Archive of SID

دسترسی در سایتِ http://jnrm.srbiau.ac.ir
سال چهارم، شماره چهاردهم، تابستان ۱۳۹۷
شماره شاپا: ۲۵۸۸-۵۸۸X

پژوهش‌های نوین در ریاضی

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

توسعه یک مدل برنامه‌ریزی درجه دوم آمیخته با اعداد صحیح برای طراحی شبکه لجستیک حلقه بسته پویا

احسان یادگاری[۱*]، اکبر عالم‌تبریز[۲]، مصطفی زندیه[۳]، بهروزدری[۴]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسئول).
[۲] استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
[۳] دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
[۴] دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۲/۱۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۰۴/۱۳

چکیده

طراحی شبکه لجستیک شامل تصمیماتی می‌شود که به پیکربندی شبکه زنجیره تامین اشاره دارد که اثرات دیرپایی بر روی سایر تصمیمات تاکتیکی و عملیاتی زنجیره دارد. در سال‌های اخیر با توجه به مسائل زیست محیطی و آگاهی مشتریان طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته مورد توجه قرار گرفته است. شبکه لجستیک مورد بررسی شامل تامین‌کنندگان، کارخانه‌ها، مراکز توزیع، مراکز مشتریان، مراکز جمع‌آوری و مراکز انهدام است. از این‌رو مقاله حاضر به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی درجه دوم آمیخته با اعداد صحیح برای طراحی شبکه لجستیک حلقه بسته چند محصولی و چند دوره‌ای می‌پردازد که در آن به تعیین نقاط مناسب جهت تاسیس تسهیلات و میزان جریان بهینه در لایه‌های مختلف شبکه می‌پردازد و در ادامه با معرفی متغیرهای جدید مدل مورد بررسی به نسخه خطی تبدیل می‌شود. از ویژگی‌های شبکه ارائه شده می‌توان به پویایی شبکه ارائه شده اشاره نمود که منظور از آن امکان باز یا بسته بودن هریک از تسهیلات در هر دوره می‌باشد. پس از مدل‌سازی مسئله، عملکرد و اعتبار مدل با استفاده از مثال‌های عددی مورد بررسی مورد قرار گرفته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: لجستیک، برنامه‌ریزی درجه دوم آمیخته با اعداد صحیح، شبکه زنجیره تامین حلقه بسته پویا.

۱، عهده‌دار مکاتبات: Email: ehsanyadegari@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

تصمیماتی که در یک زنجیره تامین اتخاذ می‌گردد در سه سطح اصلی راهبردی (بلندمدت) تاکتیکی (میان مدت) و عملیاتی (کوتاه مدت) قابل بررسی می‌باشد. در فاز طراحی زنجیره تامین، تصمیمات راهبردی مانند مکان‌یابی تسهیلات و انتخاب تکنولوژی به دلیل تأثیر طولانی مدت بر زنجیره، نقش اصلی را ایفا می‌کنند. همگام با بالا رفتن آگاهی‌ها نسبت به محصولات دوستدار محیط زیست، نیاز به اجرای موثر لجستیک معکوس، هدایت و اداره مواد خطرزا افزایش یافته است. از دیدگاه اقتصادی شرکت‌ها می‌توانند از سود خالص از احیا و بازیافت محصولات به طور مستقیم استفاده نمایند در قوانینی که در اتحادیه اروپا به تصویب رسیده توجه رو به رشدی به طراحی شبکه لجستیک معکوس شده است. مقاله حاضر به طراحی یک شبکه لجستیک حلقه بسته می‌پردازد. این شبکه یکپارچه به صورت چند محصولی، چند رده ای، چند دوره‌ای ارائه گردیده است.

۲- مرور مقالات

بیشتر ادبیات موجود در زمینه طراحی شبکه‌های لجستیک 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. یکی از عوامل مهم در طراحی شبکه لجستیک معکوس عدم قطعیت در تقاضا و همچنین نوع و کیفیت محصولات برگشتی است. لیستس و دکر[۲] با در نظر گرفتن این موضوع در یک شبکه بازیافت سنگ به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح پرداختند. آراس و همکاران[۳] به ارائه یک مدل غیرخطی برای تعیین محل مراکز جمع‌آوری محصولات مصرف شده در یک شبکه ساده لجستیک معکوس پرداخته‌اند. آستر و همکاران[۴] یک شبکه نیمه یکپارچه که در آن شبکه لجستیک مستقیم موجود فرض شده و تنها مراکز جمع‌آوری و احیا در لجستیک معکوس مکان‌یابی می‌شوند را طراحی کردند افلیسچمن[۵] نشان داد که طراحی شبکه لجستیک به طور یکپارچه و همزمان در مقایسه با رویکرد سنتی می‌تواند موجب صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه‌ها گردد. سالما و همکاران[۶] سعی بر آن داشته تا با رفع ضعف‌های موجود در مقاله فلیسچمن[۵] مدلی عام‌تر به کمک برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته ارائه می‌دهد. یکی دیگر از مقالاتی که به خوبی به طراحی شبکه لجستیک حلقه بسته پرداخته، مقاله لی و دانگ[۷] است. در این مقاله از یک نوع تسهیل ترکیبی که هم نقش مراکز توزیع در جریان مستقیم و هم نقش مراکز جمع‌آوری در جریان معکوس را بر عهده دارد که برای طراحی شبکه لجستیک محصولات رایانه‌ای استفاده شده است. همچنین جیانگ و همکاران[۸] یک طرح پویا برای شبکه لجستیک معکوس که حل آن مبتنی بر الگوریتم ژنتیک می‌باشد ارائه دادند. یادگاری و همکاران[۹] یک شبکه لجستیک حلقه – بسته را توسعه دادند و الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید بر مبنای درخت گستره را برای حل مدل ارائه دادند. پیشوایی و همکاران[۱۰] یک مدل طراحی شبکه زنجیره تامین رو به جلو/ برگشتی سلسله مراتبی ارائه دادند که در آن هزینه‌ها و پاسخ‌گویی شبکه لجستیک به عنوان اهداف در نظر گرفته شده است. وانگ و همکاران[۱۱] یک مدل برای طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ارائه دادند و سپس با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی مکان و ظرفیت بهینه هریک از تسهیلات و همچنین جریان بهینه هریک از تسهیلات در شبکه را بدست آوردند و در نهایت حسنی و همکاران[۱۲] یک مدل برای طراحی شبکه زنجیره حلقه بسته تحت شرایط عدم‌قطعیت و بر پایه رویکرد بهینه‌سازی استوار برای کالای فاسد شدنی ارائه دادند. مدل ارائه شده برای طراحی شبکه لجستیک حلقه بسته چند رده‌ای، چند دوره‌ای و چند محصولی می‌باشد که نتیجه محاسباتی بدست آمده کارایی مدل ارائه شده در زمینه تولید چابک به اثبات می‌رساند.

