نشریه پژوهش‌های نوین در مدیریت کارآفرینی و توسعه کسب و کار
جلد۲ ، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، صفحه: از ۳۲۸ تا ۳۴۴ ISSN 2717-2570
https://science-journals.ir https://pnmktk.science-journals.ir

ارائه یک مدل چند هدفه در یک زنجیره تأمین سبز حلقه بسته با در نظر گرفتن عدم قطعیت در نرخ بازگشت

حدیث لشگری*[۱]

۱-کارشناسی ارشد مهندسی صنایع گرایش مدیریت سیستم و بهره‌وری، دانشگاه آزاد قزوین

Email: Lashgari.hadis@yahoo.com

چکیده

با گسترش و تشدید فضای رقابتی در دنیای امروزی، مدیریت زنجیره تأمین به یکی از مسائل اساسی پیش روی بنگاه‌های اقتصادی تبدیل شده است. در این تحقیق به طراحی یک شبکه زنجیره تامین سبز حلقه بسته با در نظر گرفتن مراکز جمع آوری، دفع و انهدام با روش نظری پرداخته شده است. در این پژوهش، یک مدل برنامه ریزی سه هدفه برای یک شبکه لجستیک یکپارچه مستقیم و معکوس، شامل چهار سطح در جریان مستقیم (به نام های تأمین کنندگان، مراکز مونتاژ، توزیع کنندگان و مشتریان) و سه سطح در جریان معکوس (به نام های مراکزجمع آوری، دفع و دمونتاژ)، مدنظر قرار گرفت. با توجه به اینکه در دنیای واقعی، داده های مربوط به شاخص های اثرگذار در مسائل، به صورت قطعی در دسترس نمی باشند بنابراین استفاده از رویکردهای غیرقطعی مناسب تر می باشد، در این مطالعه نیز تقاضا و نرخ بازگشت غیر قطعی در نظر گرفته شده است و رویکرد مورد استفاده برای حل مسئله، الگوریتم های فراابتکاری MOPSO و NSGA II بوده است. نتایج حاصل بیانگر این امر می باشد که با بازیافت محصول و در نظر گرفتن مراکز جمع آوری، دفع و دمونتاژ و استفاده مجدد از محصولات، علاوه بر این که دولت به اهداف زیست محیطی خود می‌رسد، مشتری نیز محصولی مرغوب تر با هزینه کمتر در دسترس خواهد داشت. همچنین نتایج حاصل از حل مدل با نرم‌افزارهای NSGA-II و MOPSO نشان دهنده کارکرد منطقی و مطلوب مدل در رسیدن به جواب بهینه است.

واژگان کلیدی: فراابتکاری، زنجیره تأمین، مونتاژ

۱- مقدمه

مدیران صنایع و خدمات به دلیل رقابتی شدن بازارهای جهانی در صنایع گوناگون و همچنین نقش مؤثر و روزافزون برآورده ساختن الزامات مشتریان در راستای ایجاد مزایای رقابتی برای تولیدکنندگان محصولات و عرضه‌کنندگان خدمات، از عزم بیشتری در جهت پیشبرد اهداف در جهت مشتری مداری گام برداشته‌اند (احمدوند و همکاران، ۱۳۹۲). در این راستا، طی دو دهه اخیر، فضای صنعتی و تولیدی در صنایع مختلف گام‌های بلندی را در جهت معنادارتر کردن نقش مشتریان و خواسته‌های آن‌ها در فرآیند آماده‌سازی و ارائه محصولات و خدمات برداشته است. ورود مؤثر مشتریان به فرآیند آماده‌سازی محصولات، از ابتدا تا انتهای زنجیره تأمین محصول، منجر به شکل‌گیری سیستم‌های تولیدی شد که در آن‌ها فرآیند آماده‌سازی و تولید، بدون حضور یک سفارش مشخص شامل الزامات، ویژگی‌ها و نیازمندی‌های مشخص و تعیین‌شده توسط مشتری، آغاز نمی‌گردد. این تغییر در فضای برنامه‌ریزی تولید را می‌توان انقلابی در تفکر حاکم بر این عرصه دانست (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۱).

۲- بیان مسئله

مسئله زنجیره تأمین موردبررسی در این تحقیق یک مسئله چند محصولی و چند دوره‌ای است که شامل فعالیت‌های تأمین، تولید /مونتاژ و توزیع، تقاضا / مصرف‌کننده، جمع‌آوری، دفع /انهدام، دمونتاژ در یک شبکه زنجیره تأمین سبز حلقه بسته است. به طوری‌که هر مشتری در هر دوره محصولات خود را سفارش می‌دهند، مراکز عرضه سفارش‌های مشتریان را دریافت نموده و به تولیدکنندگان انتقال می‌دهند، تولیدکنندگان مواد اولیه خود را از تأمین‌کنندگان و یا از مراکز دمونتاژ دریافت نموده و شروع به تولید محصولات سفارش داده شده مشتری می‌نمایند (ترابی و تارخ، ۱۳۹۰). مراکز عرضه برخی محصولات تولیدشده را از مراکز تولید به مشتریان تحویل می‌دهند. مراکز جمع‌آوری محصولاتی که ازنظر مشتریان د خصوص محصولات مشکوک جهت ضایعات و دمونتاژ را از مشتریان جمع‌آوری کرده و جهت دفع و یا دمونتاژ محصولات اقدام می‌نماید. محصولات ضایعات جهت دفع، به مراکز دفع و انهدام انتقال‌یافته و محصولاتی که نیاز به دمونتاژ و استفاده مجدد می‌باشند به مراکز دمونتاژ انتقال می‌یابند (شکاری، ۱۳۸۴).

