



پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری

دوره ۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، صص ۱۷۱-۱۹۹

نوع مقاله: پژوهشی

طراحی شبکه زنجیره تأمین پت با تقاضای وابسته به قیمت: الگوریتم فراابتکاری با روش نمایش تطبیق یافته

احسان یادگاری^{۱*}، اکبر عالم تبریز^۲، مصطفی زندیه^۲، فریبا صلاحی^۳، امیر دانشور^۳

- ۱- پژوهشگر پسادکتری، مرکز هنری فایول، دانشکده ریاضی و مهندسی صنایع، دانشگاه اکول دمین، سنت اتین، فرانسه
- ۲- استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
- ۳- استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، واحد الکترونیکی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۸/۰۵

چکیده

در ایران صنعت بازیافت پت نوظاست و گرچه به تازگی شکل گرفته اما به دلیل برگشت اقتصادی مناسب، افراد و شرکت‌های زیادی به این صنعت روی آورده‌اند. ایجاد ساختار مناسب در شبکه توزیع و جمع‌آوری این محصولات می‌تواند زمینه مناسب جهت کاهش مصرف آن و در عوض استفاده از کالاهای دوست‌دار محیط زیست را فراهم آورد. مقاله حاضر به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته برای طراحی شبکه زنجیره تأمین می‌پردازد که در آن تقاضای مشتریان وابسته به قیمت عرضه شده از سوی مراکز توزیع است. در مدل ارائه شده به دو روند اصلی جهانی در این صنعت توجه شده است: ۱- اقتصادی کردن جمع‌آوری و بازیافت بطری، ۲- هزینه‌دار کردن مصرف بطری‌های پلاستیکی. در ادامه از الگوریتم بهینه‌سازی یادگیری و آموزش برای حل مدل پیشنهادی بهره‌جسته‌ایم. از آنجایی‌که این الگوریتم برای روش‌های نمایش پیوسته معرفی شده و روش نمایش مورد استفاده این مقاله روش اولویت محور و گسسته است، اصلاحاتی برای تطبیق این الگوریتم با روش اولویت محور صورت گرفته است. در نهایت عملکرد این الگوریتم از لحاظ کیفیت جواب‌ها و سرعت همگرایی با دو الگوریتم فراابتکاری دیگر مقایسه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: الگوریتم بهینه‌سازی آموزش و یادگیری، لجستیک، برنامه‌ریزی خطی، تقاضای وابسته به قیمت.



۱- مقدمه

پلی اتیلن ترفتالات^۱ (پت) پلیمری است که در اغلب کشورها برای تولید الیاف پلی استر، رزین بطری، فیلم و رزین‌های پلی استر مهندسی به کار می‌رود ولی در ایران این پلیمر بیشتر برای ساخت انواع بطری‌های آشامیدنی استفاده می‌شود.

درگیر ساختن کسانی که در تولید و پخش بطری‌های پی.ای.تی ذی‌نفع هستند و با این هدف که هر کس که در چرخه تولید و مصرف بطری‌ها نقش دارد، باید سهم مسئولیت خود را در بازیافت آن‌ها بپذیرد، می‌تواند در بازیافت این بطری‌ها کارساز باشد. تحقق این امر ذیل سه موضوع امکان‌پذیر است:

۱. آموزش بازیافت به مردم (متمایز کردن مصرف نوشیدنی با مصرف بطری)
۲. اقتصادی کردن جمع‌آوری و بازیافت بطری.
۳. هزینه‌دار کردن مصرف بطری‌های پلاستیکی.

از سه مورد ذکرشده در بالا، در سال‌های ۹۵ تا ۹۷ (زمان انجام این مقاله)، مورد اول تا حدود زیادی در کشور بررسی و اجرا شده است؛ اما در مورد موارد دوم و سوم، می‌توان با الگوبرداری از کشورهای پیشرو مسیر کوتاه‌تری برای مواجهه با آثار زیان‌بار پلاستیک جستجو کرد.

اقتصادی کردن جمع‌آوری و بازیافت بطری: در مورد "اقتصادی کردن جمع‌آوری و بازیافت بطری"، این مقاله با رویکرد زنجیره تأمین سعی در کاهش هزینه‌ها و آثار منفی زیست‌محیطی دارد، به طوری که بتوان با استفاده از خروجی‌های مدل ریاضی شبکه زنجیره تأمین پلاستیک در سطح کشور مکان‌های مناسب جهت تولید، توزیع و جمع‌آوری بطری‌های پت را تشخیص داد که در نتیجه آن شبکه زنجیره تأمین پلاستیک در سطح کشور به صورت سنتی اداره نشده بلکه با استفاده از پارامترهای ورودی مکان‌ها و مسیرهای مناسب حرکت پلاستیک مشخص گردند.

هزینه‌دار کردن مصرف بطری‌های پلاستیکی: بازیافت بطری‌ها، در پاره‌ای کشورها با تعیین قیمت (و گرفتن «گرویی») آغاز می‌شود. کسی که بطری را بازگرداند، پول کمتری برای مصرف آن می‌پردازد و هر کس که بطری را دور بیندازد، هزینه‌ای در مقابل آلوده‌سازی پرداخته است. روشن است که مصرف چیزی که قیمت نداشته باشد، با اسراف و ریخت‌وپاش همراه است.



همچنین در مورد "هزینه‌دار کردن دورریخت بطری" با استفاده از مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین پت این رساله می‌توان با تحلیل حساسیت روی قیمت تمام‌شده بطری‌ها و آثار مالیات بر قیمت این محصولات میزان تقاضای آتی را پیش‌بینی و در جهت کاهش مصرف این اقلام گام برداشت.

۲- مرور مقالات

بیشتر ادبیات موجود در زمینه طراحی شبکه‌های زنجیره تأمین^۲ شامل مدل‌های مختلف مکان‌یابی تسهیلات بر پایه برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته است. جایارامان و همکاران [۱] یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته برای طراحی شبکه لجستیک معکوس با هدف حداقل سازی هزینه ارائه دادند. در این مقاله تنها به فعالیت‌های احیا محصولات برگشتی پرداخته شده است. آستر و همکاران [۲] یک شبکه نیمه یکپارچه را که در آن شبکه لجستیک مستقیم موجود فرض شده و تنها مراکز جمع‌آوری و احیا در لجستیک معکوس مکان‌یابی می‌شوند، طراحی کردند. یکی دیگر از مقالاتی که به خوبی به طراحی یکپارچه شبکه لجستیک مستقیم و معکوس پرداخته، مقاله لی و همکاران [۳] است. در این مقاله از یک نوع تسهیل ترکیبی که هم نقش مراکز تولید در جریان مستقیم و هم نقش مراکز احیا در جریان معکوس را برعهده دارد که برای طراحی شبکه لجستیک محصولات پت استفاده شده است. یادگاری و همکاران [۴] یک شبکه لجستیک حلقه‌بسته را توسعه دادند که در آن برای جریان‌های روبه‌جلو و برگشتی از مراکز توزیع به‌عنوان تسهیلات ترکیبی استفاده کردند و همچنین آن‌ها الگوریتم ژنتیک^۳ بر مبنای درخت گسترده^۴ را برای حل مدل ارائه دادند. یک مدل‌های طراحی شبکه زنجیره تأمین روبه‌جلو/برگشتی ارائه شده‌اند که در آن‌ها ریسک‌های موجود در شبکه شناسایی و لحاظ شده‌اند [۵].

در این حوزه طبق مقالات مروری [۶، ۷] مقالات سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷ در زمینه طراحی شبکه از نظر نوع مدل‌سازی مورد بررسی قرار گرفته‌اند که در آن به دسته‌بندی در این حوزه از لحاظ مدل‌سازی و روش‌های حل این نوع مسائل پرداخته شده است.