با مرور ادبیات اشاره شده در زمینه مسائل طراحی شبکه لجستیک حلقه بسته، مشخص می‌شود که ارتباط موثر بین طراحی لجستیک رو به جلو و لجستیک بازگشتی کمتر مورد توجه محققان بوده است. در نتیجه در این مقاله سعی بر آن است که این ارتباط با در نظر گرفتن دوره‌های متعدد

www.SID.ir

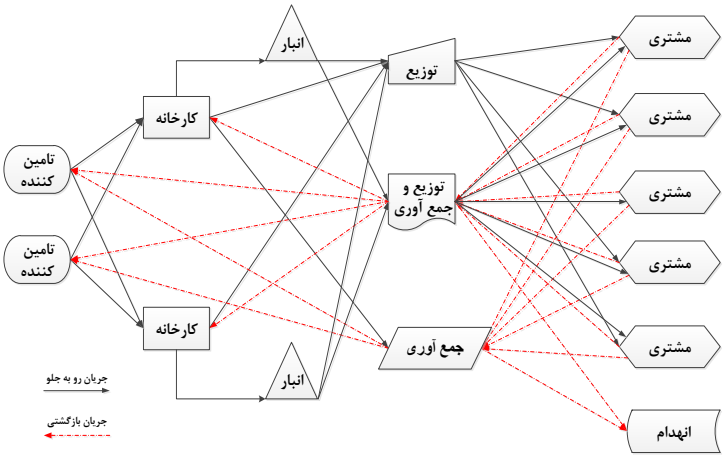
Archive of SID

تصمیم‌گیری و مسائل موجودی که در تصمیمات استراتژیک لجستیکی نقش به سزایی دارند، رابطه شبکه رو جلو و شبکه برگشتی به صورت موثرتری مورد بررسی قرار گیرد. علاوه بر آن سعی شده است، برای کاهش هزینه‌های شبکه لجستیک یکپارچه از تسهیلات ترکیبی در مراکز توزیع استفاده شود و میزان کاهش هزینه‌ها ناشی از این تصمیم در ادامه مورد بررسی قرار گیرد.

در ادامه به تشریح مدل چند دوره‌ای غیرخطی ارائه شده و طریقه خطی کردن آن در بخش "تشریح مسأله و بیان مدل دریافتی" می‌پردازیم. سپس به منظور آزمون کارایی و دقت مدل به حل دقیق آن با روش شاخه و برش توسط نرم‌افزار CPLEX در بخش "رویکرد حل" پرداخته شده است و نتایج عددی حاصل از آن مورد بررسی قرار گرفته است. در انتها در بخش "نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی" تحلیلی بر نتایج حاصل از تحقیق و مسیر پیشنهادی برای تحقیقات آتی مورد توجه قرار گرفته است.

۳ – تشریح مسأله و بیان مدل دریافتی

شبکه لجستیک حلقه بسته ارائه شده یک شبکه چند کالایی و چند رده‌ای می‌باشد. (شکل ۱).



شکل ۱ – شبکه لجستیک حلقه بسته

در این شبکه تصمیماتی از قبیل ایجاد یا بستن تسهیلات برای هر یک از مراکز تولید / احیا، مراکز توزیع، جمع‌آوری و بازرسی و مراکز انهدام گرفته می‌شود. علاوه بر این به تصمیماتی از قبیل انتخاب تأمین‌کنندگان و میزان تأمین مواد اولیه از هر یک، مقدار تولید، میزان موجودی در هر یک از انبارهای مراکز تولید / احیا و مراکز توزیع و همچنین میزان جریان در شبکه پرداخته می‌شود.

قبل از تشریح مدل زنجیره تامین حلقه بسته مجموعه‌ها و متغیرهای تصمیم مساله به صورت زیر معرفی می‌شوند.

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه‌ها و پارامترها:

V	مجموعه مکان‌های ثابت تامین‌کنندگان
I	مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز تولید و احیا
J	مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز توزیع
K	مجموعه مکان‌های ثابت مشتریان
L	مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز جمع‌آوری و بازرسی
M	مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز انهدام
E	مجموعه مکان‌های بالقوه ترکیبی جمع‌آوری و بازرسی و مراکز توزیع
N	مجموعه سطوح ظرفیت موجود برای تسهیلات
P	مجموعه محصولات تولیدی
R	مجموعه مواد اولیه
T	مجموعه دوره‌های زمانی
DM_{kpt}	تقاضای مشتری k برای محصول p در دوره زمانی t.
PR_{kpt}	قیمت واحد فروش محصول p به مشتری k در دوره زمانی t.
SC_{vrt}	هزینه واحد تأمین مواد اولیه r از تامین کننده v در دوره زمانی t.
PC_{pit}	هزینه واحد تولید محصول p در مرکز تولید i در دوره زمانی t.
IC_{lt}	هزینه واحد تست و بازرسی در مرکز جمع‌آوری و بازرسی l در دوره زمانی t.
RSC_{pt}	هزینه واحد بازیابی محصول p در دوره زمانی t
RMC_{pit}	هزینه واحد دوباره تولید محصول p در مرکز تولید i در دوره زمانی t.
DC_{pt}	هزینه واحد اسقاط محصول p در دوره زمانی t.
DC_{pt}	هزینه واحد نگهداری موجودی محصول p در انبار مرکز تولید i در دوره زمانی t.
DHC_{pjt}	هزینه واحد نگهداری موجودی محصول p در انبار مرکز توزیع j در دوره زمانی t.
XO_i^t	هزینه ثابت برای تاسیس کارخانه i در دوره زمانی t که در دوره زمانی $t-1$ بسته است
XO_i^t	هزینه ثابت برای بستن کارخانه i در دوره زمانی t که در دوره زمانی $t-1$ باز است.
FEX_{in}^t	هزینه ثابت برای توسعه کارخانه i با سطح ظرفیت n در دوره زمانی t.
YO_j^t	هزینه ثابت برای تاسیس مرکز توزیع j در دوره زمانی t که در دوره زمانی $t-1$ بسته است.
YC_j^t	هزینه ثابت برای بستن مرکز توزیع j در دوره زمانی t که در دوره زمانی $t-1$ باز است.
FEY_{jn}^t	هزینه ثابت برای توسعه مرکز توزیع j با سطح ظرفیت n در دوره زمانی t.
ZO_l^t	هزینه ثابت برای تاسیس مرکز جمع‌آوری l در دوره زمانی t که در دوره زمانی t-۱ بسته است.
ZC_l^t	هزینه ثابت برای بستن مرکز جمع‌آوری و بازرسی l دوره زمانی t که در دوره زمانی $t-1$ باز است.
FEU_{ln}^t	هزینه ثابت برای توسعه مرکز جمع‌آوری و بازرسی l با سطح ظرفیت n در دوره زمانی t.
UO_m^t	هزینه ثابت برای تأسیس مرکز انهدام m در دوره زمانی t که در دوره زمانی t-۱ بسته است.