۳- اهمیت انجام تحقیق

مسئله شبکه زنجیره تأمین سبز یکپارچه مستقیم و معکوس شامل مکان‌یابی و چگونگی استقرار تأمین‌کنندگان، کارخانه، مراکز توزیع، مراکز مصرف، مراکز جمع‌آوری، مراکز دمونتاژ و مرکز انهدام و همچنین چگونگی جریان مواد اعم از مواد اولیه، قطعات با قابلیت سبز، محصول نهایی در امتداد شبکه زنجیره تأمین از تأمین‌کنندگان به کارخانه و سپس به مراکز توزیع و در نهایت مراکز مصرف به‌طور مستقیم و در جهت عکس نیز از مراکز مصرف به مراکز جمع‌آوری و مرکز دفع یا مراکز دمونتاژ و دوباره کارخانه به‌منظور افزایش عملکرد کلی شبکه زنجیره تأمین سبز است (یاداری و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین تمامی تقاضاهای مصرف‌کنندگان در جریان مستقیم تأمین می‌گردند و تمامی محصولات بازگشتی از مصرف‌کنندگان در جریان معکوس به مراکز جمع‌آوری ارسال می‌شود، با توجه به اینکه بازرسی محصولات بازگشتی در مراکز جمع‌آوری انجام می‌گیرد، تعداد و مکان مراکز

توزیع‌کنندگان، مصـرف‌کنندگان، مراکز جمع‌آوری و مرکز انهدام ثابت و از قبل مشخص در نظر گرفته شده است که در پژوهش‌های پیشین به این مورد توجهی نشده است (صفار و همکاران، ۱۳۹۴).

٤- پیشینه تحقیق

فرخ و همکاران (۱۳۹۵) درصدد توسعه یک رویکرد برنامه‌ریزی فازی برای مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته تحت شرایط عدم قطعیت بوده‌اند .مدل پیشنهادی ویژگی‌هایی برحسب مقدار میانگین امکانی، تغییرپذیری امکانی تابع هدف و تخطی از محدودیت‌های امکانی دارد .برای توسعه رویکرد پیشنهادی از برنامه‌ریزی با محدودیت‌های اعتبار و میانگین انحراف مطلق امکانی استفاده شد. نتایج نشان داد مدل پیشنهادی قادر است با صرف یک هزینه قابل‌قبول، استواری مدل را افزایش دهد.

Aminiو Zhang(۲۰۱۳) یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط چند هدفه برای شبکه زنجیره تأمین یکپارچه معکوس با در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا و بازگشت محصول را توسعه دادند.

روغنیان و پوهش فر (۲۰۱۴) مدل بهینه‌سازی برای مسئله شبکه زنجیره تأمین معکوس با درنظرگرفتن تقاضا از مراکز تولید و بازیافت به‌صورت متغیرهای تصادفی و باهدف کمینه‌سازی هزینه‌ها توسعه دادند و برای حل آن در ابعاد بزرگ از روش فراابتکاری ژنتیک استفاده نمودند.

Ayvazو همکاران (۲۰۱۵) یک ساختار مدل‌سازی جامع برای طراحی شبکه معکوس با در نظر گیری عدم قطعیت در میزان و کیفیت محصولات برگشتی و هزینه‌های حمل‌ونقل ارائه کردند. آن‌ها یک مدل جامع چند محصولی با در نظر گیری محدودیت ظرفیت و باهدف ماکزیمم کردن سود برای شرکت های بازیافت تجهیزات الکتریک ارائه نمودند و برای در نظر گیری عدم قطعیت در مدل از برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله ای استفاده کردند.

Amin و Baki (۲۰۱۶) یک مدل مکان‌یابی تسهیلات برای طراحی زنجیره تأمین معکوس با در نظر گرفتن عدم قطعیت را توسعه دادند، که برای پوشش غیرقطعی مسئله از تئوری اعداد فازی استفاده نمودند.

٥- مواد و روش ها

این تحقیق از نوع نظری است چرا که از روش های استدلال و تحلیل عقلائی استفاده و بر پایه مطالعات کتابخانه ای انجام شده است. در این پژوهش ابتدا منابع موجود در زمینه مسئله شبکه زنجیره تأمین یکپارچه مستقیم و معکوس مورد بررسی قرار گرفته اند که این منابع شامل مقالات مرتبط، کتاب ها و پایان نامه های موجود در این زمینه است. در گام بعدی با بررسی مدل های برنامه‌ریزی ریاضی ارائه شده در پژوهش‌های قبلی، مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط جدیدی برای مسئله سه هدفه شبکه زنجیره تأمین سبز یکپارچه مستقیم و معکوس با فرض های موجود ارائه خواهد شد در این مطالعه رویکرد مورد استفاده برای حل مسئله، الگوریتم‌های فراابتکاری MOPSOو NSGA II است.

جلد۲ ، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، صفحه: از ۳۲۸ تا ۳۴۴ ISSN 2717-2570
https://science-journals.ir https://pnmktk.science-journals.ir

٦- مواد و روش ها

این تحقیق از نوع نظری است چرا که از روش های استدلال و تحلیل عقلائی استفاده و بر پایه مطالعات کتابخانه ای انجام شده است. در این پژوهش ابتدا منابع موجود در زمینه مسئله شبکه زنجیره تأمین یکپارچه مستقیم و معکوس مورد بررسی قرار گرفته اند که این منابع شامل مقالات مرتبط، کتاب ها و پایان نامه های موجود در این زمینه است. در گام بعدی با بررسی مدل های برنامه‌ریزی ریاضی ارائه شده در پژوهش‌های قبلی، مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط جدیدی برای مسئله سه هدفه شبکه زنجیره تأمین سبز یکپارچه مستقیم و معکوس با فرض های موجود ارائه خواهد شد در این مطالعه رویکرد مورد استفاده برای حل مسئله، الگوریتم‌های فراابتکاری MOPSOو NSGA II است.

۷- نتایج

مدلسازی مسئله

در این بخش، نخست پارامترها و اندیس های مدل مسئله معرفی می‌شود:

-معرفی پارامترها

$TC1_{pvsi}$ =هز ه حمل محصول p با وسیله نقلیه v از مین کننده sبه م بهههه کارخانه i به زاء هرکیلومتر در کشور

$TC2_{pvir}$ =هزینه حمل محصول p با وسیله نقلیه v از کارخانه i به توزیع کننده r

$TC3_{pvrk}$=هزینه حمل محصول p با وسیله نقلیه v از توزیع کننده r به محل مصرف‌کننده k

$TC4_{pvkl}$ = هزینه حمل محصول p با وسیله نقلیه v از محل مصرف‌کننده k به مراکز جمع‌آوری l

$TC5_{pvla}$ = هزینه حمل محصول p با وسیله نقلیه v از به مراکز جمع‌آوری l به مرکز دفع و انهدام a

$TC6_{pvle}$ = هزینه حمل محصول p با وسیله نقلیه v از به مراکز جمع‌آوری l به مراکز دمونتاژ e

$TC7_{pvei}$ = هزینه حمل محصول p با وسیله نقلیه v از مراکز دمونتاژ e به محل کارخانه i