تقاضا به‌عنوان جلوبرنده کل سیستم زنجیره تأمین نقش کلیدی جهت مدل‌سازی آن ایفا می‌کند که می‌بایست در این مطالعه مورد ملاحظه قرار گیرد. دو دسته تقاضای اصلی در این حوزه قرار دارند؛



تقاضای ثابت [۸، ۹]، تقاضای وابسته به زمان [۱۰]، تقاضای وابسته به سطح موجودی، تقاضای وابسته به قیمت [۱۱، ۱۲] و تقاضای وابسته به قیمت و زمان [۱۳] به صورت توأمان انواع نمونه‌های تقاضاهای قطعی می‌باشند. هیل در مقاله [۱۴] اولین فردی بود که نوعی تقاضای شیب‌دار به مسئله موجودی وارد نمود. اسکوری و همکاران [۱۵] نیز مدل موجودی با تقاضای شیب‌دار و کمبود پس افت پاره‌ای و نرخ فاسدشدنی وابسته به زمان توسعه دادند.

۲-۱- خلاصه‌های تحقیقاتی

به‌طور خلاصه خلاصه‌های تحقیقاتی که در این مقاله مدنظر قرار گرفته‌اند به شرح زیر است:

۱- در نظر گرفتن تقاضای وابسته به قیمت که در نتیجه آن، می‌توان به صورت کمی تصمیمات را در جهت هزینه‌دار کردن مصرف بطری‌های پلاستیکی اتخاذ نمود.

۲- به‌کارگیری الگوریتم‌های فراابتکاری نوین

۳- توسعه یک مدل حلقه بسته خطی آمیخته با اعداد صحیح منطبق با جریان مواد پت در چرخه طول عمر این محصول شامل: مراکز تأمین، مراکز تولید و احیا، مراکز تولید، مراکز جمع‌آوری و بازرسی، مراکز انهدام، بازارهای درجه دوم و مراکز تولید انرژی

۴- در نظر گرفتن انواع فنآوری‌های تولید و همچنین فنآوری‌های بازرسی و دسته‌بندی پلاستیک‌های جمع‌آوری‌شده

۵- حل مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین توسط سه الگوریتم فراابتکاری که در این بین الگوریتم TLBO برای اولین بار در این حوزه مورد استفاده قرار گرفته است.

۶- تغییرات و تنظیمات پیشرفته در روند کدبرداری از جواب‌های مسئله و تسریع روش‌های سنتی

۷- معرفی یک تکنیک جدید برای تبدیل روش نمایش جواب اولویت محور گسسته به حالت پیوسته

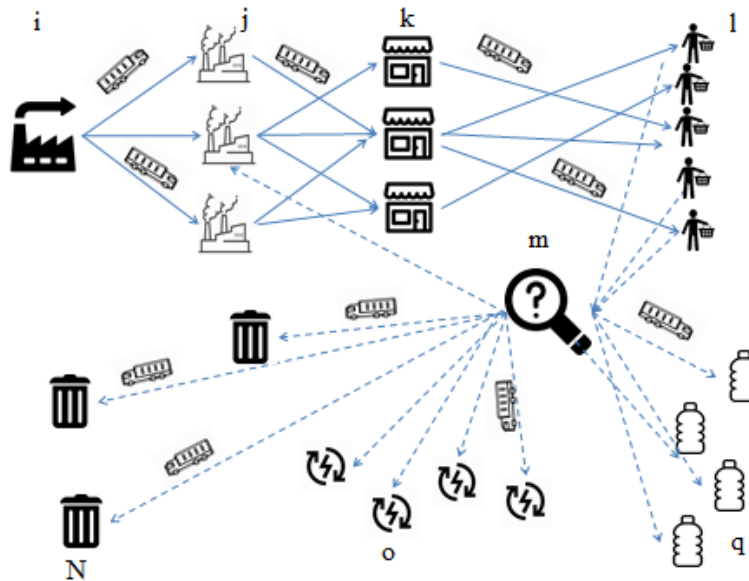
جهت ترسیم دقیق‌تر مسیر تحقیق کنونی به‌طور خلاصه می‌توان گفت:

الف: حرکت مواد پلاستیکی از زمان تولید تا استفاده دوباره و فروش به بازارهای مختلف طبق تحقیقی در اثر توآ و همکاران [۱۶] به صورت توصیفی مورد بحث قرار گرفته شده است که تصویر شماره ۱ برگرفته از این اثر می‌باشد. در این مقاله سعی شده که شبکه زیر به صورت مدل ریاضی مورد بررسی قرار گیرد.

ب: در زمینه حل مدل، سعی شده است که حل مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه



بسته با روش نمایش پیشرفته و الگوریتم فراابتکاری جدیدی مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ۱. شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته پت

۳- تشریح مسئله و بیان مدل دریافتی

در این قسمت از مقاله با توجه به شکاف‌های موجود در طراحی شبکه‌های زنجیره تأمین که در مرور ادبیات به آن اشاره شد، مدلی طراحی شبکه زنجیره تأمین پت با توجه به مسئله‌ای که تعریف خواهد شد پیشنهاد می‌شود.

شبکه مورد بررسی در این بخش از مقاله یک شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته چند رده‌ای و تک‌محصولی است. مطابق با شکل (۱) این‌طور در نظر گرفته می‌شود که ابتدا در چرخه روبه‌جلو، باید مواد اولیه لازم برای ساخت محصول، از تأمین‌کنندگان مواد اولیه تهیه و به مراکز تولید/احیا فرستاده شود. سپس محصول تولیدی در این مراکز، برای جوابگویی به تقاضای مراکز توزیع فرستاده می‌شود، مراکز توزیع تقاضای مراکز مشتریان از محصولات مختلف را پاسخ می‌دهند، پس از استفاده محصول توسط مشتری درصدی از این محصولات به‌عنوان کالای برگشتی و معیوب در چرخه برگشتی بازگشت داده شده و محصولات برگشتی بعد از جمع‌آوری توسط مراکز جمع‌آوری/بازرسی و انجام بازرسی کیفی به چهار



گروه تقسیم می‌شوند:

- ۱- محصولات قابل احیا
 - ۲- محصولاتی که می‌بایست عملیات انهدام ایمن روی آن‌ها انجام شود.
 - ۳- محصولاتی که به بازارهای دسته دوم جهت تولید کالاهای دیگر ارسال می‌شوند.
 - ۴- محصولات بازگشتی که به مراکز تولید انرژی ارسال می‌شوند
- قبل از تشریح مدل زنجیره تأمین حلقه بسته مجموعه‌ها و متغیرهای تصمیم مسئله به صورت زیر معرفی می‌شوند.