www.SID.ir

Archive of SID

UC_m^t	هزینه ثابت برای بستن مرکز انهدام m در دوره زمانی t که در دوره زمانی ۱–t باز است.
FEU_{mn}^t	هزینه ثابت برای توسعه مرکز انهدام m با سطح ظرفیت n در دوره زمانی t.
fe_l^t	میزان هزینه صرفه‌جویی شده در اثر ادغام مراکز توزیع و مراکز جمع‌آوری و بازرسی در مکان l در دوره زمانی t.
Cav_{vrt}	ظرفیت تامین کننده v برای مواد اولیه r در دوره زمانی t.
Cai_{ipt}	ظرفیت تولید مرکز تولید i برای محصول p در دوره زمانی t.
Ecp_{ipt}^n	ظرفیت توسعه مرکز تولید i برای محصول p با سطح ظرفیت n در دوره زمانی t.
CaF_{it}	ظرفیت انبار مرکز تولید i در دوره زمانی t.
Caj_{jt}	ظرفیت مرکز توزیع j در دوره زمانی t.
FCD_{jt}^n	ظرفیت توسعه مرکز توزیع j با سطح ظرفیت n در دوره زمانی t.
Cal_{lt}	ظرفیت مرکز جمع آوری و بازرسی l در دوره زمانی t.
ECL_{lt}^n	ظرفیت توسعه مرکز جمع آوری و بازرسی l با سطح ظرفیت n که در دوره زمانی t.
Cam_m^t	ظرفیت مرکز انهدام m در دوره زمانی t.
ECM_{mt}^n	ظرفیت توسعه مرکز انهدام m با سطح ظرفیت n در دوره زمانی t.
Cas_{vpt}	ظرفیت بازسازی برای مراکز تامین‌کننده v برای محصول p در دوره زمانی t.
Car_{ipt}	ظرفیت احیا برای مرکز تولید / احیا i برای محصول p در دوره زمانی t.
CVI_{virt}	هزینه واحد حمل و نقل محصول p برای انتقال از تامین کننده v به مرکز تولید i در دوره زمانی t.
CIJ_{ijpt}	هزینه واحد حمل و نقل محصول p از کارخانه i به مرکز توزیع j در دوره زمانی t.
CJK_{jkpt}	هزینه واحد حمل و نقل محصول p از مرکز توزیع j به مشتری k در دوره زمانی t.
CKL_{klpt}	هزینه واحد حمل و نقل محصول p از مشتری k به مرکز جمع‌آوری و بازرسی l در دوره زمانی t.
CLM_{lmpt}	هزینه واحد حمل و نقل محصول برگشتی p برای انتقال از مرکز جمع‌آوری l به مرکز انهدام m در دوره زمانی t.
CLI_{lipt}	هزینه واحد حمل و نقل محصول برگشتیp برای انتقال از مرکز جمع‌آوری و l به تولید / احیا i در دوره زمانی t.
CLV_{lvpt}	هزینه واحد حمل و نقل محصول برگشتیp برای انتقال از مرکز جمع‌آوری l به مرکز تامین‌کننده v در دوره t.
ar_p	نرخ استفاده مواد اولیه r در واحد محصول تمام شده p.
r_{kp}	نرخ برگشت محصولات p استفاده شده در مشتری k.
ri_p	نرخ دوباره تولید محصول p.
rm_p	نرخ انهدام محصول p.
rv_p	نرخ بازسازی محصول p.
ir	نرخ بهره.

www.SID.ir

Archive of SID

متغیرهای تصمیم

QVI_{vir}^{t}	مقدار مواد اولیه r که از تأمین‌کننده v به کارخانه i در دوره زمانی t فرستاده می‌شود.
QIJ_{ijp}^{t}	مقدار محصول p که از مرکز تولید / احیا i به مرکز توزیع j در دوره زمانی t فرستاده می‌شود.
ZII_{ip}^{t}	مقدار محصول p که از کارخانه i به انبار آن در دوره زمانی t فرستاده می‌شود.
ZIJ_{ijp}^{t}	مقدار محصول p که از انبار کارخانه i به مرکز توزیع j در دوره زمانی t فرستاده می‌شود.
QJK_{jkp}^{t}	مقدار محصول p که از مرکز توزیع j به مرکز مشتری k در دوره زمانی t فرستاده می‌شود.
QKL_{klp}^{t}	مقدار محصول p که از مشتری k به مرکز جمع‌آوری و بازرسی l در دوره زمانی t فرستاده می‌شود.
QLI_{lip}^{t}	مقدار محصول p که از جمع‌آوری و بازرسی l به مرکز تولید / احیا i در دوره زمانی t فرستاده می‌شود.
QLV_{lvp}^{t}	مقدار محصول p که از جمع‌آوری و بازرسی l به مرکز تامین‌کننده v در دوره زمانی t فرستاده می‌شود.
QLM_{lmp}^{t}	مقدار محصول p که از جمع‌آوری و بازرسی l به مرکز انهدام m در دوره زمانی t فرستاده می‌شود.
RI_{ip}^{t}	موجودی باقیمانده محصول p در مرکز تولید i در دوره زمانی t.
X_{i}^{t}	۱: اگر مرکز تولید / احیا i با سطح ظرفیت n در دوره زمانی t.
EX_{in}^{t}	اگر مرکز تولید i با سطح ظرفیت n در دوره زمانی t توسعه داده شود.
Y_{j}^{t}	۱: اگر مرکز توزیع j در دوره زمانی t تاسیس شود.
Ey_{jn}^{t}	۱: اگر مرکز توزیع j با سطح ظرفیت n در دوره زمانی t توسعه داده شود.
EZ_{l}^{t}	۱: اگر مرکز جمع‌آوری / بازرسی l در دوره زمانی t تاسیس شود.
EZ_{ln}^{t}	۱: اگر مرکز جمع‌آوری / بازرسی l با سطح ظرفیت n در دوره t توسعه داده شود.
U_{m}^{t}	۱: اگر مرکز انهدام m در دوره زمانی t تاسیس شود.