$TD1_{pis}$ = هزینه خرید محصول p از تأمین کننده s به محل کارخانه i

$DIS1_{sin}$ = فاصله تأمین کننده s تامکان کارخانه i در کشور n ام

$DIS2_{irn}$ = فاصله کارخانه i تا مرکز توزیع r در کشور n ام

$DIS3_{rkn}$ = فاصله مرکز توزیع r تا مصرف‌کننده k در کشور n ام

$DIS4_{kln}$ = فاصله مصرف‌کننده k تا مرکز جمع‌آوری l در کشور n ام

$DIS5_{lan}$ = فاصله مرکز جمع‌آوری l تا مرکز دفع a در کشور n ام

$DIS6_{len}$ = فاصله مرکز جمع‌آوری l تا مرکز دمونتاژ e در کشور n ام

$DIS7_{ein}$ = فاصله مراکز دمونتاژe تا کارخانه i در کشور n ام

$X1_{pistv}$ = تعداد محصول p برای کارخانه i از تأمین کننده s در دوره t با وسیله نقلیه v

$X2_{pirtv}$ = تعداد محصول p مونتاژ شده در کارخانه i برای مرکز توزیع r در دوره t با وسیله نقلیه v

$X3_{prktv}$ = تعداد محصول p از مرکز توزیع r به مکان تقاضا k در دور درر t با وسیله نقلیه v

$X4_{pkltv}$ = تعداد محصول p از مکان تقاضا k به مرکز جمع‌آوری l در دوره t با وسیله نقلیه v

$X5_{platv}$ = تعداد محصول دفع شده p از مرکز جمع‌آوری l به مکان دفع a در دوره t با وسی باا نقلیه v

$X6_{pletv}$ = تعداد محصول دفع شده p از مرکز جمع‌آوری l به مرکز دمونتاژ e در دوره t با وسیله نقلیه v

$X7_{peitv}$ = تعداد محصول p دمونتاژ شده از مرکز دمونتاژ e به محل کارخانه i در دوره t با وسیله نقلیه v

$OC1_i$ = هزینه ثابت احداث کارخانه i ام

$Y1_i$ = اگر کارخانه در محل i ام احداث گردد ۱ در غیر اینصورت صفر

$OC2_r$ = هزینه ثابت احداث مرکز توزیع rام

$Y2_r$ = اگرمرکز توزیع در محل r ام احداث گردد ۱ در غیر اینصورت صفر

$OC3_l$ = هزینه احداث مرکز جمع‌آوری lام

$Y3_l$ = اگر مرکز جمع‌آوری lام احداث گردد ۱ در غیر اینصورت صفر

$OC4_a$ = هزینه احداث مرکز دفع aام

$Y4_a$ = اگر مرکز دفع aام احداث گردد ۱ در غیر اینصورت صفر

PC_p: هزینه تولید محصول p

TC_p: هزینه دفع محصول p

TD_p: هزینه دمونتاژ محصول p

$V1_v$: ظرفیت وسیله نقلیه v

$\alpha 2_V$: میزان آلودگی هوا پس از حمل برای هر کیلومتر

Ca_{ip}: ظرفیت کارخانه i ام برای محصول p

Ca_{rp}: ظرفیت مرکز توزیع r ام برای محصول p

Ca_{lp}: ظرفیت مرکز جمع آوی l ام برای محصول p

Ca_{ap}: ظرفیت مرکز دفع a ام برای محصول p

Ca_{ep}: ظرفیت مرکز دمونتاژ eام برای محصول p

Hpsn: نرخ گمرکی محصول p از تأمین کننده S در کشور n

H_n: نرخ ارز در کشور n

γ: درصد محصولی که از مصرف‌کننده k به جمع‌آوری l می آید

θ = درصد محصولی که از مرکز جمع‌آوری l به انهدام a می رود

B = درصد محصولاتی که از جمع‌آوری l به مرکز دمونتاژe می رو

معرفی مدل

$$MIN\ Z1 = (\sum_i OC1_i.Y1_{\ i} + \sum_r OC2_r.Y2_{\ r} + \sum_l OC3_l.Y3_{\ l} + \sum_a OC4_a.Y4_{\ a} + \sum_{p,i,s,n} H_n\ ((1 + H_{psn}).TD1_{pis} + \sum_{p,v,s,i,t} TC1_{pvsi}\ \ DIS1_{sin}\ X1_{pistv}) + \sum_{p,v,i,r,n,t} TC2_{pvir}\ DIS2_{irn} X2_{pirtv}\ PCp + \sum_{p,v,r,k,n,t} TC3_{pvrk} DIS3_{rkn} X3_{prktv} + \sum_{p,v,k,l,n,t} TC4_{pvkl}\ DIS4_{kln}\ \ X4_{pkltv} + \sum_{p,v,l,a,n,t} TC5_{pvla}\ DIS5_{lan}\ \ X5_{platv} TCp + \sum_{p,v,l,e,n,t} TC6_{pvle} DIS6_{len}\ \ X6_{pletv} + \sum_{p,v,e,i,n,t} TC7_{pvei}\ \ DIS7_{ein}\ X7_{peitv} TD_p$$

$$Min\ Z2 = \sum_{s,i,p,v,t,n} [X1_{pistv}\ \ \div\ \ V1v\ ]\ (\alpha 2_V\ \ )\ DIS1_{sin} + \sum_{r,i,n,p,v,t} [\ X2_{pirtv}\ \ \div\ V1v\ ]\ (\alpha 2_V\ \ )DIS2_{irn} + \sum_{k,n,r,p,t,v} [\ X3_{prktv}\ \ /\ V1v]\ (\alpha 2_V\ )\ DIS3_{rkn} + \sum_{k,l,p,t,v,n} [\ X4_{pkltv}\ \ /\ V1v]\ (\alpha 2_V\ )DIS4_{kln} + \sum_{l,a,n,p,t,v} [X5_{platv}\ \ /\ V1v]\ (\alpha 2_V\ )\ DIS5_{lan} + \sum_{l,n,e,p,t,v} [\ X6_{pletv}\ \ /\ V1v]\ (\alpha 2_V\ )DIS6_{len} + \sum_{i,e,p,t,v,,n} [\ X7_{peitv}\ /\ V1v]\ (\alpha 2_V\ )\ DIS7_{ein}$$

-روش‌های حل

الگوریتم‌های ابتکاری[1] در واقع یک روش ابتکاری است که می‌تواند با تغییرهایی کم برای مسائل مختلف بهینه‌سازی به کار رود. استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری، به‌طور قابل ملاحظه‌ای توانایی یافتن جواب‌های با کیفیت بالا را برای مسائل بهینه‌سازی سخت، افزایش می‌دهد. ویژگی مشترک این الگوریتم‌ها، استفاده از مکانیزم‌های خروج از بهینه‌ی محلی است.