۱-۳- مجموعه‌ها و پارامترها:

I	مجموعه مکان‌های تأمین‌کنندگان
J	مجموعه مکان‌های بالقوه تولید و احیا
K	مجموعه مکان‌های بالقوه توزیع‌کنندگان
L	مجموعه مراکز مشتریان
M	مجموعه مکان‌های بالقوه جمع‌آوری/بازرسی اقلام بازگشتی
N	مجموعه مکان‌های انهدام ایمن
O	مجموعه مکان‌های مولد انرژی
Q	مجموعه مکان‌های مشتریان بازارهای دوم
T	مجموعه فناوری‌های موجود جهت نصب در مراکز تولید
T'	مجموعه فناوری‌های موجود جهت نصب در مراکز جمع‌آوری
A	مجموعه سود نسبی فروش به ازای هر واحد کالا در مراکز توزیع‌کنندگان
TIJ_{ij}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول از تأمین‌کننده i به تولیدکننده j
TJK_{jk}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول از تولیدکننده j به توزیع‌کننده k
TKL_{kl}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول از توزیع‌کننده k به مرکز مشتریان l
TLM_{lm}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول از مرکز مشتریان l به مرکز جمع‌آوری و بازرسی m
TMN_{mn}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول از مرکز جمع‌آوری و بازرسی m به مرکز انهدام n
TMJ_{mj}	هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول از مرکز جمع‌آوری و بازرسی m به



تولیدکننده z	
هزینه احداث تسهیلات در مرکز تولید و احیا z با فناوری t	FJ_{jt}
هزینه احداث تسهیلات در مرکز توزیع k	FK_k
هزینه احداث تسهیلات در مرکز جمع‌آوری m با فناوری t'	$FM_{mt'}$
هزینه ساخت هر واحد کالا	C
هزینه بازرسی هر واحد کالای بازگشتی	CC
هزینه انهدام ایمن به ازای هر واحد کالا	Ω
سود حاصل از فروش هر واحد محصول بازگشتی به مراکز مبدل انرژی	Ψ
سود حاصل از فروش هر واحد محصول بازگشتی به بازار دوم	Φ
سود حاصل از تحویل هر واحد کالای بازیافت شده به مراکز تولید و احیا	Γ
سود نسبی سطح a ام از فروش هر واحد محصول در مرکز توزیع k	A_{ka}
ظرفیت تأمین‌کننده i	$CapI_i$
ظرفیت مرکز تولید و احیا z با فناوری سطح t	$CapJ_{jt}$
ظرفیت مرکز توزیع k	$CapK_k$
ظرفیت مرکز جمع‌آوری و بازرسی m با فناوری سطح t'	$CapM_{mt'}$
ظرفیت مرکز انهدام n	$CapN_n$
ظرفیت مرکز تولید انرژی o	$CapO_o$
ظرفیت بازار دست‌دوم واقع در مکان q	$CapQ_q$
تقاضای مشتری l ام از مرکز توزیع k با سود نسبی سطح a ام	d_{kal}
درصد کالای جمع‌آوری شده از مشتریان	α
درصد کالای جمع‌آوری شده که پس از بازرسی در مراکز جمع‌آوری و بازرسی به مراکز تولید و احیا ارسال می‌شوند	β
درصد کالای جمع‌آوری شده که پس از بازرسی در مراکز جمع‌آوری و بازرسی به مراکز انهدام ارسال می‌شوند.	χ
درصد کالای جمع‌آوری شده که پس از بازرسی در مراکز جمع‌آوری و بازرسی به مراکز تولید انرژی ارسال می‌شوند.	δ
درصد کالای جمع‌آوری شده که پس از بازرسی در مراکز جمع‌آوری و بازرسی به بازارهای دسته دوم ارسال می‌شوند.	γ



۲-۳- متغیرهای تصمیم

اگر مرکز تولید و احیا z با فناوری سطح t احداث شود، ۱، در غیر این صورت ۰	J_{jt}
اگر توزیع‌کننده k احداث شود، ۱، در غیر این صورت ۰	K_k
اگر مرکز جمع‌آوری و بازرسی m با فناوری سطح t' احداث شود، ۱، در غیر این صورت ۰	$M_{mt'}$
اگر مرکز مشتریان l به مرکز توزیع k با سود نسبی a تخصیص یابد، ۱، در غیر این صورت ۰	YKL_{lak}
میزان جریان مواد از تأمین‌کننده i به مرکز تولید / احیا z	XIJ_{ij}
میزان جریان مواد از مرکز تولید / احیا z به توزیع‌کننده k	XJK_{jk}
میزان جریان مواد از توزیع‌کننده k به مرکز مشتریان l	XKL_{kl}
میزان جریان محصولات جمع‌آوری‌شده از مرکز مشتریان l به مرکز جمع‌آوری و بازرسی m	XLM_{lm}
میزان جریان محصولات جمع‌آوری‌شده از مرکز جمع‌آوری و بازرسی m به مرکز انهدام n	XMN_{mn}
میزان جریان محصولات جمع‌آوری‌شده از مرکز جمع‌آوری و بازرسی m به مرکز تولید و احیا z	XMJ_{mj}
میزان جریان محصولات جمع‌آوری‌شده از مرکز جمع‌آوری و بازرسی m به مرکز تولید انرژی o	XMO_{mo}
میزان جریان محصولات جمع‌آوری‌شده از مرکز جمع‌آوری و بازرسی m به بازار دست‌دوم واقع در مکان q	XMQ_{mq}

۳-۳- بیان ریاضی مدل

$$Max Z_1 = Income - cost \quad (1)$$

$$Income = \sum_k^K \sum_a^A \sum_l^L YKL_{kal} C(1 + A_{ka}) + \Gamma \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \sum_k^K \sum_a^A \sum_l^L YKL_{kal} d_{kal} + \quad (2)$$

$$\Psi \cdot \alpha \cdot \delta \cdot \sum_k^K \sum_a^A \sum_l^L YKL_{kal} d_{kal} + \Phi \cdot \alpha \cdot \gamma \cdot \sum_k^K \sum_a^A \sum_l^L YKL_{kal} d_{kal} +$$



$$\left[\Psi \cdot \left(\sum_m^M \sum_o^O XMO_{mo} \right) + \Phi \cdot \left(\sum_m^M \sum_q^Q XMQ_{mq} \right) + \Gamma \cdot \left(\sum_m^M \sum_j^J XMJ_{mj} \right) \right]$$

درآمدهای شبکه در ۴ دسته طبقه‌بندی می‌شوند:

۱- درآمد حاصل از فروش محصولات در جریان مستقیم با سود نسبی a که در این قسمت مشتریان که حاضر به خرید از هر مرکز تولید با قیمت ارائه داده شده هستند، تعیین می‌شوند. همچنین طبق توضیحات قبلی برخی مشتریان حاضر به خرید با قیمت ارائه شده نیستند و یا فروش به برخی مشتریان درآمد حاصل شده از فروش را به نسبت هزینه‌های شبکه توجیه نمی‌کند و بنابراین یکی از مفروضات سنتی مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین که برآوردن کلیه تقاضاهای مشتریان بود در اینجا در نظر گرفته نمی‌شود و مسئله به حالت واقعی‌تری نزدیک می‌گردد.

۲- درآمد حاصل از فروش ضایعات پلاستیکی طبقه‌بندی شده به مراکز تولید و احیا جهت استفاده مجدد در چرخه تولید Pet

۳- درآمد حاصل از فروش ضایعات پلاستیکی طبقه‌بندی شده به مراکز تولید انرژی جهت تبدیل به پلاستیک به انواع انرژی‌ها

۴- درآمد حاصل از فروش ضایعات پلاستیکی طبقه‌بندی شده به بازارها دسته دوم هزینه‌های ثابت تأسیس و برقراری فناوری در مکان‌های بالقوه:

$$Cost = \sum_i^T \sum_j^J FJ_{ji} \cdot J_{ji} + \sum_k^K FK_k \cdot K_k + \sum_{i'}^{T'} \sum_m^M FM_{mi'} \cdot K_k \quad (3)$$

هزینه‌های حمل‌ونقل

$$\sum_i^I \sum_j^J TIJ_{ij} \cdot XIJ_{ij} + \sum_j^J \sum_k^K TJK_{jk} \cdot XJK_{jk} + \sum_k^K \sum_l^L TKL_{kl} \cdot XKL_{kl} \quad (4)$$

هزینه تولید محصولات در جریان رفت و بازرسی محصولات بازگشتی در جریان معکوس

$$C \cdot \left(\sum_i^I \sum_j^J XIJ_{ij} \right) + CC \cdot \left(\sum_l^L \sum_m^M XLM_{lm} \right) \quad (5)$$



تابع هدف مسئله در بخش هزینه‌های اقتصادی، مجموعه هزینه‌های شبکه تأمین را کمینه می‌سازد. در این هدف، جملات اول تا سوم، مربوط به هزینه ثابت راه‌اندازی و احداث تسهیلات در مراکز بالقوه می‌باشد. جمله چهارم تا ششم مربوط به هزینه حمل‌ونقل خرید مواد اولیه می‌باشد. جمله هفتم هزینه تولید محصولات در جریان رفت می‌باشد. جمله هشتم هزینه بازرسی محصولات بازگشتی در جریان معکوس است.