بیان ریاضی مدل

$$Profit = \sum_{t} \frac{Income_t - Cost_t}{(1+ir)^{t-1}}$$

$$Income_t = \sum_{j}\sum_{k}\sum_{p} QJK_{jkp}^{t} \times PR_{kpt} \quad \forall t$$

$$Cost_t = \sum_{i} XO_i^t (1-X_i^{t-1}) X_i^t + \sum_{i} XC_i^t \times X_i^{t-1} (1-X_i^t) + \sum_{j} YO_j^t (1-Y_j^{t-1}) Y_j^t + \sum_{j} YC_j^t \times Y_i^{t-1} (1-Y_j^t) + \sum_{l} ZO_l^t (1-Z_l^{t-1}) Z_l^t + \sum_{l} ZO_l^t \times Z_l^{t-1} (1-Z_l^t)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$+\sum_{m} UO_{m}^{t}(1-U_{m}^{t-1})U_{m}^{t}$$
$$+\sum_{m} UC_{m}^{t}\times U_{m}^{t-1}(1-U_{m}^{t})$$
$$-\sum_{e} f_{e}^{t}\times y_{e}^{t}\times Z_{e}^{t}$$
$$+\sum_{i}\sum_{n} FEX_{in}^{t}\ (EX_{in}^{t}-EX_{in}^{t-1})$$
$$+\sum_{j}\sum_{n} FEY_{jn}^{t}\ (EY_{jn}^{t}-EY_{jn}^{t-1})$$
$$+\sum_{l}\sum_{n} FEY_{ln}^{t}\ (EZ_{ln}^{t}-EZ_{ln}^{t-1})$$
$$+J_{ijp}^{t}\times PC_{pit}$$
$$+\sum_{i}\sum_{p} ZII_{ip}^{t}\times PC_{pit}$$
$$+\sum_{l}\sum_{i}\sum_{p} QLI_{lip}^{t}\times RMC_{pit}$$
$$+\sum_{k}\sum_{l}\sum_{p} QKL_{klp}^{t}\times IC_{it}$$
$$+\sum_{l}\sum_{m}\sum_{p} QLM_{lmp}\times DC_{pt}$$
$$+\sum_{i}\sum_{p} RI_{ip}^{t}\times PHC_{pit}$$
$$+\sum_{j}\sum_{p} RJ_{jp}^{t}\times DHC_{pjt}$$
$$+\sum_{v}\sum_{i}\sum_{r} QVI_{vir}^{t}\times CVI_{virt}$$
$$+\sum_{i}\sum_{j}\sum_{p} QIJ_{ijp}^{t}\times CIJ_{ijpt}$$
$$+\sum_{i}\sum_{j}\sum_{p} ZIJ_{ijp}^{t}\times CIJ_{ijpt}$$
$$+\sum_{j}\sum_{k}\sum_{p} QJK_{jkp}\times CJK_{jkpt}$$
$$+\sum_{k}\sum_{l}\sum_{p} QKL_{klp}^{t}\times CKL_{klpt}$$
$$+\sum_{l}\sum_{i}\sum_{p} QLI_{lip}^{t}$$
$$\times CLI_{lipt}+\sum_{l}\sum_{v}\sum_{p} QLV_{lvp}^{t}\times CLV_{lvpt}$$
$$+\sum_{l}\sum_{m}\sum_{p} QLM_{lmp}\times CLM_{lmpt}$$

تسهیلات، هزینه‌های ثابت تاسیس مراکز، هزینه‌های افزایش ظرفیت، هزینه‌های عملیاتی در هر یک از واحدها، هزینه‌های صرفه‌جویی شده حاصل از ادغام مراکز توزیع با مراکز جمع‌آوری و بازرسی / بازرسی، هزینه‌های نگهداری و همچنین هزینه‌های حمل و نقل می‌باشد.

تابع هدف مسأله حداکثر نمودن ارزش قطعی سود خالص زنجیره تامین می‌باشد که از مجموع سودهای زنجیره در هر دوره زمانی با لحاظ نرخ بهره بدست می‌آید. تابع درآمد از ضرب جریان مواد انتقالی از مراکز توزیع به مشتریان در قیمت فروش حاصل شده است و تابع هزینه شامل هزینه‌های ثابت تأسیس، جریان مواد در لایه‌های متوالی شبکه و هزینه‌های توسعه ظرفیت در دوره‌های مختلف است.

محدودیت‌های مدل

$$\sum_{j} QIJ_{ijp}^{t}+ZII_{ip}^{t}= \qquad (۴)$$
$$\sum_{v}\sum_{r}\frac{QVI_{vir}^{t}}{a_{rp}}+\sum_{l} QLI_{lip}^{t}\quad \forall\ i,p,t$$

$$ZII_{ip}^{t}+RI_{ip}^{(t-1)}=RI_{ip}^{t}+\sum_{j} ZII_{lip}^{t} \qquad (۵)$$
$$\forall\ i,p,t$$

$$\sum_{k} QJK_{jkp}+RI_{jp}^{t}=\sum_{i} QIJ_{ijp}^{t} \qquad (۶)$$
$$+\sum_{i} ZII_{ip}^{t}+RI_{jp}^{(t-1)}\qquad \forall j,p,t$$

$$\sum_{j} QIJ_{ijp}^{t}=DM_{kpt} \qquad (۷)$$
$$\forall\ k,p,t$$

$$\sum_{l} QKL_{klp}^{t}=DM_{kpt}\times rk_{p} \qquad (۸)$$
$$\forall\ k,p,t$$

$$\sum_{i} QLI_{lip}^{t}=\sum_{k} QKL_{klp}^{t}\times ri_{p} \qquad (۹)$$
$$\forall\ l,p,t$$

