتی است که به طراحی یک سیستم کششی در لجستیک معکوس مبتنی بر تقاضای مشتریان برای محصولات احیا شده پرداخته است[۱۱]. جن[۸] و همکاران، یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته را برای طراحی شبکه لجستیک مستقیم در یک زنجیره دو رده ای با هدف حداقل سازی هزینه ارائه نمودند. در این طرح برای حل مسأله از روش کدگذاری اولویت- محور استفاده شد[۴]. کو[۹] و ایوانز[۱۰] یک مدل برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح آمیخته[۱۱] را برای طراحی شبکه لجستیک یکپارچه مستقیم و معکوس برای فراهم آورندگان خدمات لجستیک طرف ارائه دادند. برای غلبه بر عدم قطعیت موجود شرایط، مشخصه های مسأله برای هر دوره تعیین شدند، و در دوره بعد، مدل مجددا برای مشخصه های جدید حل شد. آنها الگوریتم ژنتیک را برای حل مدل توسعه دادند[۸]. دولائرت[۱۲] و همکاران، مروری کلی بر طراحی مدلهای زنجیره تأمین نمودند و از این طریق، امکان دستیابی به مدل های کاملتر- که توانایی در نظر گرفتن تمامی هزینه های لجستیکی را دارا باشند- را فراهم کردند[۳]. میپچدی[۱۳] و شاه[۱۴] (۲۰۰۷) هزینه شبکه لجستیک را در

[1] Jayaraman
[2] Third Party Logistics (3PL)
[3] Pirkul
[4] Mixed Integer Linear Programming (MILP)
[5] Melachrinoudis
[6] Listes
[7] Dekker
[8] Gen
[9] Ko
[10] Evans
[11] Mixed Integer Non-linear Programming (MINLP)
[12] Dullaert
[13] Meepetchdee
[14] Shah

یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته کمینه کردند. آنها محدودیت هایی را در نظر گرفتند تا شبکه لجستیک، دارای مقاومت[1] و پیچیدگی[2] در طراحی باشد [۱۳].

آراس[3] و همکاران، یک مدل غیر خطی از شبکه لجستیک را ارائه دادند و با کمک الگوریتم جستجوی ممنوع[4] به حل آن پرداختند. آنها از این طریق، موقعیت مکانی مراکز جمع آوری و قیمت خرید بهینه محصولات را محاسبه نمودند. هدف آنها بیشینه کردن سود در یک شبکه لجستیک معکوس بود[۱]. دو[5] و ایوانز، یک شبکه لجستیک حلقه بسته را در نظر گرفتند که توسط فراهم آورندگان لجستیک طرف سوم اداره می شد. آنها هدف خود را کمینه کردن دیرکرد و هزینه کل تصمیمات مربوط به جایابی و ظرفیت تسهیلات قرار دادند و برای حل مدل خود نیز از روش ترکیبی جستجوی پراکنده[6] استفاده کردند[۲]. لی[7] و دانگ[8] یک مدل خطی عدد صحیح آمیخته را برای طراحی یکپارچه شبکه لجستیک ارائه دادند. روش حل مورد استفاده، جستجوی ممنوع بود[۹]. پیشوایی و همکاران(۲۰۰۹) برای طراحی یکپارچه شبکه لجستیک مستقیم و معکوس از یک مدل خطی عدد صحیح آمیخته، برای کمینه کردن هزینه ها استفاده کردند. این مدل را با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک مجهز به جستجوی همسایگی[9] حل کردند[۱۵]. رودولف و همکاران[10] (۲۰۱۶) یک شبکه لجستیک چندسطحی در زنجیره تامین که بیشتر تمرکز آنها بر بازیافت مواد خام بود طراحی کردند. آنها در تحقیق خود فرض شبکه زنجیره تامین سبز را لحاظ نمودند[۱۸]. سینگ و همکاران[11] برروی بازیافت محصولات در یک شبکه لجستیک معکوس کارکردند. آنها تاثیر خرابی مراکز را در شبکه زنجیره تامین معکوس مطالعه کردند[۱۹]. مسئله مسیریابی وسیله نقلیه یکی از مباحثی است که در حوزه تحقیق در عملیات مورد مطالعه قرارگرفته و از بیش از ۵۰ سال پیش که (دانتزیگ[۲۰]) در قالب مسئله توزیع به وسیله کامیون به آن پرداخت تاکنون مورد توجه بوده است.

۳- مفروضات مسئله

پیش فرض های زیر برای تدوین و فرموله نمودن مدل از برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته(MILP) برای پویا(یعنی چند دوره ای) چند کالایی مکان یابی تسهیلات/ توسعه یافته در زنجیره تأمین حلقه - بسته برای بهبود محصول گنجانیده شده است؛ سپس چند هدفه می گردد.(MOMIP). مفروضات تعریف مدل به وضوح نشان داده می شود. برخی از علائم ریاضی ذکر شده در بخش بعدی نیز در این بخش ذکر شده است. مانند محصولات، ساختار زنجیره تأمین، فرایندهای زنجیره تأمین، جایابی مجدد و توسعه(گسترش)، باز یا بسته شدن تسهیلات و همچنین جنبه های اقتصادی.

۳-۱- نشان گذاری (نمادسازی)

مجموعه ایندکس

L : مجموعه ای از محل سایت ها نمایه فهرست شده با $l \in L$

$O \subset L$: مجموعه ای از محل سایت های منتخب فهرست شده با $o \in O$

---

[1] Robustness
[2] Complexity
[3] Aras
[4] Tabu search
[5] Du
[6] Hybrid scatter search
[7] Lee
[8] Dong
[9] Variable Neighborhood Search (VNS)
[10] Rodolfo G. Dondo
[11] S. R. Singh

$E \subset O$: مجموعه ای از محل سایت های موجود، فهرست شده با $e \in E$

$N \subset O$: مجموعه ای از پتانسیل محل سایت های جدید، فهرست شده با $n \in N$

$J \subset O$: مجموعه ای از سایت های کارخانه های تولید و جداسازی قطعات و مراکز بازسازی فهرست شده با $j \in J$

$I \subset O$: مجموعه ای از سایت های متوسط برای مراکز توزیع و جمع آوری، نمایه شده توسط $i \in I$

$S \subset L$: مجموعه ای از مکان های از تأمین کنندگان خارجی، نمایه شده توسط $s \in S$

$K \subset L$: مجموعه ای از محل های مشتریان نمایه شده توسط $k \in K$

$U \subset L$: مجموعه ای از مکان هایی از پیمانکاران فرعی برای فرایندهای جداسازی- بازسازی قطعات اندیس شده توسط $u \in U$

C : مجموعه ای از انواع مراکز برای فرایند زنجیره تأمین، ایندکس شده به وسیله $c \in C$.

$F \subset C$: مجموعه ای از انواع مراکز برای فرایند زنجیره تأمین روبه جلو، ایندکس شده به وسیله $f \in F$.

$R \subset C$: مجموعه ای از انواع مراکز برای فرایند زنجیره تأمین معکوس ایندکس شده بوسیله $r \in R$.

$A \subset C$: مجموعه ای از انواع مراکز در سایت های کارخانه، ایندکس شده به وسیله $a \in A$.