نتایج

در این تحقیق، ۳۰ مسئله در سه دسته مسئله کوچک، متوسط و بزرگ بر اساس تعداد محصولات، تعداد تأمین‌کنندگان، تعداد کارخانه‌ها، تعداد مراکز توزیع، تعداد مکان‌های تقاضا، تعداد مراکز جمع‌آوری، تعداد مراکز دفع، تعداد مراکز دمونتاژ، تعداد دوره‌های زمانی، تعداد وسایل نقلیه و تعداد کشورهایی که در آن تأمین‌کنندگان قرار دارند تولید کرده‌ایم.

جدول ۱- نتایج به‌دست‌آمده از الگوریتم NSGA-II

شماره مسئله	CPU Time (Second)	NPS	MID	D	SM
۱	58.83	11	1.77E+12	6.04E+10	6.79E+11
۲	110.68	30	2.76E+12	9.43E+10	6.88E+11
۳	153.02	17	5.68E+12	7.02E+10	1.83E+12
۴	205.34	6	3.78E+12	2.53E+10	1.78E+12
۵	235.72	17	7.46E+12	5.59E+11	2.39E+12
۶	281.21	8	4.25E+12	3.35E+10	1.83E+12
۷	376.83	20	8.21E+12	1.33E+11	2.46E+12
۸	627.39	16	1.64E+13	2.83E+11	5.43E+12
۹	925.06	10	1.26E+13	9.71E+10	5.01E+12
۱۰	1,226.60	10	3.86E+13	2.25E+11	1.54E+13
۱۱	2,932.45	11	6.51E+13	4.55E+11	2.51E+13
۱۲	4,592.83	5	6.58E+13	7.76E+10	3.22E+13
۱۳	5,052.12	16	3.58E+13	7.39E+10	1.70E+13
۱۴	5,557.33	24	1.98E+13	4.96E+10	9.41E+12
۱۵	6,113.06	22	1.36E+13	3.04E+11	5.90E+12
۱۶	6,724.37	2	8.93E+12	1.69E+11	3.87E+12
۱۷	7,396.80	25	8.57E+12	1.51E+11	3.16E+12

[1] Heuristic

۱۸	8,136.48	12	1.25E+13	2.17E+11	4.29E+12
۱۹	8,950.13	18	1.25E+13	1.57E+11	4.65E+12
۲۰	9,845.14	14	2.56E+13	1.91E+11	1.00E+13
۲۱	10,829.66	9	4.53E+13	3.23E+11	1.75E+13
۲۲	11,912.62	8	5.56E+13	2.00E+11	2.49E+13
۲۳	13,103.89	15	4.57E+13	1.37E+11	2.10E+13
۲۴	14,414.28	17	3.27E+13	9.34E+10	1.52E+13
۲۵	15,855.70	26	2.32E+13	1.99E+11	1.05E+13
۲۶	17,441.27	14	1.60E+13	1.84E+11	7.20E+12
۲۷	19,185.40	35	1.23E+13	1.67E+11	5.18E+12
۲۸	21,103.94	12	1.24E+13	1.92E+11	4.74E+12
۲۹	23,214.34	31	1.25E+13	1.75E+11	4.70E+12
۳۰	25,535.77	14	1.90E+13	1.83E+11	7.36E+12
Average	8,069.94	15.8	2.15E+13	1.76E+11	9.05E+12

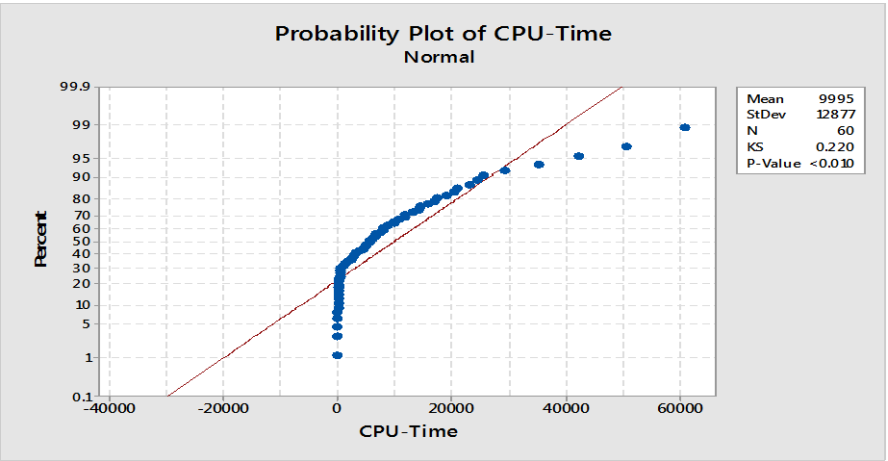
جدول ۲- نتایج به‌دست‌آمده از الگوریتم MOPSO

شماره مسئله	CPU Time (Second)	NPS	MID	D	SM
۱	35.79	4	1.82E+12	4.51E+10	9.00E+11
۲	49.22	16	2.78E+12	7.27E+10	9.15E+11
۳	76.35	6	5.80E+12	3.04E+10	2.73E+12
۴	87.44	5	3.87E+12	8.77E+09	1.89E+12
۵	110.85	14	7.77E+12	3.37E+11	2.69E+12
۶	122.82	2	5.93E+12	1.73E+11	2.29E+12
۷	174.94	6	8.39E+12	8.40E+10	3.95E+12
۸	335.67	13	1.70E+13	1.46E+12	6.15E+12
۹	417.88	4	1.47E+13	1.71E+11	7.30E+12
۱۰	635.29	7	4.29E+13	1.68E+11	1.94E+13
۱۱	1904.53	7	7.29E+13	1.07E+13	3.12E+13
۱۲	2285.44	8	5.79E+13	5.44E+12	2.53E+13
۱۳	2742.53	8	6.54E+13	8.08E+12	2.83E+13
۱۴	3291.03	19	3.57E+13	4.12E+12	1.53E+13