$$\sum_{v} QLV_{lvp}^{t}=\sum_{k} QKL_{klp}^{t}\times rv_{p} \qquad (۱۰)$$
$$\forall\ l,p,t$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$\sum_{k} QKL_{klp}^{t} = \sum_{i} QLI_{lip}^{t} + \sum_{v} QLV_{lvp}^{t} + \sum_{m} QLM_{lmp}^{t} \quad \forall\ l, p, t \tag{۱۱}$$

$$\sum_{i} QVI_{vir}^{t} \le Cav_{vrt} \times rv_{p} \quad \forall\ v, p, t \tag{۱۲}$$

$$\sum_{j} QIJ_{ijp}^{t} + ZII_{ip}^{t} \le Cai_{ipt}\ X_{i}^{t} + \sum_{n} ECP_{ipt}^{n} \times EX_{in}^{t} \quad \forall\ i, t, p \tag{۱۳}$$

$$\sum_{j}\sum_{p} RI_{jp}^{t} \le Caf_{it} \times X_{i}^{t} \quad \forall\ i, t \tag{۱۴}$$

$$\sum_{k}\sum_{p} QJK_{ijp}^{t} + \sum_{p} RI_{jp}^{t} \le Caj_{jp} + \sum_{n} ECD_{it}^{n}\ EY_{jn}^{t} \quad \forall\ j, t \tag{۱۵}$$

$$\sum_{m}\sum_{p} QLM_{lmp}^{t} + \sum_{i}\sum_{p} QLI_{lip}^{t} + \sum_{v}\sum_{p} QLV_{lvp}^{t} \le Cal_{lt}\ Z_{l}^{t} + \sum_{n} ECD_{lt}^{n} \times EY_{ln}^{t} \quad \forall\ l, t \tag{۱۶}$$

$$\sum_{l}\sum_{p} QJM_{lmp}^{t} \le Cam_{m}^{t} + \sum_{n} ECM_{mt}^{n} \times EU_{mn}^{t} \quad \forall\ m, t \tag{۱۷}$$

$$\sum_{l} QLV_{lvp}^{t} \le Cas_{vpt} \quad \forall\ v, p, t \tag{۱۸}$$

$$\sum_{l} QLI_{lip}^{t} \le Car_{ipt} \times X_{i}^{t} \quad \forall\ i, t, p \tag{۱۹}$$

$$\sum_{n} EX_{in}^{n} \le X_{i}^{t} \quad \forall\ i, t \tag{۲۰}$$

$$\sum_{n} EY_{jn}^{t} \le Y_{j}^{t} \quad \forall j, t \tag{۲۱}$$

$$\sum_{n} EZ_{ln}^{t} \le Z_{l}^{t} \quad \forall\ l, t\ \ \forall\ m, t \tag{۲۲}$$

$$\sum_{n} EU_{mn}^{t} \le U_{m}^{t} \quad \forall\ m, t \tag{۲۳}$$

$$EX_{in}^{t-1} \le EX_{in}^{t} \quad \forall\ i, n, t \tag{۲۴}$$

$$EY_{jn}^{t-1} \le EY_{jn}^{t} \quad \forall\ j, n, t \tag{۲۵}$$

$$EZ_{ln}^{t-1} \le EZ_{ln}^{t} \quad \forall\ l, n, t \tag{۲۶}$$

$$EU_{mn}^{t-1} \le EU_{mn}^{t} \quad \forall\ m, n, t \tag{۲۷}$$

$$\sum_{n} EX_{in}^{t} \le 1 \quad \forall\ i, t \tag{۲۸}$$

$$\sum_{n} EY_{jn}^{t} \le 1 \quad \forall j, t \tag{۲۹}$$

$$\sum_{n} EZ_{ln}^{t} \le 1 \quad \forall\ l, t \tag{۳۰}$$

$$\sum_{n} EU_{mn}^{t} \le 1 \quad \forall\ m, t \tag{۳۱}$$

$$X_{i}^{t},\ EX_{in}^{t}, Y_{j}^{t}, EY_{jn}^{t}, Z_{l}^{t},\ EZ_{ln}^{t}, U_{m}^{t}, EU_{mn}^{t} \in \{0,1\} \quad \forall\ i, j, l, m, n, t \tag{۳۲}$$

$$QVI_{vir}^{t}, QIJ_{ijp}^{t}, ZII_{ip}^{t}, ZIJ_{ijp}^{t}, QJK_{ijp}^{t}, QKL_{klp}^{t}, QLI_{lip}^{t}, QLV_{lvp}^{t}, QLM_{lmp}^{t}, RI_{ip}^{t}, Rj_{jp}^{t} \ge 0 \tag{۳۳}$$

$$Q_{e}^{t} = Y_{e}^{t} \times Z_{e}^{t},\quad Q_{e}^{t} \in \{0,1\},\quad 2Q_{e}^{t} \le Y_{e}^{t} \times Z_{e}^{t} \tag{۳۴}$$

محدودیت‌های ۱۷ – ۴ تضمین می‌کنند که جریان‌ها در گره‌های شبکه متوازن باشند. محدودیت‌های ۱۹– ۱۸ از تجاوز میزان بازسازی و دوباره تولید از حجم هر یک از آنها جلوگیری می‌کنند. محدودیت‌های ۲۳–۲۰ نشان می‌دهند که

www.SID.ir

Archive of SID

افزایش ظرفیت فقط برای تأسیسات احداث شده امکان‌پذیر می‌باشد. محدودیت ۲۷ – ۲۴ نشان دهنده عدم‌امکان کاهش ظرفیت برای تسهیلات افزایش ظرفیت داده شده، می‌باشند. محدودیت‌های ۳۱ – ۲۸ هر یک از مراکز را قادر به قرار گرفتن در حداکثر یکی از سطوح ظرفیت می‌کنند و در نهایت محدودیت‌های ۳۳ – ۳۲ متغیرهای صفر و یک و غیرمنفی را معرفی می‌کنند.

همان‌طور که می‌دانیم مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته[1] در بردارنده متغیرهای پیوسته و عدد صحیح است. اما چنان‌چه در تابع هدف مدل ترم درجه دوم وجود داشته باشد (مساله پیش‌رو) به عنوان یک مساله درجه دوم آمیخته[2] شناخته می‌شود. و در نهایت اگر ترم درجه دوم علاوه بر تابع هدف در محدودیت‌ها وارد شود با یک مساله عدد صحیح آمیخته با محدودیت‌های مربع کامل[3] مواجه هستیم.