$B \subset C$: مجموعه ای از انواع سایت های متوسط ایندکس شده به وسیله $b \in B$.

P : مجموعه ای از انواع محصولات و ایندکس شده به وسیله $p \in P$

$G \subset P$: مجموعه ای از محصولات نهایی ایندکس شده به وسیله $g \in G$

$M \subset P$: مجموعه ای از قطعات/ اجزا ایندکس شده به وسیله $m \in M$

T : مجموعه ای از دوره ها در افق زمانی برنامه ریزی ایندکس شده به وسیله $t \in T$

اجازه دهید L را مجموعه ای از تمام محل سایت ها که در اصطلاح سایت های محل قابل انتخاب و غیرقابل انتخاب طبقه بندی شده اند. سایت های محل قابل انتخاب مجموعه O را تشکیل می دهند که یک زیرمجموعه از L هستند. محل این سایت ها شامل سایت های موجود در محل(مجموعه E) و پتانسیل مکان جدید سایت های(مجموعه N) است .

در آغاز افق برنامه ریزی، تمام سایت ها در مکانهای موجود در مجموعه E عملیاتی هستند. ظرفیت پس از آن از محل این سایت ها به پتانسیل مکان جدید سایت ها در مجموعه N منتقل گردد.

مجموعه ای از مکان سایت های مورد انتخاب L همچنین شامل سایت های کارخانجات(مجموعه J) و همچنین سایت های متوسط (مجموعه L) می باشد که می توان به صورت مکان جدید موجود یا بالقوه سایت ها باشد. توجه اینکه $E \cap N = \varphi$ و $J \cap I = \varphi$ و $E \cup N = J \cup I = O$ و $E \cup N J = \cup I$ دومین گروه از طبق بندی محل سایت ها، به اصطلاح مکان سایت های غیرقابل انتخاب از مجموعه L/O که شامل تأمین کنندگان خارجی(مجموعه S) و مشتریان (مجموعه K) و پیمانکاران فرعی خارجی برای فرایندهای جداسازی/ بازسازی قطعات(مجموعه U). محل این سایت ها باید در طول زمان عملیاتی باقی بمانند. مجموعه C شامل تمام انواع مراکز برای فعالیت های زنجیره تأمین است. بخش بعدی شامل دو گروه می گردد:

۱- انواع مراکز فرایندهای زنجیره تأمین ر و به جلو

۲- انواع مراکز فرایندهای زنجیره تأمین معکوس

انواع مرکز فرایندهای زنجیره تأمین رو به جلو از مجموع F و یک زیرمجموعه از C است. در حالی که، انواع مرکز برای فرایندهای زنجیره تأمین معکوس از مجموعه R که همچنین یک زیرمجموعه از C است. در مجموعه ای از تمام انواع مرکز C، انواع مرکز در سایت های کارخانه(A) و انواع مرکز در سایت های میانی(B) را شامل می شود. واضح است که $F \cap R = \varphi$ و $A \cap B = \varphi$و$C = (FUR) \cap (AUB)$ $(FUR) = A \cup B$

علاوه بر این P تعلق به مجموعه ای از تمام انواع محصول اعم از محصولات نهایی بگذارید(مجموعهG) برای قطعات / اجزاء (مجموعه M)

$G \cap M=\varphi$ و $P =G \cup M$

مجموعه ای از دوره های زمانی برنامه ریزی به وسیله T={1…,T } نشان داده می شود.

مجموعه ای از دوره های زمانی متوالی و عدد صحیح است. دوره های برنامه ریزی | T | تماماً وجود دارد که T = | T | است.

۳-۲- پارامترها

ظرفیت های محل

KOomax : حداکثر ظرفیت مجاز از محل سایت قابل انتخاب o ∈ O

Kfo,c : ظرفیت اولیه از مرکز c ∈ C در محل سایت قابل انتخابo ∈ O

KCo,cmax : حداکثر ظرفیت مجاز از مرکز c ∈ C در محل سایت قابل انتخاب o ∈ O

KCo,cmin : مینیمم ظرفیت مجاز از مرکز c ∈ C در محل سایت قابل انتخاب o ∈ O

KMo,c : ظرفیت ثابت از مرکز c ∈ C درحال گسترش و / یا جابجایی مجدد در محل سایت قابل انتخاب o ∈ O

KSs, m,τmax :حداکثر ظرفیت موجود ازتامین کننده خارجی s ∈ S برای قطعه/ اجزا m ∈ M در دوره زمانی t ∈ T

KUu, g, τmax: حداکثر ظرفیت موجود از پیمانکار فرعی جداسازی/ بازسازی قطعات u ∈ U برای محصولات نهایی بازگشتی g ∈G در دوره زمانی t ∈ T

قیمت های فروش

SCo, k, g, t : متغیر قیمت از فروش یک واحد محصول نهایی g∈G از محل سایت قابل انتخاب o ∈ O به مشتری k∈K در هر دوره زمانی t ∈ T .

۳-۳- هزینه ها

CBs, j, m,t : متغیر هزینه از خرید یک واحد قطعه/اجزاء m ∈ M از تامین کننده خارجی s ∈ S برای سایت کارخانه J ∈ j در دوره زمانی t ∈ T.

CPj, a, g,t : متغیر هزینه از پردازش یک واحد از محصول نهایی g ∈ G بوسیله مرکز a ∈ A برای سایت کارخانه J ∈ j در دوره زمانی t ∈ T.

CSl, u, g, t : متغیر هزینه عقدقرارداد، یک واحد از محصول بازگشتی نهایی g ∈ G از محل سایت l ∈ L برای پیمانکار خارجی u ∈ U در دوره زمانی t ∈ T.

CTt, l′, p, t: متغیر هزینه حمل ونقل یک واحد از محصول p ∈ P از محل سایت l ∈ L به محل سایت L’ ′∈ L در دوره زمانی t ∈ T.

CFO,t : هزینه ثابت عملیاتی محل سایت قابل انتخاب o ∋ O در دوره زمانی t ∈ T

CCe,τ : هزینه ثابت از بسته شدن محل سایت موجود e ∈ E در دوره زمانی t ∈ T

COn,t : هزینه ثابت از بازنمودن محل سایت جدید n ∈ N در دوره زمانی t ∈ T

CFFo,c,t : هزینه ثابت از بازنمودن مرکز c∈C در محل سایت، قابل انتخاب o∈ O در دوره زمانی t ∈ T

CVEo,c,t : متغیر هزینه های در ارتباط با گسترش ظرفیت از مرکز c ∈ C در محل سایت قابل انتخاب o ∈ O در دوره زمانی t ∈ T

CVRe,n,c,t : متغیر هزینه های در ارتباط با جابجایی ظرفیت مرکز c ∈ C از محل سایت موجود e ∈ E در محل سایت جدید n ∈ N در دوره زمانی t ∈ T

CFCe,c,t : هزینه ثابت از بسته شدن مرکز c ∈ C در محل سایت موجود e ∈ E در دوره زمانی t ∈ T

CFOn,c,t : هزینه ثابت از بازنمودن مرکز c ∈ C در محل سایت جدید n ∈ N در دوره زمانی t ∈ T