۱۵	3949.24	18	2.20E+13	2.10E+12	9.61E+12
۱۶	4739.09	5	1.95E+13	1.78E+12	7.88E+12
۱۷	5686.90	18	1.71E+13	9.76E+11	7.59E+12
۱۸	6824.28	13	3.00E+13	5.72E+11	1.35E+13
۱۹	8189.14	8	5.14E+13	5.64E+12	2.24E+13
۲۰	9826.97	18	5.47E+13	5.54E+12	2.38E+13
۲۱	11792.36	9	6.00E+13	6.81E+12	2.60E+13
۲۲	14150.84	13	4.78E+13	5.47E+12	2.07E+13
۲۳	16981.00	13	3.49E+13	3.79E+12	1.51E+13
۲۴	20377.20	25	2.72E+13	2.78E+12	1.15E+13
۲۵	24452.64	24	2.22E+13	1.88E+12	9.55E+12
۲۶	29343.17	22	2.61E+13	1.23E+12	1.15E+13
۲۷	35211.81	34	3.88E+13	3.43E+12	1.69E+13
۲۸	42254.17	16	4.67E+13	4.49E+12	2.04E+13
۲۹	50705.00	24	5.34E+13	5.65E+12	2.32E+13
۳۰	60846.00	29	5.06E+13	5.56E+12	2.19E+13
Average	11919.99	13.60	3.15E+13	2.95E+12	1.37E+13

-مقایسه نتایج الگوریتم‌های فراابتکاری به ازای مدت زمان اجرا (CPU Time)

نتیجه تست نرمال بودن داده‌ها در این معیار به‌صورت شکل ۱ است.



شکل ۱-نتیجه تست نرمال بودن داده‌ها در معیار زمان حل

با توجه به مقدار P-Value آزمون که کمتر از ۰/۰۵ به‌دست‌آمده است بنابراین فرض صفر رد شده و داده‌ها دارای توزیع نرمال نیستند. بنابراین از آزمون ناپارامتریک کروسکال والیس جهت تحلیل آماری استفاده شده است. نتیجه این آزمون به ازای معیار زمان حل به‌صورت شکل ۲، به‌دست‌آمده است:

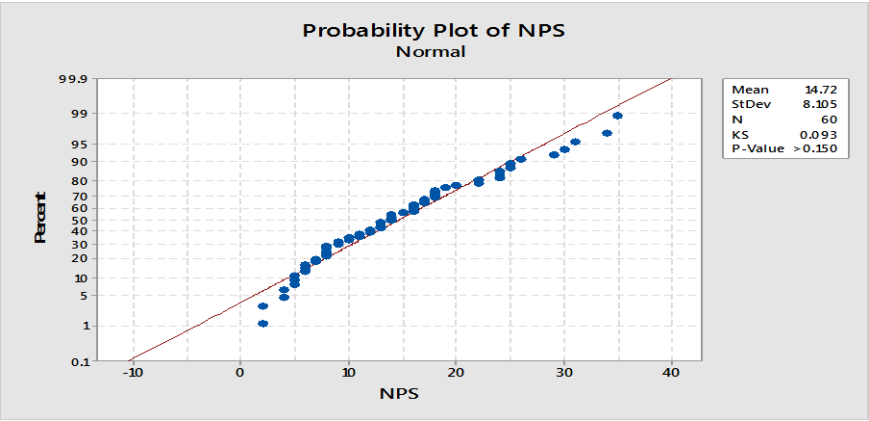
```
Kruskal-Wallis Test on CPU-Time

Algorithm   N Median Ave Rank      Z
MOPSO      30   4344      30.0 -0.21
NSGA2      30   6419      31.0  0.21
Overall    60             30.5

H = 0.04 DF = 1 P = 0.836
```

شکل ۲- نتیجه آزمون کروسکال والیس به ازای معیار زمان حل

با توجه به مقدار P-Value که مقدار آن بزرگ‌تر از ۰/۰۵ به‌دست‌آمده است بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که فرض صفر رد نشده و اختلاف معناداری در میانگین دو جامعه وجود ندارد.

-مقایسه نتایج الگوریتم‌های فراابتکاری به ازای تعداد جواب‌های پارتو (NPS)

نتیجه تست نرمال بودن داده‌ها در این معیار به‌صورت شکل ۳، است.



شکل ۳- نتیجه تست نرمال بودن داده‌ها در معیار تعداد جواب پارتو

با توجه به مقدار P-Value آزمون که بزرگ‌تر از ۰/۵۰ به‌دست‌آمده است بنابراین فرض صفر رد نشده و داده‌ها دارای توزیع نرمال هستند. بنابراین از آزمون تی جهت تحلیل آماری استفاده شده است.

نتیجه این آزمون به ازای معیار زمان حل به‌صورت شکل ۴، به‌دست‌آمده است:

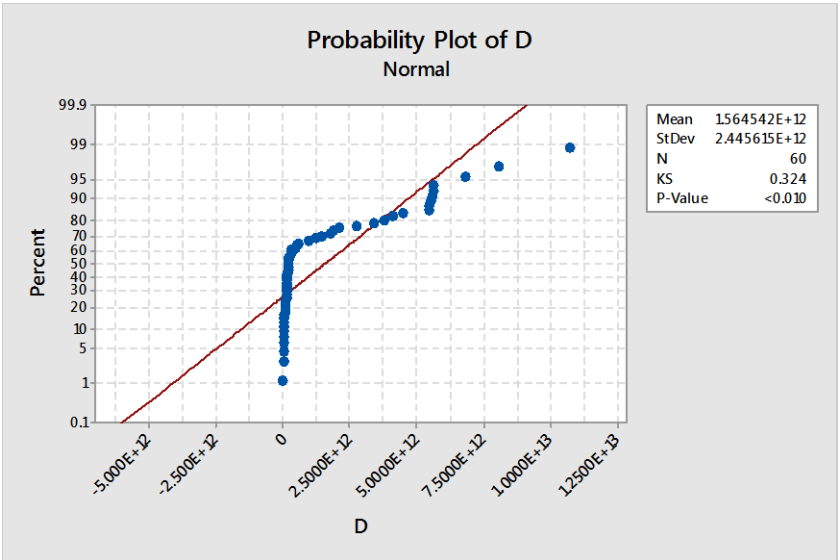
```
Two-sample T for NPS

Algorithm   N   Mean StDev SE Mean
MOPSO      30 13.60   8.21    1.5
NSGA2      30 15.83   7.98    1.5


Difference =μ (MOPSO) - μ (NSGA2)
Estimate for difference: -2.23
95% CI for difference:(-6.42, 1.95)
T-Test of difference=0 (vs ≠): T-Value=-1.07 P-
Value=0.290 DF=57
```

شکل ٤- نتیجه آزمون تی به ازای معیار تعداد جواب پارتو

با توجه به مقدار P-Value که مقدار آن بزرگ‌تر از ۰/۰۵ به‌دست‌آمده است بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که فرض صفر رد شده و اختلاف معناداری در میانگین دو جامعه به ازای این معیار وجود دارد. در واقع الگوریتم NSGA-II با میانگین ۱۵/۸۳ نسبت به الگوریتم MOPSO با میانگین ۱۳/۶۰ به جواب‌های بهتری دست یافته است.

-مقایسه نتایج الگوریتم‌های فراابتکاری به ازای معیار بیشترین گسترش (D)

نتیجه تست نرمال بودن داده‌ها در این معیار به‌صورت شکل ۵، است.



شکل ٥- نتیجه تست نرمال بودن داده‌ها در معیار بیشترین گسترش

با توجه به مقدار P-Value آزمون که کمتر از ۰/۰۵ به‌دست‌آمده است بنابراین فرض صفر رد شده و داده‌ها دارای توزیع نرمال نیستند. بنابراین از آزمون ناپارامتریک کروسکال والیس جهت تحلیل آماری استفاده شده است. نتیجه این آزمون به ازای معیار زمان حل به‌صورت شکل ۶، به‌دست‌آمده است:

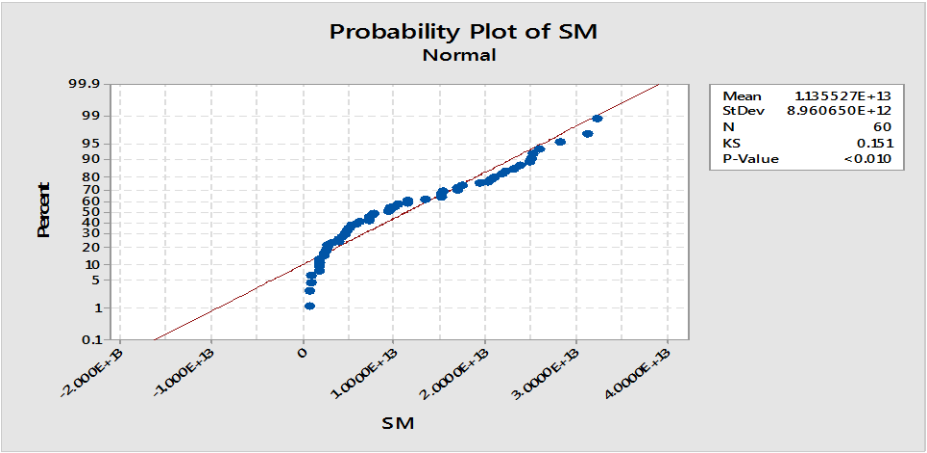
```
Kruskal-Wallis Test on D

Algorithm   N       Median Ave Rank      Z
MOPSO      30 1.99186E+12      39.53.99
NSGA2      30 1.68110E+11      21.5-3.99
Overall    60                   30.5

H = 15.93 DF = 1 P =0.000
```

شکل ٦- نتیجه آزمون کروسکال والیس به ازای معیار بیشترین گسترش

با توجه به مقدار P-Value که مقدار آن برابر ۰/۰۰ به‌دست‌آمده است بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که فرض صفر رد شده و اختلاف معناداری در میانگین دو جامعه به ازای این معیار وجود ندارد.

- مقایسه نتایج الگوریتم‌های فرااابتکاری به ازای معیار فاصله‌گذاری (SM)

نتیجه تست نرمال بودن داده‌ها در این معیار به‌صورت شکل ۷، است.



شکل ۷- نتیجه تست نرمال بودن داده‌ها در معیار فاصله‌گذاری

با توجه به مقدار P-Value آزمون که کمتر از ۰/۰۵ به‌دست‌آمده است بنابراین فرض صفر رد شده و داده‌ها دارای توزیع نرمال نیستند. بنابراین از آزمون ناپارامتریک کروسکال والیس جهت تحلیل آماری استفاده شده است. نتیجه این آزمون به ازای معیار زمان حل به‌صورت شکل ۸، به‌دست‌آمده است:

```
Kruskal-Wallis Test on SM

Algorithm    N       Median Ave Rank      Z
MOPSO       30 1.25038E+13      35.1 2.03
NSGA2       30 5.30496E+12      25.9-2.03
Overall     60                   30.5

H = 4.10 DF = 1   P = 0.043
```

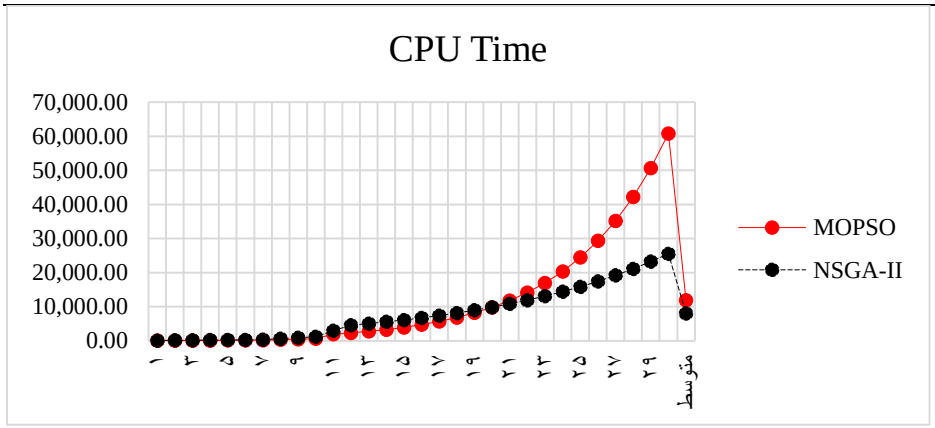
شکل ۸- نتیجه آزمون کروسکال والیس به ازای معیار فاصله‌گذاری

با توجه به مقدار P-Value که مقدار آن کمتر از ۰/۰۵ به‌دست‌آمده است بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که فرض صفر رد شده و اختلاف معناداری در میانگین دو جامعه وجود ندارد.
در جدول زیر ۳، خلاصه نتایج به‌دست‌آمده برای تمامی آزمون‌های انجام شده برای این مدل نشان داده شده است. خطوط تیره بیان می‌کند که دو الگوریتم دارای اختلاف معناداری نیستند.

جدول ۳- نتیجه کلی از آزمون‌های به‌دست‌آمده برای دو الگوریتم NSGA-II و MOPSO

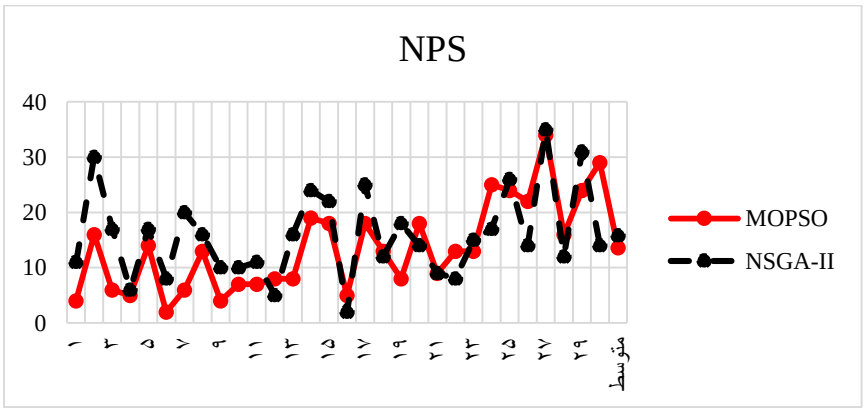
Model	CPU Time	NPS	MID	Diversity	Spacing
NSGA-II/ MOPSO	---	NSGA-II	---	---	---

-مقایسه نموداری روش‌های فراابتکاری بر مبنای معیارهای ارزیابی



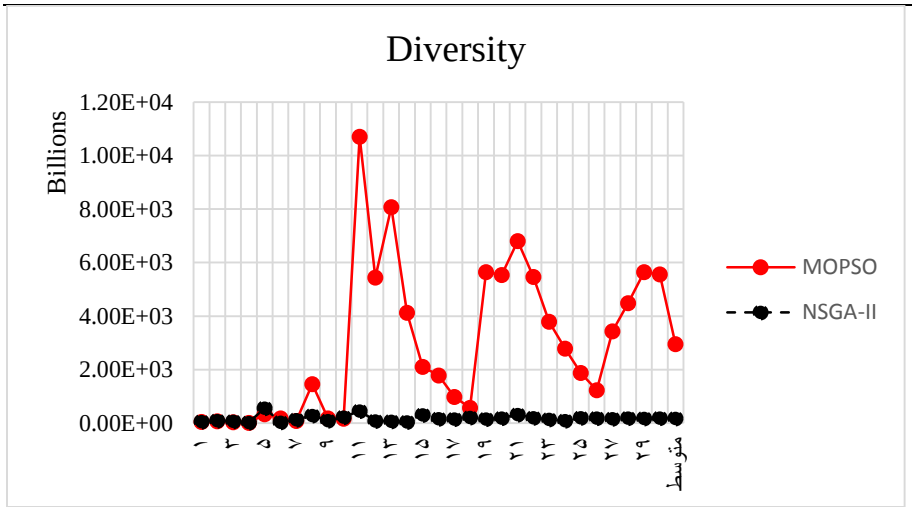
شکل ۹- نمودار دو الگوریتم بر مبنای زمان حل

با توجه به اینکه کمتر بودن زمان حل نشان از برتری الگوریتم دارد مطابق شکل ۹، در این مسئله الگوریتم MOPSO نتیجه بهتری داشته است.



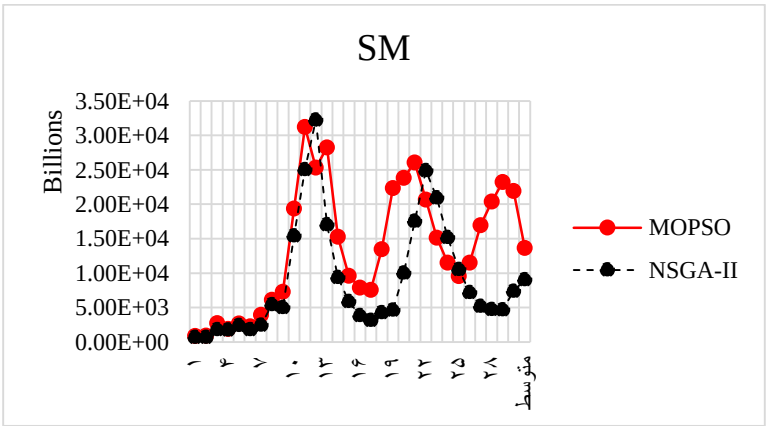
شکل ۱۰- نمودار دو الگوریتم بر مبنای تعداد جواب پارتو

با توجه به اینکه بیشتر بودن تعداد جواب‌های پارتو نشان از برتری الگوریتم دارد مطابق شکل ۱۰، در این مسئله الگوریتم NSGA-II نتیجه بهتری داشته است. با توجه به اینکه کمتر بودن در معیار فاصله از ایده‌آل نشان از برتری الگوریتم دارد مطابق شکل ۱۰، در این مسئله الگوریتم NSGA-II نتیجه بهتری داشته است.



شکل ۱۱- نمودار دو الگوریتم بر مبنای فاصله معیار بیشترین گسترش

با توجه به اینکه بیشتر بودن معیار بیشترین گسترش نشان از برتری الگوریتم دارد مطابق شکل ۱۱، در این مسئله الگوریتم MOPSO نتیجه بهتری داشته است.



شکل ۱۲- نمودار دو الگوریتم بر مبنای فاصله معیار فاصله‌گذاری

با توجه به اینکه کمتر بودن معیار فاصله‌گذاری نشان از برتری الگوریتم دارد مطابق شکل ۱۲، در این مسئله الگوریتم NSGA-II نتیجه بهتری داشته است.

جلد۲ ، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، صفحه: از ۳۲۸ تا ۳۴۴ ISSN 2717-2570
https://science-journals.ir https://pnmktk.science-journals.ir

۸- بحث و نتیجه گیری

آنچه اهمیت طراحی یک شبکه زنجیره تأمین را روزافزون می‌کند تأثیر آن بر مکان‌یابی تسهیلات و تجهیزات، جریان تولید و خرید کالا و مواد اولیه، حمل و توزیع آن‌ها و میزان رضایتمندی مشتریان است (Aras et al., 2008). در سال‌های اخیر، با توجه به زیان‌های ناشی از خرابی محصولات، هم ازنظر اقتصادی و هم ازنظر سطح رضایتمندی مشتری، جریانات برگشتی، اعم از تحویل کالاهای معیوب از مشتریان و تعمیر و بازیافت آن‌ها، در طراحی شبکه گنجانده شد (Amiri, 2006). این تحقیق با رویکردی یکپارچه، با درنظرگرفتن جریانات روبه‌جلو و معکوس، نه‌تنها سطح رضایتمندی مشتریان را بهینه می‌کند، بلکه ازلحاظ اقتصادی هزینه‌های تولید دوباره را کاهش می‌دهد و حتی از فروش مواد بازیافتی سود به دست می‌آورد. همچنین، برای اولین بار در طراحی یک شبکه یکپارچه زنجیره تأمین مسائل زیست‌محیطی به‌صورت جدی و تحت شرایط عدم قطعیت تأثیر خو د را بر چگونگی طراحی شبکه نشان می‌دهد .این تأثیرات، چه در بخش حمل‌ونقل چه در جریان برگشتی (تعمیر و بازیافت)، مشاهده می‌شود. عدم قطعیت به‌صورت فازی در نظر گرفته شد و مدل پیشنهادی با دو الگوریتم فراابتکاری NSGA-II و MOPSO حل شد. نتایج، حاصل از حل مدل با نرم‌افزارهای NSGA-II و MOPSO نشان‌دهنده کارکرد منطقی و مطلوب مدل در رسیدن به جواب بهینه است. این مسئله پس از مدل‌سازی با استفاده از دو الگوریتم فراابتکاری NSGA-II و MOPSO حل شد و دریافت نتایج مطلوب با این رویکرد تائید شد. با توجه به مقایسه نموداری روش‌های فراابتکاری بر مبنای معیارهای ارزیابی در این مدل منتج به نتایج ذیل است:
با توجه به کمتر بودن زمان حل نشان از برتری الگوریتم دارد در این مسئله الگوریتم MOPSO نتیجه بهتری داشته است، همچنین در خصوص مقایسه تعداد جواب پارتوبا توجه به بیشتر بودن تعداد جواب، مسئله الگوریتم NSGA-II نتیجه بهتری داشته است. در ارتباط با کمتر بودن در معیار فاصله از ایده‌آل مسئله الگوریتم NSGA-II نتیجه بهتری داشته است، همچنین بیشتر بودن معیار بیشترین گسترش نشان‌دهنده این موضوع است که مسئله الگوریتم MOPSO نتیجه بهتری داشته است. با توجه به اینکه کمتر بودن معیار فاصله‌گذاری نشان از برتری الگوریتم دارد در این مسئله الگوریتم NSGA-II نتیجه بهتری داشته است. در نتیجه الگوریتم NSGA-II به نتایج بهتری دست یافته است.

منابع

- ✓ **احمدوند، محسن؛ خراسانچی، فاطمه؛ احمدوند، انسیه (۱۳۹۲). رتبه‌بندی مقتضیات تحقق مدیریت زنجیره تأمین سبز در پلیس ایران به روش TOPSIS فازی، مرکز تحقیقات کاربردی معاونت آماد و پشتیبانی ناجا، ص ۷۹-۵۹.**
- ✓ **ترابی، شهره؛ تارخ، محمدجعفر (۱۳۹۰). ارائه مدل کلی بهینه‌سازی طراحی شبکه لجستیک معکوس ظرفیت دار تحت عدم قطعیت، دومین کنفرانس بین‌المللی لجستیک و زنجیره تأمین، تهران، ایران.**
- ✓ **شکاری، حمیده (۱۳۸٤). شناسایی، تدوین و اولویت‌بندی مؤلفه‌های بهره‌وری سبز با رویکرد مدیریت زنجیره تأمین سبز با استفاده از تکنیک .MADM تهران :پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.**
- ✓ **صفار، محمدمهدی؛ شکوری گنجوی، حامد؛ رزمی جعفر (۱۳۹٤). طراحی یک زنجیره تأمین حلقه بسته سبز با در نظر گرفتن ریسک‌های عملیاتی در شرایط عدم قطعیت و حل آن با الگوریتم، NSGAII، نشریه مهندسی صنایع (دانشکده فنی دانشگاه تهران)، ٤۹(۱): ٦۹-۵۵.**

جلد۲ ، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، صفحه: از ۳۲۸ تا ۳۴۴ ISSN 2717-2570
https://science-journals.ir https://pnmktk.science-journals.ir

- فرخ، مجتبی؛ آذر، عادل؛ جندقی؛ غلامرضا (۱۳۹۵). طراحی مدل زنجیره تأمین حلقه بسته با رویکرد برنامه‌ریزی فازی استوار ۱۶۰-۱۳۱، جدید،پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری، دوره ۱.
- معتمدی، مهدیه؛ نوروز زاده، قاسم؛ نوروز زاده، مهدی (۱۳۹۱). مدیریت زنجیره تامنی سبز چالش رقابتی قرن حاضر، دومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست ۱-۲، تهران.
- یادگاری، احسان؛ نجمی، حسام‌الدین؛ علیخانی پورحامد (۱۳۹۱). طراحی یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن تسهیلات ترکیبی، اولین کنفرانس ملی مهندسی صنایع و سیستم‌ها، نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد، گروه مهندسی صنایع.
- -Amin, S.H., Zhang, G., (2012). An integrated model for closed-loop supply chain configuration and supplier selection: Multi-objective approach, Expert Systems With Applications 39, 6782-6791
- -Amin, S.H., Zhang, G., (2013). A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return, Applied Mathematical Modelling, 37, 4165-4176.
- -Ayvaz, B., Bolat, B., Aydin, N., (2015). Stochastic reverse logistics network design for waste electrical and electronic equipment, Resources, Conservation and Recycling, 104, 391-404.
- -Alumur, S.A., Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F., Verter, V., Multi period reverse logistics network design, European Journal of Operational Research, 220 (2012) 67-78.
- -Aras, N., Aksen, D., Tanugur, A.G., (2008). Locating collection centers for incentive-dependent returns under a pick-up policy with capacitated vehicles, European Journal of Operational Research, 191. 1223-1240.
- -Amiri A., (2006). Designing a distribution network in a supply chain system: formulation and efficient solution procedure. European Journal of Operational Research, 171, 567-76.