مساله برنامه‌ریزی درجه دوم که شامل تابع هدف درجه دوم و محدودیت‌های خطی باشد به فرم کلی زیر نمایش داده می‌شود[۱۳]:

$$Min\ Z = \sum_{j}^{n} c_j x_j + \frac{1}{2}\sum_{i}^{n}\sum_{j}^{n} q_{ij} x_i x_j$$

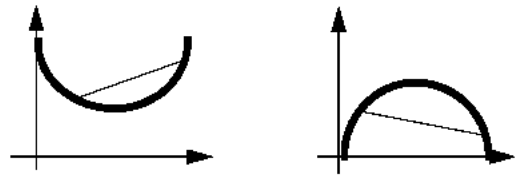
$$s.t$$

$$\sum_{j}^{n} a_{ij} x_j \sim b \qquad i = 1,\ldots,m$$

$$l \le x_j \le u \qquad j = 1,\ldots,n$$

که در آن X بردار متغیرهای تصمیم‌گیری است و بقیه پارامترها و مقادیر ورودی هستند: $C = (c_j : j = 1,\ldots,n)$ بردار ضرایب هزینه، b بردار ضرایب هزینه، $Q = (q_{ij})_{m*n}$ ماتریس درجه دوم و a ماتریس ضرایب محدودیت‌ها است. علامت $\sim$ مربوط به هر سه حالت مساوی، بزرگتر مساوی و کوچکتر مساوی است.

نرم‌افزار سیپلکس در نسخه جدید آن[4] قادر به حل مسایل کمینه‌سازی با تابع هدف کوادرتیک محدب می‌باشد. همچنین این سالور قادر به حل مسایل بیشینه‌سازی با تابع هدف کوادراتیک مقعر است که از نزدیکترین مسائل به مسائل خطی شناخته شده که این دسته از مدل‌های ریاضی امکان بدست آوردن پاسخ بهینه سراسری وجود دارد[۱۴]. در شکل(۲) مساله با تابع هدف درجه دوم و محدودیت خطی نمایش داده شده است که در اولی مساله کمینه‌سازی با تابع هدف کوادرتیک محدب است و در دیگری مساله بیشینه‌سازی با تابع هدف کوادراتیک مقعر می‌باشد. اما با توجه به این‌که مسائل MIQP (مساله مطرح در این مقاله) فرایند حل پیچیده‌ای دارند و نسبت به مسائل خطی در ابعاد کوچکتری توسط نرم‌افزارهای تجاری قابل حل هستند[۱۵]، در این جا ابتدا به خطی کردن و تبدیل مساله درجه دوم آمیخته با عدد صحیح به مدل خطی آمیخته با عدد صحیح می‌پردازیم.



شکل۲ – کمینه‌سازی با تابع هدف درجه دوم محدب و بیشینه‌سازی با تابع هدف درجه دوم مقعر

مدل پیشنهادی به دلیل ترم‌های ۱ تا ۸ تابع هدف ساختار غیرخطی دارد که می‌توان با معرفی متغیرهای صفر و یک و محدودیت‌های زیر آن را به حالت خطی در آورد که در آن متغیرهای جدید برابر هستند با:

[1] Mixed Integer Linear Program
[2] Mixed Integer Quadratic Program
[3] mixed integer programs with quadratic terms in the constraints
[4] ILOG CPLEX Optimization Studio 12.6.3

www.SID.ir

Archive of SID

$$G_m^{t,t-1}, E_l^{t,t-1}, U_j^{t,t-1}, Q_i^{t,t-1} \quad (۳۴)$$

$$U_j^{t,t-1} = Y_j^{\,t} \times Y_j^{\,t-1}$$

$$Q_i^{t,t-1} = X_i^{\,t} \times X_i^{\,t-1}$$

$$E_l^{t,t-1} = Z_l^{\,t} \times Z_l^{\,t-1}$$

$$G_m^{t,t-1} = U_m^{\,t} \times U_m^{\,t-1}$$

$$2Q_i^{t,t-1} \le X_i^{\,t} + X_i^{\,t-1} \qquad \forall\, i,t \quad (۳۵)$$

$$2U_j^{t,t-1} \le Y_j^{\,t} + Y_j^{\,t-1} \qquad \forall\, j,t \quad (۳۶)$$

$$2E_l^{t,t-1} \le Z_l^{\,t} + Z_l^{\,t-1} \qquad \forall\, l,t \quad (۳۷)$$

$$2G_m^{t,t-1} \le U_m^{\,t} + U_m^{\,t-1} \qquad \forall\, m,t$$

ترم ۹ در تابع هدف ($\sum_e f_e^{\,t} \times Y_e^{\,t} \times Z_e^{\,t}$) ساختار غیرخطی دارد که برای خطی کردن آن از متغیر و محدودیت زیر استفاده می‌شود.

$$Q_e^t = Y_e^{\,t} \times Z_e^{\,t} \quad \text{و} \quad Q_e^t \in \{0,1\}$$

$$2Q_e^t \le Y_e^{\,t} \times Z_e^{\,t}$$

٤- رویکرد حل

از آنجایی که مدل طراحی شبکه برای لجستیک حلقه بسته در زمره مسائل مکان‌یابی با ظرفیت محدود تسهیلات به حساب می‌آید و از طرفی در حیطه مسائل کوله پشتی چند انتخابی ۱ قرار می‌گیرد، به عنوان یک مسئله آن پی سخت مورد بررسی قرار می‌گیرد[۱۶-۱۹]. برای حل دقیق مسائل مکان‌یابی در لجستیک معمولا از روش شاخه و کران در نرم‌افزار لینگو بهره جسته می‌شود ولی از آن‌جایی که این نرم‌افزار قادر به حل مسائل با ابعاد بزرگتر و نزدیک به واقعیت نیست، می‌توان به حل این‌گونه مسائل با استفاده از روش شاخه و برش در نرم‌افزار CPLEX پرداخت[۱۱و۲۰].