$CDPj,a,g,t$: متغیر هزینه دفع هر واحد از محصول نهایی بازگشتی $g \in G$ از مرکز دورانداختن $a \in A$ در سایت کارخانه $j \in J$ در دوره زمانی $t \in T$

۳-۴- پارامترهای دیگر

DPk,g,τ : تقاضا از محصول نهایی $g \in G$ به وسیله مشتری $k \in K$ در دوره زمانی $t \in T$

RCk,g,t : بخشی از محصول نهایی $g \in G$ که به وسیله مشتری $k \in K$ برگشت داده شده در دوره زمانی $t \in T$

AHm,g : مقدار قطعه / جزء $m \in M$ برای مونتاژ یک واحد محصول نهایی $g \in G$

RHm,g : مقدار قطعه/ جزء $m \in M$ به دست آمده از جداسازی و بازسازی یک واحد از محصول نهایی $g \in G$ بازگشتی

FRg,t : بخشی از محصول نهایی $g \in G$ بازگشتی که مشخصات رضایت کیفیت در دوره زمانی $t \in T$ داراست.

FCo,c : بخشی از ظرفیت مرکز $c \in C$ مجاز در هر محل سایت قابل انتخاب $o \in O$

UJi,a,g : فاکتور میزان مصرف ظرفیت واحد از محصول نهایی $g \in G$ پردازش شده در مرکز $a \in A$ از سایت کارخانه $j \in J$ در دوره زمانی $t \in T$

UIl,I,b,g : فاکتور میزان مصرف ظرفیت واحد از محصول نهایی $g \in G$ حمل شده به محل سایت $l \in L$ از مرکز $b \in \beta$ در سایت متوسط $I \in I$ در دوره زمانی $t \in T$

IR : نرخ بهره برداری ارزش زمانی پول

۳-۵- متغیرهای تصمیم

۳-۵-۱- متغیرهای صحیح غیرمنفی

xj,a,g,t: مقدار محصول نهایی $g \in G$ تولید شده توسط مرکز $a \in A$ در سایت کارخانه $j \in J$ در دوره زمانی $t \in T$

$l', yl,$

p,t : مقدار محصول $p \in P$ حمل شده از محل سایت $l \in L$ به محل سایت $l' \in L$ در دوره زمانی $t \in T$

gs,j,m,t : مقدار قطعه/ جزء $m \in M$ خریداری شده از تأمین کننده خارجی $s \in S$ به وسیله سایت کارخانه $j \in J$ در دوره زمانی $t \in T$

qi,u,g,t : مقدار محصول نهایی $g \in G$ بازگشتی واگذار شده از محل سایت $l \in L$ توسط پیمانکار فرعی خارجی $u \in U$ در دوره زمانی $t \in T$

wo,c,t : تعداد اندازه های ثابت برای گسترش مرکز $c \in C$ در محل سایت قابل انتخاب $o \in O$ در دوره زمانی $t \in T$

De,n,c,t : تعداد اندازه های ثابت برای انتقال از محل سایت موجود $e \in E$ در محل سایت جدید $n \in N$ برای مرکز $c \in C$ در دوره زمانی $t \in T$

$expo,c,t$: مقدار کل ظرفیت برای گسترش مرکز $c \in C$ در محل سایت قابل انتخاب $o \in O$ در دوره زمانی $t \in T$

$movo, o', c, t$: مقدارکل ظرفیت قابل انتقال از محل سایت قابل انتخاب $o \in O$ در محل سایت قابل انتخاب $o' \in O$ از مرکز $c \in C$ در دوره زمانی $t \in T$.

۳-۵-۲- متغیرهای دودویی (متغیرهای جفتی)

$$\phi o, t = \begin{cases} 1 \text{ اگر محل سایت انتخابی } o \in O \text{ در دوره زمانی } t \in T \text{ باز باشد.} \\ \text{صفر در غیراینصورت} \end{cases}$$

$$\sigma o,c,t = \begin{cases} ۱ \text{ اگر مرکز } c \in C \text{ در محل سایت انتخابی } o \in O \text{ در دوره زمانی } t \in T \text{ عملیاتی باشد.} \\ \text{صفر در غیراینصورت} \end{cases}$$

$$\rho_{e,ct} = \begin{cases} ۱ \text{ اگر مرکز } c \in C \text{ در محل سایت موجود } e \in E \text{ در طول دوره زمانی } t \in T \text{ گسترش یابد.} \\ \text{صفر در غیراینصورت} \end{cases}$$

$$MAX \;\; NPV = \sum_{t \in T} \left(\frac{\overbrace{\sum_{o \in O} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} SC_{o,k,g,t} Y_{o,k,g,t}}^{Total\ Revenue} - \overbrace{TOC_t^{total}}^{Total}}{(1+IR)^t} \right) \quad (۱)$$

$$MIN \;\; Z = \sum_{i=1}^{n} G_i S_i \quad (۲)$$

$$c^{cap} \leq \sum_{i=1}^{n} G_i S_i \quad (۳)$$

$$\sum_{s \in S} Z_{s,j,m,t} + \sum_{j' \in J} Y_{j',j,m,t} + \sum_{u \in U} Y_{u,j,m,t} = \sum_{g \in G} X_{j,a,g,t}, \mathbf{AM_{mg}}, \forall j \in J, a \in A, g \in G, t \in T \quad (۴)$$

$$X_{j,a,g,t} = \sum_{i \in I} Y_{j,i,g,t} + \sum_{k \in K} Y_{j,k,g,t}, \forall j \in J, a \in A, g \in G, t \in T \quad (۵)$$

$$\sum_{i \in I} Y_{j,i,g,t} = \sum_{k \in K} Y_{j,k,g,t}, \forall j \in J, a \in A, g \in G, t \in T \quad (۶)$$

$$\sum_{i \in I} Y_{j,i,g,t} + \sum_{k \in K} Y_{j,k,g,t} = DP_{k,g,t}, \forall k \in K, g \in G, t \in T \quad (۷)$$

$$\left(\sum_{i \in I} Y_{j,i,g,t} + \sum_{k \in K} Y_{j,k,g,t} \right) RP_{kgt} = \sum_{i \in I} Y_{k,i,g,t} + \sum_{i \in I} Y_{k,j,g,t} + \sum_{u \in U} q_{ku,g,t}, \forall k \in K, g \in G, t \in T \quad (۸)$$

$$\sum_{k \in K} Y_{k,i,g,t} = \sum_{j \in J} Y_{i,j,g,t} + \sum_{u \in U} q_{i,u,g,t}, \forall i \in I, g \in G, t \in T \quad (۹)$$

$$\sum_{k \in K} Y_{k,j,g,t} + \sum_{i \in I} Y_{i,j,g,t} = X_{j,a,g,t}, \forall j \in J, a \in A, g \in G, t \in T \quad (۱۰)$$

$$\sum_{g \in G} \left[FR_{g,t} \left(X_{j,a,g,t} RM_{m,g} \right) \right] = \sum_{j' \in J} Y_{j,j',m,t}, \forall j \in J, a \in A, m \in M, t \in T \quad (۱۱)$$

$$\sum_{g \in G} \left\{ FR_{g,t} \left[\left(\sum_{k \in K} q_{k,u,g,t} + \sum_{i \in I} q_{i,u,g,t} \right) RM_{m,g} \right] \right\} = \sum_{j \in J} Y_{u,j,m,t}, \forall u \in U, m \in \mathrm{M}, t \in T \quad (۱۲)$$

$$\sum_{t \in T} \exp_{e,c,t} \leq \left(KC_{e,c}^{max} - KI_{e,c} \right) \rho_{e,c}, \forall e \in E, c \in E \quad (۱۳)$$

$$\sum_{c \in C} \left\{ FC_{c,c} \left(\sum_{\tau=1}^{t} \exp_{c,c,t} + KI_{c,c} \rho_{c,c} \right) \right\} \leq KO_c^{max} \varphi_{c,t}, \forall e \in \mathrm{E}, t \in T \quad (۱۴)$$

$$\sum_{n \in N} \sum_{t \in T} mov_{c,n,c,t} \leq KI_{c,c} \left(1 \rho_{c,c} \right), \forall e \in E, c \in C \quad (۱۵)$$

$$\sum_{n \in N} \sum_{\tau=1}^{t} mov_{c,n,c,t} \leq KI_{c,c} \delta_{c,c,t}, \forall e \in E, c \in C, t \in T \quad (۱۶)$$

$$\sum_{\tau=1} \exp_{n,cf} \sum_{c \in C} \sum_{\tau=1}^{t} mov_{c,n,c,\tau} \leq KC_{n,c}^{max} \delta_{n,c,t}, \forall n \in \mathcal{N}, c \in C, t \in \mathrm{T} \quad (۱۷)$$

$$\sum_{c \in C} \left[FC_{n,c} \left(\sum_{\tau=1}^{t} eXp_{n,c,\tau} + \sum_{c \in E} \sum_{\tau=1}^{t} \mathrm{mov}_{c,n,c,\tau} \right) \right] \leq KO_n^{max} \varphi_{n,t}, \forall n \in N, t \in T \quad (۱۸)$$

$$\exp_{o,c,t} = w_{o,c,t} KM_{o,c}, \forall o \in O, c \in C, t \in T \quad (۱۹)$$

$$mov_{c,n,c,t} = v_{c,n,c,t} KM_{c,c}, \forall e \in E, n \in N, c \in C, t \in T \quad (۲۰)$$

$$\sum_{g \in G} UJ_{j,a,g} X_{j,a,g,t} \leq KI_{j,a} \delta_{j,a,t} + \sum_{\tau=1}^{t} \exp_{j,a,\tau} - \sum_{j' \in N} \sum_{\tau=1}^{t} mov_{j,j',a,\tau}, \forall j \in J, a \in A, t \in T \quad (۲۱)$$

$$\sum_{g \in G} UJ_{j,a,g} X_{j,a,g,t} \leq \sum_{\tau=1}^{t} \exp_{j,a,\tau} + \sum_{j' \in E} \sum_{\tau=1}^{t} mov_{j',j,a,\tau}, \forall j \in N, a \in \mathcal{L}, t \in \mathcal{G}^{-} \quad (۲۲)$$

$$\sum_{g \in G} UJ_{j,a,g} X_{j,a,g,t} \geq KC_{j,a}^{min} \delta_{j,a,t}, \forall j \in J, a \in A, t \in T \quad (۲۳)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{g \in G} UI_{l,i,b,g} Y_{l,i,g,t} \leq KI_{i,b} \delta_{i,b,t} + \sum_{\tau=1}^{t} \exp_{i,b,\tau} - \sum_{i' \in N} \sum_{\tau=1}^{t} mov_{i,i',b,\tau}, \forall i \in E, b \in B, t \in T \quad (۲۴)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{g \in G} UI_{l,i,b,g} Y_{l,i,g,t} \leq \sum_{\tau=1}^{t} \exp_{i,b,\tau} + \sum_{i' \in E} \sum_{\tau=1}^{t} mov_{i,i',b,\tau}, \forall i \in N, b \in B, t \in T \quad (۲۵)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{g \in G} UI_{l,i,b,g} Y_{l,i,g,t} \leq KC_{i,b}^{min} \delta_{i,b,t}, \forall i \in I, b \in B, t \in \mathrm{T} \quad (۲۶)$$

$$\sum_{j\in J} z_{s,j,m,t} \le KS^{max}_{s,m,t}, \forall s \in S, m \in \mathrm{M}, t \in T \quad (۲۷)$$

$$\sum_{k\in K} Y_{k,u,g,t} + \sum_{i\in I} Y_{i,u,g,t} \le KU^{max}_{u,g,t}, \forall u \in U, g \in G, t \in T \quad (۲۸)$$

$$\varphi_{o,t} \ge \delta_{o,c,t}, \forall o \in O, c \in C, t \in T \quad (۲۹)$$

$$\varphi_{c,t} \ge \varphi_{c,t+1}, \forall e \in E, t \in T \setminus \{T\} \quad (۳۰)$$

$$\varphi_{n,t} \le \varphi_{n,t+1}, \forall n \in N, t \in T \setminus \{T\} \quad (۳۱)$$

$$\delta_{c,c,t} \ge \delta_{c,c,t+1}, \forall e \in E, c \in C, t \in T \setminus \{T\} \quad (۳۲)$$

$$\delta_{n,c,t} \le \delta_{n,c,t+1}, \forall n \in S, c \in C, t \in G \setminus \{T\} \quad (۳۳)$$

$$\rho_{c,c} \le \delta_{c,c,T}, \forall e \in E, c \in C \quad (۳۴)$$

$$X_{j,a,g,t}, Y_{1\,l',p,t}, z_{s,j,m,t}, q_{l,u,g,t}, w_{o,c,t}, v_{e,n,c,t}, \exp_{o,c,t}, mov_{o,o',c,t} \ge 0$$
$$\forall l \in L, l' \in L, o \in O, o' \in O, e \in E, n \in N, j \in J,$$
$$s \in S, u \in U, c \in C, a \in A, p \in P, g \in G, m \in \mathrm{M}, t \in \mathrm{T}$$
$$\varphi_{o,t}, \delta_{o,c,t}, \rho_{e,c} \in \{0,1\}, \forall o \in O, e \in \mathrm{E}, c \in C, t \in T$$

تابع هدف به حداکثر رساندن ارزش خالص فعلی(NPV) از جریان های نقدی که فرصت سودآوری برای سرمایه گذاری بلندمدت نادیده گرفته شده است. در واقع تورم در این مدل برای سالهای بررسی صفر در نظرگرفته شده است. بعلاوه تابع هدف دوم به حداقل رساندن مربوط به انتشار گازهای گلخانه ای برای محصول تأمین شده از تأمین کنندگان می باشد. (NPV) که شامل ارزش زمانی پول و سود (هزینه کل - کل درآمد) است.