جملات نه و ده، به ترتیب مربوط به تخصیص مشتریان به خرده‌فروشان و هزینه جمع‌آوری پسماندها می‌باشد. جملات یازده تا شانزده مربوط به هزینه عملیات و حمل‌ونقل مراکز می‌باشد. در نهایت دو جمله آخر مربوط به منفعت حاصل از محصولات بازیافت شده ارسالی به تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان می‌باشد.

۳-۴- محدودیت‌های مدل

$$\sum_j XIJ_{ij} \leq CapI_i \quad \forall i \quad (1)$$

$$\sum_j XIJ_{ij} + \sum_j XMN_{mj} \leq \quad \forall j \quad (2)$$

$$\sum_t CapJ_{jt} \cdot J_{jt} \quad \forall j \quad (3)$$
$$\sum_k XJK_{jk} \leq \sum_t CapJ_{jt} \cdot J_{jt} \quad \forall k \quad (4)$$

$$\sum_j XJK_{jk} \leq CapK_k \cdot K_k \quad \forall k \quad (4)$$

$$\sum_t XKL_{kt} \leq CapK_k \cdot K_k \quad \forall k \quad (5)$$

$$\sum_a \sum_l d_{kal} YKL_{kal} \leq CapK_k \cdot k_k \quad \forall k \quad (6)$$



$$\sum_n^N XMN_{mn} + \sum_j^J XMN_{mj} + \quad \forall m \quad (7)$$

$$\sum_o^O XMO_{mo} + \sum_q^Q XMQ_{mq} \leq$$

$$\sum_{i'}^{T'} CapM_{mi'} . XM_{mi'}$$

$$\sum_k^K XKL_{kl} = \sum_k^K \sum_a^A d_{kal} YKL_{kal} \quad \forall l \quad (8)$$

$$\sum_i^I XIJ_{ij} + \sum_m^M XMJ_{mj} = \quad \forall j \quad (9)$$

$$\sum_k^K XJK_{jk}$$

$$\sum_j^J XJK_{jk} = \sum_l^L XKL_{kl} \quad \forall k \quad (10)$$

$$\alpha. (\sum_k^K XKL_{kl}) = \sum_m^M XLM_{lm} \quad \forall l \quad (11)$$

$$\sum_i^I XIJ_{ij} + \sum_m^M XMJ_{mj} = \quad \forall j \quad (12)$$

$$\sum_k^K XJK_{jk}$$

$$\beta. \sum_l^L XLM_{lm} = \sum_j^J XMJ_{mj} \quad \forall m \quad (13)$$

$$\chi. \sum_l^L XLM_{lm} = \sum_n^N XMJ_{mn} \quad \forall m \quad (14)$$

$$\delta. \sum_l^L XLM_{lm} = \sum_o^O XMJ_{mo} \quad \forall m \quad (15)$$

$$\gamma. \sum_l^L XLM_{lm} = \sum_q^Q XMJ_{mq} \quad \forall m \quad (16)$$

$$\alpha. (\sum_k^K \sum_a^A d_{kal} YKL_{kal}) = \quad \forall l \quad (17)$$

$$\sum_l^L XLM_{lm}$$



$$\sum_i^T J_{jt} \leq 1 \quad \forall j \quad (18)$$

$$\sum_{i'}^{T'} M_{jt'} \leq 1 \quad \forall m \quad (19)$$

$$FJ_{jt} \in \{0,1\} \quad \forall j,t \quad (20)$$

$$FK_k \in \{0,1\} \quad \forall k \quad (21)$$

$$FM_{mt'} \in \{0,1\} \quad \forall m,t' \quad (22)$$

$$YKL_{lak} \in \{0,1\} \quad \forall l,a,k \quad (23)$$

$$XIJ_{ij} \geq 0 \quad \forall i,j \quad (24)$$

$$XJK_{jk} \geq 0 \quad \forall j,k \quad (25)$$

$$XKL_{kl} \geq 0 \quad \forall k,l \quad (26)$$

$$XLM_{lm} \geq 0 \quad \forall l,m \quad (27)$$

$$XMN_{mn} \geq 0 \quad \forall m,n \quad (28)$$

$$XMJ_{mj} \geq 0 \quad \forall m,j \quad (29)$$

$$XMO_{mo} \geq 0 \quad \forall m,o \quad (30)$$

$$XMQ_{mq} \geq 0 \quad \forall m,q \quad (31)$$

محدودیت‌های ۱ تا ۷ مربوط به ظرفیت تسهیلات مورد استفاده است. محدودیت ۸ مربوط به تأمین کامل تقاضای مشتری است؛ در صورتی که با توجه به قیمت عرضه شده از مرکز توزیع و هزینه‌های شبکه این تخصیص صورت پذیرد. محدودیت ۸ تا ۱۷ مربوط به جریان متعادل در شبکه است. بدین صورت که میزان ورودی به هر گره از شبکه با میزان جریان خروجی آن برابر باشد. چنانچه ملاحظه می‌گردد شکل مدل‌سازی در محدودیت ۱۷ با بقیه محدودیت‌های تعادل متفاوت است. این بدان منظور است که اولاً میزان تقاضای مشتریان وابسته به قیمت و نامعلوم است و دوماً هر مشتری می‌بایست لزوماً به یک مرکز توزیع تخصیص یابد (در صورت تخصیص). محدودیت‌های ۱۸ و ۱۹ نشان می‌دهند که در هر واحد تولید/احیا و جمع‌آوری/بازرسی در صورت تأسیس تسهیلات تنها یک نوع فناوری قابل استفاده است.

مابقی محدودیت‌ها، محدودیت‌های منطقی مدل هستند و شرایط متغیرها از جمله صفر و یک بودن یا نامنفی بودن را روشن می‌سازند.



جهت روشن‌تر شدن نوآوری مقاله و همچنین ایجاد مشخص شدن روند تحقیق حاضر، در جدول (۱) مالکیت محدودیت‌های مدل تشریح گردیده است. در این جدول مشخص شده که هر محدودیت بر اساس کدامیک از مقالات در ادبیات مسئله استفاده شده‌اند.

جدول ۱. مالکیت محدودیت‌های مدل

محدودیت	برگرفته از پیشینه	محدودیت	برگرفته از پیشینه
۱	Li, Chen [17] Tsiakis and Papageorgiou [18]	۱۷	Fattahi [19]
۲	Jayaraman and Pirkul [1]	۱۸	Min and Ko [20]
	Li, Chen [17] Tsiakis and Papageorgiou [18]	۱۹	Min and Ko [20] Aras and Crowther [21]
۴	Jayaraman and Pirkul [1] Syarif, Prugel-Bennett [22]	۲۰	All SCND Problems
۵	Jayaraman and Pirkul [1] Syarif, Prugel-Bennett [22]	۲۱	All SCND Problems
۶	---	۲۲	All SCND Problems
۷	Min and Ko [20] Aras and Crowther [21]	۲۳	---
۸	---	۲۴	All SCND Problems
۹	Jayaraman and Pirkul [1]	۲۵	All SCND Problems
۱۰	Jayaraman and Pirkul [1] Syarif, Prugel-Bennett [22]	۲۶	All SCND Problems
۱۱	Wang and Hsu [23] Devika, Jafarian [24]	۲۷	All SCND Problems
۱۲	Wang and Hsu [23] Devika, Jafarian [24]	۲۸	All SCND Problems
۱۳	Aras and Crowther [21]	۲۹	All SCND Problems
۱۴	---	۳۰	All SCND Problems
۱۵	---	۳۱	All SCND Problems
۱۶	---		

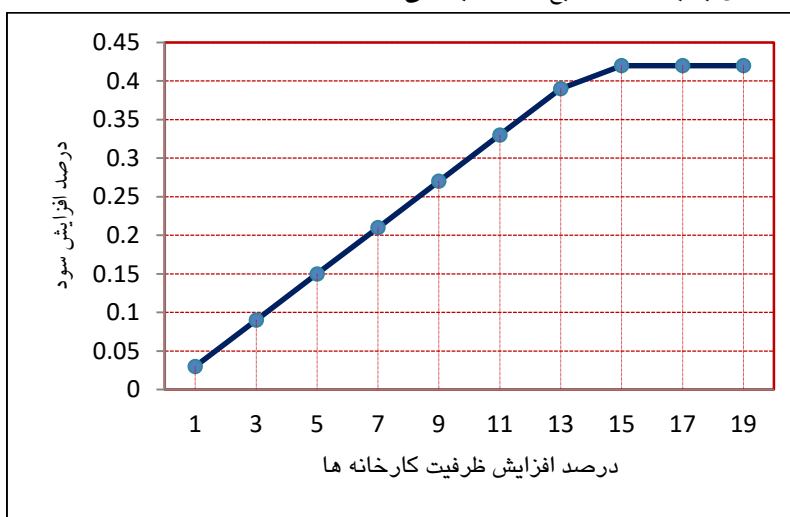
۴- اعتبارسنجی مدل

به منظور تعیین اعتبار مدل، کلیه پارامترهای مدل مورد بررسی قرار گرفته و با حالات بدیهی در واقعیت مقایسه شده‌اند. در ادامه یک نمونه از بررسی‌های صورت گرفته در مورد پارامتر مربوط به ظرفیت تسهیلات مورد بحث قرار گرفته شده است.



به منظور بررسی قابلیت کاربرد مدل ارائه شده، در این بخش تمام پارامترهای ورودی مدل ثابت در نظر گرفته شده و تنها پارامتر ظرفیت تسهیلات تغییر کرده است. از آنجایی که ظرفیت تسهیلات متفاوت است، این تغییرات با اضافه کردن درصدی به مقادیر اولیه تعیین می‌گردد.

ابتدا مدل با تابع هدف اول، بدون محدودیت‌های ۱ تا ۷ که مربوط به ظرفیت تسهیلات است، حل شده و تعداد مکان‌های تأسیس تسهیلات و میزان توابع هدف محاسبه گردید. با افزایش ظرفیت همان‌طور که از شکل (۲) پیداست، میزان تابع هدف در ابتدا افزایش داشته ولی از نقطه‌ای به بعد مقدار تابع هدف ثابت می‌ماند.



شکل ۲. تغییرات در سود شرکت به ازای تغییر در ظرفیت مراکز تولید

در مورد پارامترهای مکان‌یابی، کارخانه‌های شماره (۷) و (۱۰) در هیچ حالتی برای احداث تسهیلات انتخاب نشده‌اند، زیرا هزینه تأسیس در این نقاط به نسبت بقیه نقاط بسیار بالاتر است. البته عوامل دیگری نیز در مکان‌یابی تسهیلات مؤثر هستند. به‌عنوان مثال مناطق ۲ و ۸ شرایط مشابهی از نظر هزینه ثابت تأسیس تسهیلات دارند اما در مقابل منطقه ۸ به دلیل هزینه حمل کمتر و نزدیکی به مناطق توزیع و تأمین‌کنندگان در اولویت انتخاب قرار گرفته است. با توجه به این‌که پارامتر مسافت در میزان سطح تردد وسایل نقلیه نقش خود را ایفا



می‌نماید و به تبع آن افزایش هزینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی خود را دارا می‌باشد، قابل توجه می‌باشد. ولی با توجه به ساختار مدل این تحقیق که فاکتور زمان به‌عنوان یکی از ارکان مدل‌سازی در آن لحاظ نشده است، هزینه‌های ناشی از آن در مقابل هزینه‌های احداث و عملیات تسهیلات قابل چشم‌پوشی است و بنابراین تغییر آن تأثیر واضحی بر مدل ایجاد نمی‌نماید. ولی یکی از فرصت‌های تحقیقاتی آتی در ادامه کار رساله حاضر، اضافه کردن بعد زمان به مدل ریاضی می‌باشد. در این صورت قابل پیش‌بینی است که هزینه‌های بلندمدت ناشی از افزایش مسافت، خروجی مدل را به سمت فواصل نزدیک‌تر سوق خواهد داد.

۵- رویکرد حل

از آنجایی که مدل طراحی شبکه برای زنجیره تأمین حلقه بسته در زمره مسائل مکان‌یابی با ظرفیت محدود تسهیلات به حساب می‌آید و از طرفی در حیطه مسائل کوله‌پشتی چند انتخابی^۵ قرار می‌گیرد، به‌عنوان یک مسئله ان‌پی سخت مورد بررسی قرار می‌گیرد [۲۵]. در این قسمت با استفاده از داده‌های تولید شده در [۲۶] و [۴] به تولید ده مسئله آزمایشی پرداخته شده است. با توجه به اندازه‌های موجود در ادبیات، برای نشان دادن اعتبار سنجی مدل در هر مسئله آزمایشی ۳ مسئله نمونه به صورت تصادفی تولید شده است.

۱-۵- الگوریتم مبتنی بر آموزش و یادگیری

چنانچه پیش‌تر ذکر شد، برای مواجهه با مدل توسعه داده شده در بخش قبل در ابعاد بزرگ از الگوریتم فراابتکاری مبتنی بر یادگیری و آموزش برای اولین بار در حوزه طراحی شبکه بهره‌جسته‌ایم. بهینه‌سازی مبتنی بر یادگیری و تدریس یک الگوریتم فراابتکاری است که تاکنون در کاربردهای مختلف ارائه داده است. این الگوریتم در مسائل مختلفی مثل گردش شغلی [۲۷] بالانس خط تولید [۲۸]، تنظیم بهینه پارامترها [۲۹، ۳۰]، سیستم‌های قدرت [۳۱]. الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر آموزش و یادگیری الگوریتمی برگرفته از فرایند آموزش و یادگیری است که بر مبنای تأثیر آموزگار بر بازده دانش‌آموزان در یک کلاس بنا نهاده شده است و طی دو مرحله فرایند بهینه‌سازی را انجام می‌دهد. کران‌های بالا و پایین متغیرها، تعداد تولید و تابع برازندگی ورودی این الگوریتم محسوب می‌شود. ابتدا اعضای کلاس با توجه به حدود کران متغیرها تولید می‌شوند. بهترین پاسخ با توجه به تابع برازندگی به‌عنوان استاد انتخاب می‌شود. در مرحله اول که فاز آموزش نامیده می‌شود، استاد سعی می‌کند با تأثیر بر



سطح دانش اعضای کلاس میانگین آن را بالا برد تا سطح خود را افزایش دهد. الگوریتم بهینه‌سازی یادگیری و آموزش الگوریتمی است که برای فضای پیوسته توسعه داده شده است؛ اما روش نمایش اولویت محور که مورد توجه این مقاله است یک نمایش گسسته محسوب می‌شود؛ بنابراین برای تطبیق این الگوریتم با مسئله طراحی شبکه می‌بایست تطبیقانی در الگوریتم صورت پذیرد که نمایش گسسته الگوریتم به حالت پیوسته و بالعکس در گام‌های مختلف الگوریتم صورت پذیرد.

یکی دیگر از نوآوری‌های این مقاله تبدیل نمایش گسسته جواب‌ها به نمایش پیوسته آن‌ها است. این تبدیل چند ویژگی مثبت به روش اولویت محور در ادبیات اضافه می‌کند:

۱. امکان اجرای عملگرهای بیشتری بر روی کروموزوم‌ها ایجاد می‌شود. این در حالی است که در روش سنتی عملگرهای مختلفی از جمله روش معروف کراس آور دونقطه‌ای امکان پیاده‌سازی بدون عملیات ترمیم را ندارد.

۲. امکان بهره‌برداری از الگوریتم‌های فراابتکاری که تنها در حالت پیوسته گسترش داده می‌شوند، برقرار می‌شود. (مانند الگوریتم TLBO)

در شکل (۳) یک کروموزوم به‌عنوان نمونه برای مسئله‌ای مطابق با مشخصات خود آورده شده است. در این شکل نحوه تبدیل یک نمایش جواب گسسته به حالت پیوسته نمایش داده شده است. در شکل ۴ دو فرایند تبدیل نمایش جواب گسسته به پیوسته نشان داده شده است. این فرایند در سطر دوم ماتریس جواب و تنها برای بخشی از نمایش جواب که مربوط به جریان بین تأمین‌کنندگان و کارخانه‌ها است نشان داده شده است. بدیهی است در بخش‌های دیگر نمایش جواب نیز این فرایند تکرارپذیر است و لذا از نمایش باقی قسمت‌ها جهت تلخیص مطالب خودداری شده است.

۶- تحلیل نتایج

هر یک از الگوریتم‌ها روی ده نمونه مسئله با اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ بار اجرا شد و پس از هر اجرا، نتایج به دست آمده مربوط به بهترین مقدار تابع هدف (کمترین هزینه) و اولین زمان رسیدن به بهترین مقدار تابع هدف ثبت گردید. برای این منظور، هر یک از الگوریتم‌ها با استفاده از نرم‌افزار MATLAB7.11.0(R2014b) کدگذاری شدند. پس از اجرای الگوریتم‌های فرا ابتکاری بر روی مسائل در نظر گرفته شده، برای انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری دقیق، از روش آنالیز واریانس یک‌طرفه با استفاده از نرم‌افزار MINITAB16 بهره گرفته شد. نتایج به دست آمده از اجرای سه الگوریتم فرا ابتکاری یادگیری/آموزش (TLBO)، فرایند



گروهی TP λ و الگوریتم ژنتیک (GA)، بر روی ۱۰ مسئله نمونه در اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ، در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج به‌دست‌آمده از اجرای الگوریتم‌ها، از دونقطه نظر بهترین مقدار تابع هدف، به‌عنوان معیار اثربخشی و اولین زمان رسیدن به بهترین مقدار تابع هدف، به‌عنوان معیار کارایی تجزیه و تحلیل می‌شوند.

در این مقاله برای ارزیابی الگوریتم‌های فرا ابتکاری مختلف در ۳ دسته مسائل کوچک، متوسط و بزرگ، از معیار درصد انحراف نسبی RPD استفاده می‌شود. نحوه محاسبه آن در رابطه شماره (۳۴) آورده شده است، در این رابطه Alg_{sol} نشان‌دهنده جواب به‌دست‌آمده توسط الگوریتم‌های توسعه داده‌شده و Min_{sol} و Max_{sol} به ترتیب کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین مقدار موردنظر از هر اجرای الگوریتم‌ها در هر ۱۰ نمونه از مسائل در نظر گرفته شده می‌باشد. مقدار RPD نشان می‌دهد که جواب‌ها در هر الگوریتم تا چه اندازه از بهترین جواب به‌دست‌آمده فاصله دارند. هرچقدر این فاصله بیشتر باشد به این معنی است که الگوریتم‌ها جواب‌های بدتری ارائه می‌کنند و متقابلاً هرچقدر این فاصله کمتر باشد نشان می‌دهد که الگوریتم‌ها جواب‌های بهتری تولید می‌کنند و الگوریتم‌های مناسب‌تری هستند.

$$RPD = \frac{Alg_{sol} - Min_{sol}}{Max_{sol} - Min_{sol}} \times 100 \quad (34)$$

۱-۶- تحلیل نتایج بهترین مقدار تابع هدف

همان‌طور که در تعریف مسئله بیان شد، در این تحقیق هدف بیشینه کردن درآمدها در نظر گرفته شده است. در نتیجه فرضیه اول در مورد برابری میانگین بهترین مقدار تابع هدف توسط سه الگوریتم توسعه داده شده در سه اندازه کوچک، متوسط و بزرگ، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \mu_{TPA}(\text{Profit}) = \mu_{TLBO}(\text{Profit}) = \mu_{GA}(\text{Profit}) \\ H_1: \text{یکی از الگوریتم میانگین‌ها متفاوتی دارد} \end{array} \right.$$

در فرضیه اول، H_0 بیان می‌کند که میانگین به دست آمده از الگوریتم‌های توسعه داده شده تفاوت معناداری با یکدیگر ندارند، ولی H_1 بیان می‌کند که حداقل یکی از الگوریتم‌ها میانگین متفاوتی با بقیه الگوریتم‌ها دارد. برای آزمودن این فرضیه از آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده شده است و نتایج حاصل از آن در شکل (۴) نشان داده شده است.



	Supplier		Plant		
گره	۱	۲	۱	۲	۳
اولویت	۲	۴	۱	۵	۳
ظرفیت	۱	۳	۰	۱	۲

→

	Supplier		Plant		
گره	۱	۲	۱	۲	۳
اولویت	۲,۵۸	۴,۲۸	۱,۲۶	۵,۹۸	۳,۱۱
ظرفیت	۱	۳	۰	۱	۲

شکل ۳. تبدیل نمایش جواب پیوسته به گسسته

جدول ۲: مقایسه میانگین نتایج به دست آمده از اجرای الگوریتم‌ها از نظر بهترین مقدار تابع هدف و زمان

مسئله	TPA		GA		TLBO	
	جواب	زمان (ثانیه)	جواب	زمان (ثانیه)	جواب	زمان (ثانیه)
۱	۲۹۶۰۵۸۴	۲۰	۲۹۶۰۵۸۴	۶	۲۹۶۰۵۸۴	۶
۲	۴۶۴۵۱۴۵	۳۲۵	۴۵۵۲۱۴۵	۲۱۸	۴۴۴۱۵۶۵	۲۵۵
۳	۵۹۸۷۵۴۴	۵۶۵	۵۸۴۵۴۶۴	۵۳۸	۶۰۲۵۸۴۶	۱۶۴
۴	۸۵۲۱۲۵۴	۸۵۴	۸۱۲۵۴۵۵	۷۸۹	۸۵۳۲۱۵۶	۴۱۵
۵	۱۷۵۱۴۵۴۵	۱۲۵۸	۱۷۲۴۵۶۴۴	۱۶۵۸	۱۷۵۸۵۶۴۲	۵۰۱
۶	۲۹۵۴۱۵۴۵	۲۵۴۱	۲۷۴۵۴۸۶۴	۲۳۵۶	۲۹۵۶۶۴۸۴	۳۹۵
۷	۴۱۵۴۱۵۵۴	۴۵۲۱	۳۷۵۴۵۴۴۵	۴۲۵۸	۳۹۵۶۴۸۴۵	۸۶۵
۸	۵۵۲۲۱۱۴۸	۴۵۸۶	۵۲۴۵۴۴۵۴	۶۳۵۴	۵۴۷۵۶۴۵۴	۲۵۸
۹	۷۰۵۴۱۴۵۴	۶۶۲۵	۶۶۵۴۴۵۵۵	۸۵۰۵	۷۰۵۴۶۵۸۵	۱۰۲۵
۱۰	۸۰۴۵۱۴۵۴	۸۵۴۱	۷۶۴۴۵۵۴۵	۹۸۵۲	۸۳۵۵۶۴۲۱	۴۷۸۹

One-way ANOVA

Source DF SS MS F P
 Factor 2 26039 13019 18.17 0.000
 Error 297 212846 717
 Total 299 238885
 S = 26.77 R-Sq = 10.90% R-Sq(adj) = 10.30

شکل ۴: خروجی به دست آمده از آنالیز واریانس برای بهترین مقدار تابع هدف

با توجه به شکل (۴)، میزان p-value به دست آمده از نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه برابر صفر می‌باشد. عدد صفر بیان‌کننده میزان تأییدیه‌ای است که فرضیه H_0 از نمونه دریافت



می‌کند. در این تحقیق p-value بیان می‌کند که فرضیه H_0 هیچ تأییدیه‌ای از نمونه دریافت نکرده است، در نتیجه فرضیه H_0 رد می‌شود. همان‌گونه که مشخص است، در سطح اطمینان ۹۵٪، فرض H_0 رد و فرض H_1 تأیید شده است. به این معنی که میان الگوریتم‌ها تفاوت معناداری از نظر بهترین مقدار تابع هدف وجود دارد. حال که مشخص شد میان الگوریتم‌ها تفاوت معناداری وجود دارد، می‌بایست الگوریتم‌ها در مقایسه با هم ارزیابی شده و مشخص شود که میان کدام الگوریتم‌ها این تفاوت معنادار وجود دارد و به چه میزان است. در نتیجه برای تحلیل بیشتر و یافتن اختلاف معناداری الگوریتم‌ها از آزمون توکی استفاده شده است. آزمون توکی با گروه‌بندی الگوریتم‌ها به صورت دودویی، الگوریتم‌ها را از نظر تفاوت معناداری و میزان آن با یکدیگر مقایسه می‌کند. همان‌طور که از نتایج به دست آمده مشخص می‌شود، آزمون توکی در دو مرحله، عملکرد سه الگوریتم توسعه داده شده را با یکدیگر مقایسه می‌کند. به این ترتیب که ابتدا TLBO را با دو الگوریتم TPA و GA، در مرحله بعد GA را با الگوریتم TPA مقایسه و ارزیابی می‌کند.

خروجی به دست آمده از آزمون توکی برای بهترین مقدار تابع هدف: با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که الگوریتم GA با دیگر الگوریتم‌ها اختلاف معناداری دارد، اما الگوریتم TPA و TLBO با یکدیگر اختلاف معناداری ندارند. در نتیجه می‌توان گفت که از لحاظ آماری و در سطح اطمینان ۹۵٪، عملکرد الگوریتم‌ها از نقطه نظر اثربخشی به ترتیب از بهترین تا بدترین، به صورت (۱) TLBO، (۲) TPA و (۳) GA می‌باشند. به همین ترتیب در ادامه نتایج حاصل از الگوریتم‌ها از لحاظ زمان به دست آوردن بهترین جواب مورد بررسی قرار گرفت که در آن الگوریتم TLBO نتایج بهتری نسبت به الگوریتم TPA و GA داشت و در نتیجه الگوریتم سریع‌تری در مورد این مسئله می‌باشد.

۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

در این مقاله سه ویژگی مهم از زنجیره محصول مورد بررسی در نظر گرفته شده است که این ویژگی‌ها تنها در مورد محصولات قابل‌تعمیم است که کاهش مصرف آن‌ها (کاهش تقاضا) با توجه به مباحث زیست‌محیطی در درازمدت سودآور است (مانند آب، دخانیات و سایر محصولات پلاستیکی):

- در صورت کاهش دادن هزینه‌های شبکه، اعم از هزینه‌های تولید، هزینه‌های حمل و ...



فروش و در نتیجه ارضای درصد بیشتری از نیازهای مشتریان حاصل می‌شود و بالعکس.

- قیمت عرضه شده در مراکز توزیع باعث تغییر میزان تقاضای ارضا شده در بازه زمانی موردبررسی است.

- تقاضا در قیمت‌های از پیش تعیین شده به صورت قطعی در نظر گرفته شده است. با توجه به سه مورد فوق، در مدل ارائه‌شده بر خلاف مدل‌های دیگر طراحی شبکه زنجیره تأمین لزومی به تأمین همه تقاضاهای مشتریان نیست. بلکه فقط تقاضای مشتریانی تأمین می‌گردد که حاضر به خرید با قیمت ارائه شده از سوی تأمین‌کنندگان باشند. این فرض از آنجایی اهمیت پیدا می‌کند که مصرف بیش‌تر پلاستیک لزوماً باعث سودآوری اقتصادی و زیست‌محیطی نمی‌شود. به عبارت دیگر تقاضای مشتریانی تأمین می‌شود که حاضر باشند هزینه‌های زیست‌محیطی حاصل از مصرف بطری‌های پت در جامعه را پرداخت کنند. از ویژگی‌های دیگر زنجیره تأمین پت این است که فناوری‌های متفاوتی در مراکز تولید و جمع‌آوری/بازرسی قابل انتخاب هستند که از لحاظ ظرفیت و قیمت خرید شرایط متفاوتی دارند. هر یک از این فناوری‌ها دارای ویژگی‌های متفاوتی هستند که موجب می‌شود نتوان یک فناوری را در همه شرایط و اوضاع به عنوان فناوری برتر معرفی نمود. به‌طور کلی مهم‌ترین تصمیمات اتخاذ شده در مدل شبکه توزیع حلقه‌بسته پت را می‌توان شامل تصمیمات ذیل دانست:

- در کدام یک از سایت‌های بالقوه برای استقرار تسهیلات تسهیل استقرار یابد تا هزینه کل کمینه گردد (مراکز توزیع، مراکز جمع‌آوری/بازرسی و مراکز تولید/احیا، مراکز مربوط به بازار انرژی، بازارهای مواد دست دوم، مراکز اسقاط)
 - جریان مواد در مسیر مستقیم و بازگشتی به چه صورتی باشد تا درآمد کل بیشینه گردد.
 - کدام فناوری در کدام کارخانه و مرکز جمع‌آوری استقرار یابد تا از لحاظ ظرفیت و هزینه کل و تأثیرات منفی زیست‌محیطی در نقطه بهینه قرار گیریم.
 - تقاضای کدام مشتریان در اثر برآورده شدن سود شبکه را بیشینه می‌کند.
 - مقدار تولید محصول نهایی در هر کارخانه به چه میزان باشد.
- لازم به ذکر است که تمام تصمیمات فوق پس از اعمال هزینه بر شبکه (مالیات بر مصرف پت) قابل بررسی است.
- در مورد حل مدل در ابعاد بزرگ از الگوریتم TLBO استفاده شد. از آنجایی که این



الگوریتم به صورت پیش فرض برای مسائل با نمایش جواب پیوسته توسعه داده شده است، تطبیقاتی در برخی از گام‌های الگوریتم جهت تبدیل نسخه اصلی الگوریتم به نسخه گسسته آن صورت پذیرفت. در نهایت نتایج تحلیل‌های صورت گرفته نشان داد که از نظر کیفیت جواب‌ها این الگوریتم نسبت به الگوریتم‌های TPA و GA عملکرد بهتری دارد. با توجه به مطالب ذکر شده، برخی از مواردی که در تحقیقات آتی می‌توانند مورد توجه قرار گیرند، به شرح ذیل می‌باشند

۱-۷- پیشنهادات جهت بهبود مدل

- در نظر گرفتن میزان ارسال کالاهای مختلف در یک بسته واحد (خانواده محصولات)
- در نظر گرفتن ظرفیت‌ها و چگالی‌های بطری‌های پت و تقاضای متفاوت مشتریان
- استفاده از پارامترهای غیرقطعی در مورد مواردی چون نرخ‌های بازگشت کالا
- برای ارزیابی هزینه‌های حمل و نقل بین تسهیلات زنجیره تأمین، می‌توان از شبیه‌سازی گسسته-پیشامد استفاده کرد.
- برای دقت بالاتر در اعتبارسنجی مدل، می‌توان تمام توابع هدف و محدودیت‌های مدل مانند محدودیت‌های ظرفیت و محدودیت‌های تعادل را در نرم‌افزار Optquest مورد تجزیه و تحلیل قرار داد.

۲-۷- پیشنهادات در زمینه کاربرد روش حل

- استفاده از روش TLBO گسسته ارائه شده در دیگر مسائل طراحی شبکه زنجیره تأمین و همچنین مسائل دیگری از قبیل مسیریابی و زمان‌بندی و ...
- استفاده از روش تبدیل نمایش جواب‌های پیوسته به گسسته در الگوریتم‌های فراابتکاری دیگر با نمایش پیوسته.

۸- پی‌نوشت‌ها

۱. Polyethylene terephthalate
۲. Supply chain network design
۳. Genetic Algorithm
۴. Spanning Tree
۵. multiple-choice Knapsack problems
۶. NP-hard problem
۷. Team process algorithm
۸. Oneway-ANOVA
۹. Tukey Test



۹- منابع

- [1] Jayaraman, V. and H. Pirkul, *Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities*. European journal of operational research, 2001. 133(2): p. 394-408.
- [2] Üster, H., et al., *Benders decomposition with alternative multiple cuts for a multi-product closed-loop supply chain network design model*. Naval Research Logistics (NRL), 2007. 54(8): p. 890-907.
- [3] Lee, D.-H. and M. Dong, *Dynamic network design for reverse logistics operations under uncertainty*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2009. 45(1): p. 61-71.
- [4] Yadegari, E., M. Zandieh, and H. Najmi, *A hybrid spanning tree-based genetic/simulated annealing algorithm for a closed-loop logistics network design problem*. International Journal of Applied Decision Sciences, 2015. ۸(۴): p. ۴۰۰-۴۲۶.
- [5] Kazemi, A. and F. Sarvandi, *Mathematical Modeling of Resource-Constrained Project Scheduling Problem and Solving It by Using Metaheuristic Algorithms*. Modern Research in Decision Making, 2019. ۳(۴): p. 28-50.
- [6] Govindan, K., H. Soleimani, and D. Kannan, *Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future*. European Journal of Operational Research, 2015. 240(3): p. 603-626.
- [7] Govindan, K., M. Fattahi, and E. Keyvanshokoo, *Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions*. European Journal of Operational Research, 2017.
- [8] Ahmadi, E., M.H. Maleki, and M.R. Fathi, *Presenting a model for future study of supply chain in oil industry with soft approach*. Management Research in Iran, 2020. 24(1): p. 59-79.
- [9] Karimi, T., *Service Supply Chain Risk Assessment Applying Rough Set Theory Approach: Case of Payment Service Providers*. Management Research in Iran, ۲۰۱۱(۱): p. 69-94.
- [10] Teng, J.-T., et al., *An optimal replenishment policy for deteriorating items with time-varying demand and partial backlogging*. Operations Research Letters, ۲۰۰۲. ۳۰(۶): p. ۳۸۷-۳۹۳.
- [11] Wee, H.-M. and S.-T. Law, *Economic production lot size for deteriorating items taking account of the time-value of money*. Computers & Operations



- Research, 1999. 26(6): p. 545-558.
- [12] Valliathal, M. and R. Uthayakumar, *An EOQ model for rebate value and selling-price-dependent demand rate with shortages*. International Journal of Mathematics in Operational Research, 2011. 3(1): p. 99-123.
- [13] Maihami, R. and I. Nakhai Kamalabadi, *Joint pricing and inventory control for non-instantaneous deteriorating items with partial backlogging and time and price dependent demand*. International Journal of Production Economics, 2012. 136(1): p. 116-122.
- [14] Hill, R.M., *Inventory models for increasing demand followed by level demand*. Journal of the Operational Research Society, 1995: p. 1250-1259.
- [15] Skouri, K., et al., *Inventory models with ramp type demand rate, partial backlogging and Weibull deterioration rate*. European Journal of Operational Research, 2009. 192(1): p. 79-92.
- [16] Tua, C., et al., *Life cycle assessment of reusable plastic crates (RPCs)*. Resources: (2)8. 2019, p. 110.
- [17] Li, J., J. Chen, and S. Wang, *Introduction*, in *Risk Management of Supply and Cash Flows in Supply Chains*. 2011, Springer. p. 1-48.
- [18] Tsiakis, P. and L.G. Papageorgiou, *Optimal production allocation and distribution supply chain networks*. International Journal of Production Economics, 2008. 111(2): p. 468-483.
- [19] Fattahi, M., M. Mahootchi, and S.M. Hussein, *Integrated strategic and tactical supply chain planning with price-sensitive demands*. Annals of operations research, 2016: (2)242. p. 423-456.
- [20] Min, H. and H.-J. Ko, *The dynamic design of a reverse logistics network from the perspective of third-party logistics service providers*. International Journal of Production Economics, 2008. 113(1): p. 176-192.
- [21] Aras, G. and D. Crowther, *Governance and sustainability: An investigation into the relationship between corporate governance and corporate sustainability*. Management Decision, 2008. 46(3): p. 433-448.
- [22] Syarif, I., A. Prugel-Bennett, and G. Wills. *Unsupervised clustering approach for network anomaly detection*. in *International Conference on Networked Digital Technologies*. 2012. Springer.
- [23] Wang, H.-F. and H.-W. Hsu, *A closed-loop logistic model with a spanning-tree based genetic algorithm*. Computers & operations research, 2010. 37(2): p. 376-389.



- [24] Devika, K., A. Jafarian, and V. Nourbakhsh, *Designing a sustainable closed-loop supply chain network based on triple bottom line approach: A comparison of metaheuristics hybridization techniques*. European Journal of Operational Research, 2014. 235(3): p. 594-615.
- [25] Coit, D.W., *Genetic Algorithms and Engineering Design*. THE ENGINEERING ECONOMIST, 1998. 43(4): p. 379-381.
- [26] Pishvae, M.S., R.Z. Farahani, and W. Dullaert, *A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design*. Computers & Operations Research, 2010. 37(6): p. 1100-1112.
- [27] ayough, a., *Intra- and inter-Serus job rotation scheduling through Teaching and Learning Based Optimization approach*. Modern Research in Decision Making, 2019. 3(4): p. 153-175.
- [28] Tang, Q., et al., *Balancing stochastic two-sided assembly line with multiple constraints using hybrid teaching-learning-based optimization algorithm*. Computers & Operations Research, 2017. 82: p. 102-113.
- [29] Yu, K., et al., *Parameters identification of photovoltaic models using self-adaptive teaching-learning-based optimization*. Energy Conversion and Management, 2017. 145: p. 233-246.
- [30] Chen, X., et al., *Parameters identification of solar cell models using generalized oppositional teaching learning based optimization*. Energy, 2016. 99: p. ۱۷۰-۱۸۰.
- [31] Sahu, B.K., et al., *A novel hybrid LUS-TLBO optimized fuzzy-PID controller for load frequency control of multi-source power system*. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2016. 74: p. 58-69.