جدول ۱ - اندازه مسائل آزمایشی تولید شده

شماره مساله	تامین-کنندگان	مراکز تولید/احیا	مراکز توزیع	مراکز مشتریان	مراکز جمع-آوری	مراکز انهدام	سطوح ظرفیت	تعداد دوره‌ها	تعداد محصولات
۱	۱	۲	۳	۵	۳	۱	۲	۲	۲
۲	۳	۵	۱۰	۱۰	۵	۴	۲	۲	۲
۳	۳	۵	۱۰	۱۵	۱۰	۴	۳	۳	۳
۴	۶	۱۰	۱۵	۲۰	۱۵	۵	۲	۳	۵
۵	۶	۱۰	۱۵	۲۵	۲۰	۶	۳	۳	۷
۶	۱۲	۱۵	۲۰	۲۵	۲۰	۶	۲	۳	۷
۷	۱۲	۱۵	۲۰	۳۰	۲۵	۸	۳	۴	۱۰
۸	۱۸	۲۰	۲۵	۳۰	۳۰	۱۰	۲	۴	۱۰

[1] Multiple-choice Knapsack problems

www.SID.ir

Archive of SID

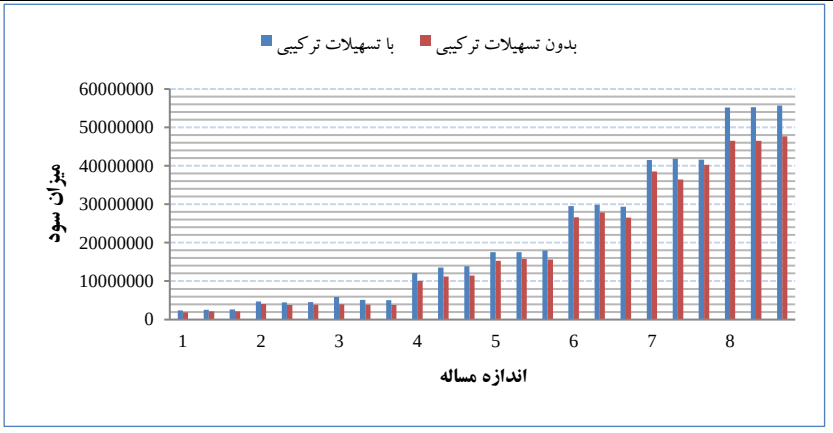
جدول ۲ - نتایج محاسباتی

شماره مسئله	با در نظر گرفتن تسهیلات ترکیبی		بدون در نظر گرفتن تسهیلات ترکیبی	
	مقدار تابع هدف	زمان (ثانیه)	مقدار تابع هدف	زمان (ثانیه)
۱-۱	۲۳۵۰۴۸۹	۱	۱۹۱۵۶۴۹	۱
۲-۱	۲۵۶۰۸۴۴	۳	۲۰۸۷۰۸۸	۴
۳-۱	۲۵۹۶۱۶۶	۳	۲۱۱۵۸۷۵	۳
۱-۲	۴۷۴۴۶۶۰	۲۳	۴۰۳۲۹۶۱	۲۲
۲-۲	۴۴۵۷۸۹۷	۴۶	۳۷۸۹۲۱۲	۴۴
۳-۲	۴۵۳۷۰۹۴	۳۹	۳۸۵۶۵۳۰	۴۱
۱-۳	۵۹۰۸۰۲۶	۴۸۷	۳۹۵۰۵۰۰	۴۳۲
۲-۳	۵۱۱۳۸۷۷	۶۱۸	۳۸۸۶۵۴۷	۶۰۹
۳-۳	۵۰۱۹۳۴۰	۴۶۱	۳۸۱۴۶۹۸	۴۷۲
۱-۴	۱۲۰۹۳۷۴۷	۷۴۷	۱۰۰۳۱۸۱۰	۷۰۳
۲-۴	۱۳۵۴۱۷۹۰	۶۰۱	۱۱۲۳۹۶۸۹	۵۹۲
۳-۴	۱۳۸۴۱۱۴۶	۴۹۰	۱۱۴۸۸۱۵۱	۴۹۳
۱-۵	۱۷۵۱۴۵۴۵	۵۷۰	۱۵۳۲۵۴۵۶	۷۰۱
۲-۵	۱۷۵۷۶۲۴۶	۷۸۰	۱۵۷۵۶۴۸۵	۱۸۶
۳-۵	۱۷۹۸۵۴۲۱	۲۶۸	۱۵۵۸۴۵۶۴	۵۸۴
۱-۶	۲۹۵۴۱۵۴۵	۱۱۸۴	۲۶۵۸۴۵۶۲	۶۸۵
۲-۶	۲۹۸۷۳۱۴۵	۶۵۱	۲۷۸۵۶۲۱۲	۱۰۱۴
۳-۶	۲۹۳۵۴۸۶۷	۱۲۵۴	۲۶۵۴۵۱۲۵	۹۸۲
۱-۷	۴۱۵۴۱۵۵۴	۲۳۲۴	۳۸۵۴۸۷۵۴	۱۶۸۵
۲-۷	۴۱۸۶۵۴۷۸	۱۰۲۵	۳۶۴۲۷۹۸۱	۲۵۴۵
۳-۷	۴۱۶۳۱۱۸۷	۱۷۰۲	۴۰۲۵۸۴۶۵	۱۹۰۲
۱-۸	۵۵۲۲۱۱۴۸	۱۹۲۶۰	۴۶۵۴۱۲۵۸	۱۱۹۸
۲-۸	۵۵۲۹۴۵۳۲	۲۰۰۵۸	۴۶۵۵۴۲۳۲	۱۸۶۵۵
۳-۸	۵۵۶۵۸۴۲۳	۱۱۰۱۲	۴۷۶۵۸۴۱۲	۱۲۵۴۸

چنان‌چه در جدول(۲) و نمودار(۳) نشان داده شده است، در نظر گرفتن تسهیلات ترکیبی در مراکز توزیع‌کنندگان کالاها به طوری که بتوانند همزمان کالاهای برگشتی را نیز از مشتریان جمع‌آوری کرده و عملیات بازرسی را روی آنها انجام دهند، موجب صرفه‌جویی در هزینه‌های شبکه لجستیک حلقه بسته می‌شود و در نتیجه سود حاصل شده در شبکه یکپارچه زنجیره تامین ارائه شده در حالتی که از تسهیلات ترکیبی استفاده شود از سود شبکه مورد نظر در حالتی که تسهیلات ترکیبی استفاده نمی‌شود بیشتر است.