تابع هدف دوم مسئله به این صورت است در این رابطه n تعداد تأمین کنندگان، Gi میزان انتشار کربن برای محصول تأمین شده از تأمین کننده i ام و Si تعداد واحدهای خریداری شده از تأمین کننده های i ام می باشد. انتشار کربن و افزایش گرمای جهان از مهم ترین چالش های دنیای امروز است. یکی از شاخص های مهم برای ارزیابی استفاده بهینه از انرژی، شاخص شدت کربن است. این شاخص نشان می دهد که اقتصاد کشور به ازای هر واحد تولید خالص داخلی چه میزان دی اکسیدکربن در جو زمین منتشر می کند؟ چه مقدار این شاخص؛ بسته به نوع فناوری ها، الگوهای تولید و مصرف انرژی در کشورهای مختلف متفاوت است. در این بخش، محدودیت ها به ۶ بخش تقسیم می شود:

محدودیت انتشار گازهای گلخانه ای، محدودیت های جریان رو به جلو، محدودیت های جریان معکوس، محدودیت های ظرفیت، محدودیت های مکان، محدودیت های غیر منفی و صریح.

۴- محدودیت مربوط به انتشار کربن محصولات

مقدار کل کربن منتشر شده از محصولات مختلف بایستی از یک حد معینی بالاتر نرود و محصولات خریداری شده از تامین کنندگان مختلف دارای کمترین مقدار انتشارکربن باشد به بیانی دیگر اگر Gi میزان انتشار کربن برای محصول تامین شده از تامین کننده ی i ام باشد واگرCcap حداکثر مقدارکربن منتشر شده به ازای محصولات مختلف باشد.

محدودیت شماره(۴) تقاضای مورد نیاز قطعه برای تولید محصول نهایی در کارخانه را نشان می دهد. محدودیت شماره (۵) محدودیت ارتباط بین فرایند تولید در مرکز تولید و جریان از مرکز توزیع به طور مستقیم به مشتریان می باشد .محدودیت شماره (۶) اعلام می دارد جریان ورودی از فرایند ساخت در یک یا چند سایت کارخانه به مرکز توزیع واقع در هر سایت متوسط در دوره زمانی باید برابر با جریان خروجی به یک یا چند مشتری در دوره زمانی باشد. محدودیت شماره(۷) تقاضای مورد نیاز هر مشتری در دوره زمانی را مشخص میکند. محدودیت شماره(۸) تعیین می دارد نرخ بازده از پیش تعریف شده برای هر محصول نهایی به عنوان مقدار بازگشتی برای هر مشتری استفاده گردد. محدودیت های(9-۱۰) به منظور اطمینان از ارتباط بین مرکز جمع آوری و جریان های ورودی و خروجی از مجموعه مراکز است.

محدودیت شماره(۱۱) ایجاد شرایط لازم کل جریان خروجی قطعات قابل استفاده مجدد از مرکز جداسازی ـ بازسازی می باشد. محدودیت شماره(۱۲) به اجرا در می آورد قطعات قابل استفاده که تعداد قطعات جداسازی شده و بازسازی شده از محصول نهایی

بازگشتی که از یک یا چند مشتری ارسال گردیده، و از یک یا چند سایت متوسط توسط فرایند جمع آوری در مرکز جمع آوری خود را به هر پیمانکار فرعی جداسازی/ بازسازی قطعات در دوره زمانی $t \in T$.

محدودیت های(۲۰-۱۳) تضمین می کند که تنها جابجایی ظرفیت و توسعه در طول افق برنامه ریزی امکانپذیر است. نامساوی های(۲۱-۲۲) اطمینان می دهند که ظرفیت برای پردازش محصولات نهایی $g \in G$ در هر محل کارخانه $j \in J$ از آن مقدار تجاوز نخواهد کرد. محدودیت(۲۳) به هر مرکز $a \in A$ و هر سایت کارخانه $j \in J$ تحمیل می کند که باید بالاتر از حداقل ظرفیت مجاز خود عملیات انجام دهد. محدودیت شماره(۲۴-۲۵) اطمینان حاصل می شود که جریان ورودی از محصولات نهایی $g \in G$ به هر سایت میانی $i \in I$ نباید از حداکثر ظرفیت آن سایت میانی تجاوز نماید. محدودیت شماره(۲۶) تضمین می کند که تعداد محصولات نهایی $g \in G$ ارسال شده به هر مرکز $b \in B$ در هر سایت میانی $i \in I$ باید بیشتر از حداقل ظرفیت مجاز آن مرکز باشد. محدودیت شماره(۲۷) حداکثر ظرفیت موجود از هر تأمین کننده خارجی $s \in S$ را نشان می دهد. محدودیت شماره(۲۸) تضمین می نمایدکه هیچ مرکز $c \in C$ در محل سایت قابل انتخاب $o \in O$ وجود ندارد که عملیاتی باشد و اگر نه غیرفعال است. محدودیت های(۲۹-۳۳) محدودیت های پیکربندی تسهیلات که وضعیت (بازبودن و بسته بودن) آنها بیش از یک بار تغییر نمی کند. محدودیت شماره (۳۴) تضمین می نمایند اگر که مرکز $c \in C$ در محل سایت موجود $e \in E$ گسترش یابد، سپس آن در سراسر افق برنامه ریزی عملیاتی باقی می ماند .

۵- روش حل مسئله

۵-۱- مراحل الگوریتم (MOPSO)

۱. ایجاد جمعیت اولیه

۲. جدانمودن اعضای نامغلوب[1] جمعیت و ذخیره نمودن آن در Rep[2]

3. جدول بندی فضای هدف کشف شده

۴. هر ذره از میان اعضای Rep یک رهبر انتخاب می کند و حرکت خود را انجام می دهد.

۵. بهترین خاطره شخصی هرکدام از ذرات به روز می شود.

۶. اعضای نامغلوب جمعیت فعلی به Rep اضافه می گردد.

۷. اعضای مغلوب Rep حذف می نمائیم.

۸. اگر تعداد اعضای Rep بیش از ظرفیت تعیین شده باشد اعضای اضافی را حذف نموده و جدول بندی را تجدید می کنیم.

۹. در صورتی که شرایط خاتمه محقق نشده به مرحله ۳ بر می گردیم و در غیر این صورت پایان.

همچنین مسئله با الگوریتم ژنتیک چند هدفه نیز حل شده است که این دو جواب مقایسه می شوند.

۶- نتایج محاسباتی

در این بخش از قابلیت های مدل ارائه شده از طریق یک مطالعه موردی یک شبکه ساختگی زنجیره تأمین حلقه - بسته که شامل چندین تسهیلات موجود و جدید ایجاد گردیده است. در طول افق برنامه ریزی تسهیلات می توانند بسته و امکانات بالقوه جدید را می توان از مجموعه ای از مکان های انتخابی باز نمود. همچنین تعدادی تأمین کننده، مشتریان و پیمانکاران فرعی در مکان های ثابت وجود دارند. پس از آن با توجه به NP-hard بودن مسئله (درمقالاتی که قبلاً اشاره شد، شبکه های زنجیره حلقه – بسته جزء مسائل NP-hard می باشد مطرح گردید.) مدل را برای ۱۰ مسئله آزمایشی پیاده سازی کرده و روش های حل را مورد مقایسه قرار می دهیم. هریک از الگوریتم ها با استفاده از نرم افزارR2012a(7.14.0.739) 64-bit Matlab و با سیستم عامل Windows7 اجرا شده اند. پارامترهای ورودی مدل جهت اجرای الگوریتم ها در جدول ۱ آمده است. سپس با الگوریتم های پیشنهادی برای

[1] Non dominate
[2] Repository

مقایسه روش های حل، مسائل را در سایزهای مختلف به اجرا گذاشته و بهترین مقدار شاخص های الگوریتم های چند هدفه را درنظر می گیریم.

جدول ۱- تعداد سطوح مختلف مسائل نمونه

شماره مسئله	تامین کننده	مرکز تولید/ مرکزجداسازی- بازسازی	پیمانکارخارجی مرکزجداسازی- بازسازی	مرکز توزیع/ مرکزجمع آوری	مشتری
1	2	3	5	3	5
2	5	10	10	5	10
3	5	10	15	10	15
4	10	15	20	15	20
5	15	30	25	30	40
6	20	40	30	40	60
7	25	50	30	50	80
8	30	60	35	60	100
9	35	70	40	65	110
10	40	80	40	70	130

جدول ۲- توزیع پارامترهای ورودی برای مسائل نمونه

پارامتر	تابع توزیع	پارامتر	تابع توزیع
DP k,g,t	U(30,60)	Gr S ,t	U(300,900)
RC k,g,t	U(2,15)	AM m,g	U(1,4)
KO min o,c	U(200,400)	RH m,g	U(1,4)
KI o,c	U(300,500)	FR g,t	U(60,85)
KC max o,c	U(200,400)	FC o,c	U(10,90)
KC min o,c	U(200,400)	IR	0.5

شبکه شامل سه تأمین کننده خارجی(Su3, Su2, Su3)، دو سایت کارخانه های تولیدی موجود($PL1, PL^2$) یک پتانسیل سایت جدید(PL3) یکی از سایتهای موجود بطور واسط (in1) یک پتانسیل سایت جدید میانی in2. سه مشتری(CU3, ,CU1 CU2) و یک پیمانکار فرعی جداسازی – بازسازی کننده قطعات(OU1).

قبل از اینکه افق برنامه ریزی آغاز گردد. سایتهای کارخانه های PL2, PL1 هر دو موجود و هر دو دارای مرکز تولید a1 و مرکز جداسازی – بازسازی قطعات a2 هستند، و سایت میانی موجود in1 دارای 2 مرکز توزیع b1 و مرکز جمع آوری b2 است. ممکن است مرکز تولید و جداسازی – بازسازی قطعات مرکز a2 در سایت کارخانه جدید PL3 و مرکز توزیع b1 و جمع آوری b2 در سایت متوسط(میانی) جدید in2 باز نمود. سه نوع قطعه/ قطعات(m1, m2, m3) که تبدیل به دو محصول نهایی(g1, g2) می شوند. این روش با برنامه 23.4 و حل کننده Cplex می باشد. به منظور بررسی مدل ۹ حالات مختلف در نظر گرفته شده است. در حال حاضر سناریوها به دنبال تغییر تقاضا و مقدار بازگشتی هستند. جداول ۳ و۴ پارامترها و داده های مختلف تقاضای محصول مشتریان و نرخ برگشتی از مشتریان تا ۱۰ سال ارائه می دهد.

سناریوهای در نظر گرفته شده به شرح ذیل است:

۱- سناریوهای کاهش تقاضای محصول:

سناریو DL : اولین سناریو اثر کاهش تقاضای محصول و نرخ کم برگشتی (بازده) می باشد. (جدولهای۴-الف و ۵-الف)

سناریو DM : نرخ مشابه تقاضای محصول شبیه سناریو اول اّمّا نرخ متوسط محصولات بازگشتی در نظر گرفته می شود.

سناریو DH : شبیه به سناریو اول در کاهش تقاضای محصول امّا نرخ بالا محصولات بازگشتی (جدولهای۴-الف و ۵-ج

۲- سناریوهای تقاضای محصول نسبتاً با ثبات:

سناریو SL : سناریوی مورد مطالعه اثر نسبتاً پایدار تقاضای محصول و نرخ کم محصولات بازگشتی جدولهای

سناریو SM :سناریوی مورد مطالعه اثر نسبتاً پایدار تقاضای محصول و نرخ متوسط محصولات بازگشتی ۴- ب و ۵-ب

سناریو SH : شبیه به سناریو SL از لحاظ تقاضای محصول نسبتاً پایدار امّا نرخ بالای محصولات بازگشتی جدولهای۴- ب و۵ -ج

۳- سناریوهای افزایش تقاضای محصولات:

سناریو IL : این سناریو اثر افزایش تقاضای محصول و نرخ کم بازده را در نظر می گیرد . (جدولهای۴-ج و ۵-الف)

سناریو IM : این سناریو مشابه IL از نظر تقاضا است ولی نرخ متوسط محصولات بازگشتی مورد توجه قرار گرفته است (جدولهای۴-ج و۵-ب)

سناریو IH : سناریو مشابه IL از نظر تقاضای محصول می باشد با این تفاوت که نرخ بالای محصولات بازگشتی در نظر گرفته شده است (جدولهای۴-ج و۵-ج)

فرض می شود تقاضای محصولات در جداول(۴-3 و۴-۴) قطعی و از قبل تعیین گردیده است.

جدول۳-الف نشان دهنده کاهش تقاضا است. تقاضاها به تدریج از ۵٪ تا ۲۰٪ هر سال کاهش می یابد. جدول۳-ب شامل پارامترهای تقاضا نسبتاً پایدار است که بطور متوسط حدود ۱۰٪ از ارزش تقاضا در هر دوره با دوره قبل متفاوت است. جدول ۴-ج هر ساله در حدود ۵ تا ۱۵٪ افزایش می یابد. جداول ۴ داده های نرخ بازگشتی که از نظر درصد از محصولات برگشتی از مشتریان تعریف شده را فراهم می نماید.

در جدول۴-الف نرخ پائین محصولات بازگشتی ارائه شده است.فرض بازگشت محصولات به زنجیره تأمین از ۱۰٪ تا ۳۰٪ محصولات مورد تقاضا می باشد.

جدول۴-ب نرخ متوسط محصولات بازگشتی را نشان می دهد. بازگشت محصولات ۴۰٪ تا ۶۰٪ از محصولات. در جدول ۴-ج نرخ بالای محصولات برگشتی فرض شده که ۷۰٪ تا ۹۰٪ از محصولات مورد تقاضای مشتریان است.

جدول ۳- الف) تقاضا محصولات کاهنده- تقاضای محصولات مشتریان(DPk ,g ,t)

مشتریان	محصول نهایی	تقاضادر دوره (سال)									
		۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
cu1	g1 g2	11000 10000	10000 10000	1000 9000	1000 9000	10000 7000	10000 7000	10000 7000	9500 7000	9000 7000	8500 7000
cu2	g1 g2	10000 10000	10000 11000	9000 10500	9000 10000	8000 10000	7500 9000	6500 7000	6500 7000	5500 6200	5500 5200
cu3	g1 g2	12000 11000	10000 9000	9000 9000	9000 9000	8500 7000	7500 7000	7000 6000	6800 5600	6500 5100	6000 5000

جدول ۳- ب) تقاضا محصولات تقریبا ثابت - تقاضای محصولات مشتریان (DPk ,g ,t)

مشتریان	محصول نهایی	تقاضادر دوره (سال)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
cu1	g1 g2	11000 10000	11000 11000	11000 11500	11000 11000	11000 11000	11000 10000	11000 10000	11000 11000	11000 11200	11000 12000
cu2	g1 g2	10000 10000	10000 11000	11000 11000	11000 11000	11000 11000	11000 11000	11000 11000	10000 13000	11000 11000	11000 10000
cu3	g1 g2	12000 11000	12500 11000	11000 11000	11800 11500	11000 11000	11000 11000	13000 12000	12500 11000	10000 12000	12000 11000

جدول ۳- ج) تقاضامحصولات افزاینده - تقاضای محصولات مشتریان (DPk ,g ,t)

مشتریان	محصول نهایی	تقاضادر دوره (سال)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
cu1	g1	10000	11000	12000	13000	14000	14500	15000	15500	16000	18000
	g2	10000	11000	11500	12000	12000	12500	13000	14000	17000	18000
cu2	g1	10000	11000	12000	12400	13000	13500	14000	15000	16000	17000
	g2	10000	11000	12000	13000	13500	14000	15000	16000	17000	18000
cu3	g1	10000	11500	12000	13800	14000	15000	15500	16500	17000	18000
	g2	10000	11000	11500	12500	13000	14000	15000	16000	16500	17000

جدول ۴- الف) نرخ پائین برگشتی ها- نرخ برگشتی محصولات از مشتریان(RCK.g.t)

مشتریان	محصول نهایی	نرخ برگشتی در دوره (سال)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
cu1	g1	0.2	0.1	0.3	0.2	0.3	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2
	g2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2
cu2	g1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3	0.2	0.3
	g2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1	0.2
cu3	g1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2
	g2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2

جدول ۴- ب) نرخ متوسط برگشتی ها- نرخ برگشتی محصولات از مشتریان(RCK.g.t)

مشتریان	محصول نهایی	نرخ برگشتی در دوره (سال)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
cu1	g1	0.5	0.4	0.4	0.5	0.6	0.4	0.6	0.5	0.5	0.4
	g2	0.4	0.4	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.6	0.6	0.5
cu2	g1	0.5	0.5	0.4	0.4	0.6	0.4	0.6	0.5	0.5	0.6
	g2	0.5	0.4	0.4	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6	0.5
cu3	g1	0.4	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5	0.4	0.6	0.5	0.6
	g2	0.4	0.6	0.4	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5	0.5	0.4

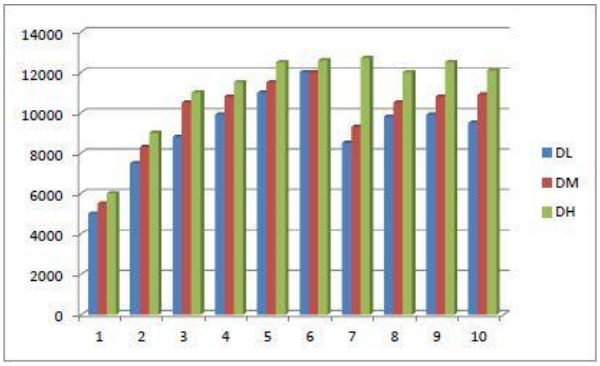
جدول ۴- ج) نرخ بالا برگشتی ها- نرخ برگشتی محصولات از مشتریان(RCK.g.t)

مشتریان	محصول نهایی	نرخ برگشتی در دوره (سال)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
cu1	g1	0.5	0.4	0.4	0.5	0.6	0.4	0.6	0.5	0.5	0.4
	g2	0.4	0.4	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.6	0.6	0.5
cu2	g1	0.5	0.5	0.4	0.4	0.6	0.4	0.6	0.5	0.5	0.6
	g2	0.5	0.4	0.4	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6	0.5
cu3	g1	0.4	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5	0.4	0.6	0.5	0.6
	g2	0.4	0.6	0.4	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5	0.5	0.4

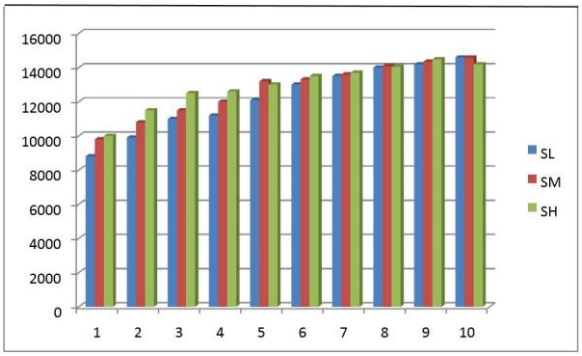
نتایج بدست آمده از مدل در این بخش معرفی شده است. آمار و ارقام پس از اجرای برنامه به بهینه پیکربندی زنجیره تأمین انجامید. به وضوح از نتایج در همه حالات می توان دریافت که زمانی که تقاضا افزایش می یابد هزینه کل سیستم زنجیره تامین نیز افزایش می یابد و هنگامی که نرخ بازگشتی افزایش می یابد هزینه های جداسازی- بازسازی برای همان مقدار تقاضا کاهش می یابد. دلیل آن این است که ما فرض می کنیم خریداری یک واحد از قطعه/ جزء جدید، به دنبال آن یک واحد از بخش های قطعات/ اجزاء قابل استفاده مجدد واگذار شده و بهبود یک واحد از قطعه/ جزء از فرایند جداسازی-بازسازی قطعات در محل کارخانه، گران تر است. حتی اگر هزینه های حمل و نقل از افزایش نرخ بازگشتی، هزینه های پردازش افزایش می یابد، در هر حال از هزینه های حمل و نقل بسیار گران تر است. این را می توان از ارقام افزایش ظرفیت و یا هزینه های جابجایی در سراسر افق برنامه ریزی متوجه شد.

علاوه بر این هزینه های اضافی در طول یک دوره ۱۰ ساله داده شده با توجه به بسته و باز شدن تسهیلات اضافه می گردد. همانطور که انتظار می رفت میزان نرخ بازگشتی برای هر دوره زمانی، سود افزایش می یابد. در اصطلاح معیار بهینه سازی، شکل ۱ در حال

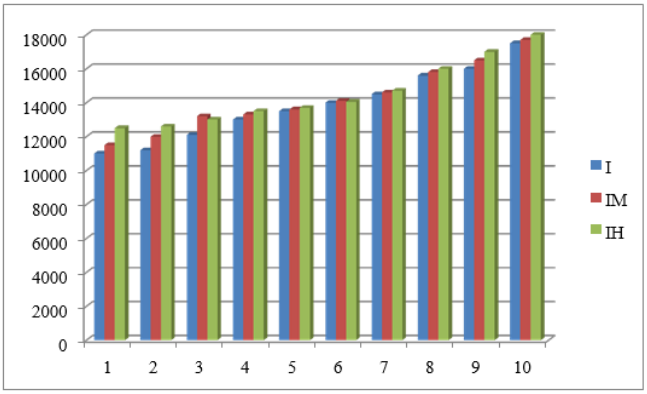
حاضر خالص ارزش مطلوب(NPV) برای تمام موارد سناریوها نشان می دهد. نتایج برای هر دو تقاضای مشتریان و ارزش نرخ بازگشتی منجر به NPV بالاتر و در نتیجه سرمایه گذاری سودآور در درازمدت می گردد .



الف) سناریوهای تقاضاکاهنده



ب) سناریوهای تقاضاکاهنده



ج) سناریوهای تقاضا درحال افزایش

شکل ۱- سود برای نرخ های مختلف برگشتی

برای تجزیه و تحلیل رفتار مدل با موارد مورد مطالعه در بالا، مقایسه از حالت مختلف سناریو درجدول ۵ ارایه شده است .

جدول ۵- مقایسه سناریوها

سناریو	مقدار تابع هدف	CPU-Time
DL	123,098,580.4113	0.890
DM	128,624,498.4891	0.765
DH	134,087,184.0504	0.765
SL	165,917,023.9137	0.797
SM	173,541,252.7695	0.734
SH	175,714,097.4246	0.703
IL	203,250,883.5034	30.514
IM	212,360,612.1363	2.156
IH	221,815,313.2713	1.093

با این حال اشکال اصلی مدل MILP رشد نهایی درزمان واقعی است. بنابراین در این بخش دو سوال مطرح می شود: اولاً مسئله بر اساس شرایط واقعی چگونه می باشد؟ و در مرحله دوم چگونه مدل با مقیاس بزرگ رفتار خواهد نمود؟ لذا با الگوریتم های پیشنهادی برای مقایسه روش های حل، مسائل را در سایزهای متفاوت به اجرا گذاشته و بهترین مقدار شاخص های الگوریتم های چند هدفه را درنظر می گیریم.

۷- نتیجه گیری

بعنوان یک نتیجه گیری اصلی می توان اظهار نمود که شرکت های تولیدی باید با ایجاد انگیزه برای مشتریان جهت بازگشت محصولات مورد استفاده خود برای بهبود مزیت رقابتی خود به تبدیل بیشتر به مسائل زیست محیطی قادر به دریافت سود بیشتر

خواهند بود. تمام مطالعات موردی دقیق عددی نشان می دهد که پیکربندی شبکه های رو به جلو و معکوس تأثیری قوی بر روی عملکرد هریک از آنها دارد.

تسهیلات باید به نقاط عرضه و تقاضا نزدیک باشد، حمل و نقل بخش بزرگی از کل هزینه می باشد، در حالی که تسهیلات با هزینه پردازش بالا و یا هزینه های عملیاتی ثابت نیاز به عملیات متمرکز دارند.

تسهیلات دوطرفه باعث حذف هزینه های قابل توجهی در زیرساخت ها، تجهیزات و منابع انسانی می گردد. تنها جداسازی تسهیلات رو به جلو و معکوس ممکن است در صورت سودمندی حمل و نقل و یا(دوباره) ساخت یک بخش بزرگی از کل هزینه کاهش دهد. همانطور که می توان از نتایج متوجه شد افزایش در تقاضا محصولات و بازگشتی ها باعث جابجایی ظرفیت و افزایش توسعه تسهیلات می شود. مشاهده می کنیم که حداکثر NPV هدف مناسب تر برای یک افق برنامه ریزی بلندمدت است.

آنچه از نتایج می توان نتیجه گیری نمود آن است که مدل های ارائه شده در این مقاله یک بصیرت بزرگ در جنبه های کمی استراتژیک برنامه ریزی زنجیره تأمین حلقه – بسته باشد.

مدل ارائه شده می تواند بیشتر توجه به بهبود شبکه باشد. این می تواند به آزادسازی قطعی تقاضا و برگشتی ها در مقابل با مسائل احتمالی باشد. در مورد یک مسئله واقعی در مقیاس – بزرگ یک روش فراابتکاری توسعه یافت و در نهایت با اصطلاح زنجیره تأمین حلقه – بسته شامل طراحی و رسیدن به حداقل اثرات زیست محیطی در عملکرد اقتصاد مورد نظر بهبود حاصل شد.

۸– منابع

1. Aras, N, Aksen, D, Tanugur, AG (2008) "Locating collection centers for incentive- dependent returns under a pick-up policy with capacitated

2. Du, F, Evans, GW (2008) "A bi-objective reverse logistics network analysis for post-sale service",Computers & Operations Research, 35:26, 17–34.

3. Dullaert, W, Braysy, O, Goetschalckx, M, Raa, B (2007) "Supply chain(re)design: support for managerial and policy decisions", European Journal of Transport and Infrastructure Research, 7:2, 73–.19

4. Gen, M, Altiparmak, F and Lin, L (2006) "A genetic algorithm for two-stage transportation problem using priority-based encoding" OR Spectrum, 28, 337–354

5. Gen, M, Cheng, R and Lin, L (2008) Network models and optimization: multiobjective genetic algorithm approach. Springer, London, chapter 3.

6. Jayaraman, V and Pirkul, H (2001) "Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities" European Journal of Operational Research, 133, 394–408.

7. Jyaraman, V, Guige, VDR and Srivastava, R (1999) "A closed-loop logistics model for manufacturing", Operational Research Society, 50, 497-508.

8. Ko, HJ and Evans, GW (2007) "A genetic-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs" Computers & Operations Research, 34, 346-366.

9. Lee, D and Dong, M (2008) "A heuristic approach to logistics network design. for end-of- lease computer products recovery", Transportation Research, 44:E, 455–.474

10. Li, Y and Chen, Y (2010) "An effective TPA-based algorithm for job-shop scheduling problem", Expert Systems with Applications.

11. Listes, O and Dekker, R (2005) "A stochastic approach to a case study for product recovery network design", European Journal of Operational Research,160, 268–287.

12. Meade, L.,Sarkis, J. and Presley, A. (2007). "The theory and practice of Reverse Logistics." International Journal of Logistics systems and Management, Vol. 3, PP. 56-84.

13. Meepetchdee, Y and Shah, N (2007) "Logistical network design with robustness and complexity considerations", International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 37:20, 1–22.

14. Melachrinoudis, E, Messac, A and Min, H (2005) "Consolidating a warehouse network: a physical programming approach", International Journal of Production Economics, 97, 1-17.

15. Mousazadeh, M., Torabi, S. A., & Pishvaee, M. S. (2014). Green and reverse logistics management under fuzziness. In Supply Chain Management Under Fuzziness (pp. 607-637). Springer Berlin Heidelberg.

16. Sabri, EH and Beamon, BM (2000) "A multi-objective approach to simultaneous strategic & operational planning in supply chain design", Omega, 28:5, 581–598.

17. Thomas, DJ and Griffin, PM (1996) "Coordinated supply chain management", European Journal of Operational Research, 94:1, 1–15.63–880.

18. Dondo, R. G., & Méndez, C. A. (2016). Operational planning of forward and reverse logistic activities on multi-echelon supply-chain networks. Computers & Chemical Engineering, 88, 170-184.

19. 19, Singh, S. R., & Rathore, H. (2015). Reverse logistic model for deteriorating items with non-instantaneous deterioration and learning effect. In Information systems design and intelligent applications (pp. 435-445). Springer India.