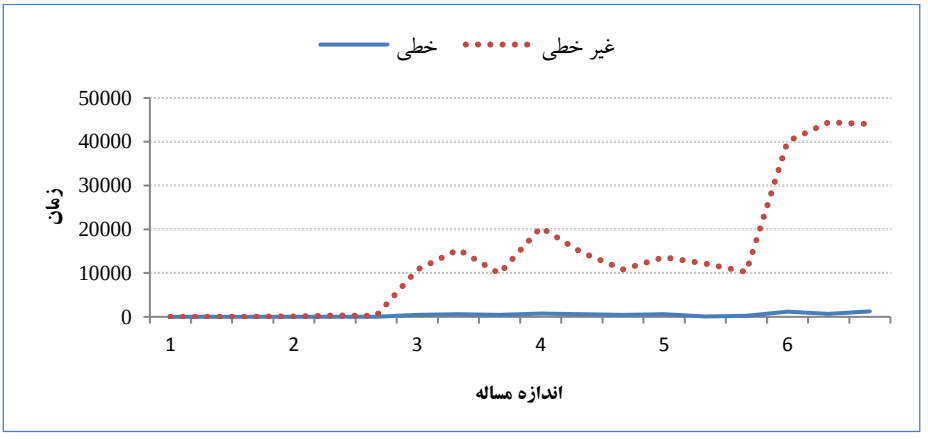
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳ - تأثیر تسهیلات ترکیبی در شبکه حلقه بسته

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، خطی کردن مدل غیرخطی توسعه داده شده تاثیر قابل توجهی بر زمان حل مساله دارد که این مهم در شکل(۴) نمایش داده شده است. همچینین خطی شدن مدل امکان حل آن را در ابعاد بزرگتر و نزدیک به واقعیت را برای سالور فراهم می‌آورد.



شکل٤ - تاثیر خطی شدن مدل غیرخطی بر زمان حل

www.SID.ir

Archive of SID

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک مدل برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح برای طراحی شبکه لجستیک حلقه بسته ارائه شده است که تابع هدف آن متمرکز بر بیشینه‌سازی سود کل شبکه می‌باشد. مدل ارائه شده به صورت چند محصولی، چند رده‌ای و چند دوره‌ای و به صورت پویا می‌باشد. همچنین برای کاهش پیچیدگی مدل غیرخطی ارائه شده متغیرها و محدودیت‌های جدید اضافه شده و مدل به صورت خطی درآمده است و در ادامه مدل مذکور با نرم‌افزار CPLEX حل شده است. علاوه بر آن نقش در نظر گرفتن تسهیلات ترکیبی در مدل پیشنهادی با مثال‌های عددی مورد آزمون واقع شده و میزان صرفه‌جویی در هزینه‌ها در اثر این تصمیم‌گیری به نمایش گذاشته شده است.

با توجه به مطالب ذکر شده، برخی از مواردی که در تحقیقات آتی می‌توانند مورد توجه قرار گیرند، به شرح ذیل می‌باشند: ۱- لحاظ سیاست‌های تخفیف در بخش‌های خرید مواد اولیه و فروش محصول، ۲- در نظر گرفتن عدم‌قطعیت در تقاضای کالاهای برگشتی، ۳- ارائه رویکردی براساس بهینه‌سازی استوار برای مدل‌های چندهدفه طراحی شبکه زنجیره تامین و ۴- ارائه روش‌های حل کارا برای مسائل در ابعاد واقعی.

www.SID.ir

Archive of SID

فهرست منابع

[1] Jayaraman. V and H. Pirkul (2001). Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities. European journal of operational research.

[2] Listeş. O (2007). A generic stochastic model for supply-and-return network design. Computers & Operations Research.

[3] Aras. N, D. Aksen and A.G. Tanuğur (2008.) Locating collection centers for incentive-dependent returns under a pick-up policy with capacitated vehicles. European Journal of Operational Research.

[4] Üster. H, et. al (2007). Benders decomposition with alternative multiple cuts for a multi- product closed loop supply chain network design model. Naval Research Logistics.

[5] Fleischmann. M, et. al (2001). The impact of product recovery on logistics network design. Production and operations management.

[6] Salema. M.I.G, A.P. Barbosa-Povoa and A.Q. Novais (2007). An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty. European Journal of Operational Research.

[7] Lee. D-H and M. Dong (2009). Dynamic network design for reverse logistics operations under uncertainty. Transportation Research Part E :Logistics and Transportation Review.

[8] Jiang. D, et. al (2016). Genetic algorithm for inventory positioning problem with general acyclic supply chain networks. European Journal of Industrial Engineering.

[9] Yadegari. E, M. Zandieh and H. Najmi (2015). A hybrid spanning tree-based genetic/simulated annealing algorithm for a closed-loop logistics network design problem. International Journal of Applied Decision Sciences.

[10] Zarrinpoor. N, M.S. Fallahnezhad and M.S. Pishvaee (2017). Design of a reliable hierarchical location-allocation model under disruptions for health service networks: A two-stage robust approach. Computers & Industrial Engineering.

[11] Wang. H.-F. and H.-W. Hsu (2010). A closed-loop logistic model with a spanning-tree based genetic algorithm. Computers & operations research.

[12] Hasani. A and A. Khosrojerdi (2016). Robust global supply chain network design under disruption and uncertainty considering resilience strategies: A parallel memetic algorithm for a real-life case study. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review.

[13] Luenberger, D.G and Y.Ye (1984). Linear and nonlinear programming.

[14] Nemhauser. G.L and L.A. Wolsey (1992). Integer programming and combinatorial optimization. Wiley, Chichester. GL Nemhauser, MWP Savelsbergh, GS Sigismondi. Constraint Classification for Mixed Integer Programming Formulations.

[15] Liu. S, J. Chevallier and B. Zhu (2016). Self-scheduling of a power generating company: Carbon tax considerations. Computers & Operations Research.

[16] Eckert. C and J. Gottlieb (2002). Direct Representation and Variation

www.SID.ir

Archive of SID

Operators for the Fixed Charge Transportation Problem, in Parallel Problem Solving from Nature.

[17] Coit. D.W (1998). Genetic Algorithms and Engineering Design. THE ENGINEERING ECONOMIST.

[18] Gottlieb. J and L. Paulmann (1998). Genetic algorithms for the fixed charge transportation problem. in Evolutionary Computation Proceedings.

[19] Jo. J.-B, Y.Li and M. Gen (2007). Nonlinear fixed charge transportation problem by spanning tree-based genetic algorithm. Computers & Industrial Engineering.

[20] Ramezani. M, M. Bashiri and R. Tavakkoli-Moghaddam (2012). A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. Applied Mathematical Modelling.

[21] Pishvaee. M.S, R.Z. Farahani and W. Dullaert (2010). A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design. Computers & Operations Research.

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir