مجله علمی مطالعات پژوهشی در مهندسی مکانیک آینده، ۱۴۰۳، دوره ۱، شماره ۱، ص ص ۴۰-۴۹

مجله علمی مطالعات پژوهشی
در مهندسی مکانیک آینده
www.journalhi.com/mec/

مدل سازی حداقل تاخیر مسئله ی مکانیابی – مسیریابی – مدیریت موجودی مواد چندمحصولی فسادپذیر وابسته به زمان با در نظر گرفتن پوشش پشتیبان مراکز توزیع

سمانه درودی[۱]

۱- کارشناس ارشد تربیت بدنی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: ۲۷ اسفند ۱۴۰۱
پذیرش: ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۲
ارائه در سایت: ۱۲ خرداد ۱۴۰۲

کلید واژگان:
مکانیابی
مسیریابی
موجودی
فسادپذیر
پوشش پشتیبان

چکیده

زنجیره ی تامین در بر دارنده ی مباحث بسیار گسترده و چندین جزء و سطح مختلف است. تصمیمات متعدد و متنوعی در زنجیره ی تامین وجود دارند که نیاز است تا در یک چارچوب یکپارچه و نظام مند مورد بررسی و تحلیل قرار گیرند، چرا که نگرش جزیره ای به این تصمیمات و مسائل می توان کیفیت و کاربردی بودن نتایج حاصل از این مدل ها را کاهش دهد. در این تحقیق نسبت به ارائه ی یک مدل برنامه ریزی ریاضی چندهدفه ی سبز برای مسئله ی مکانیابی، مسیریابی و موجودی با در نظر گرفتن فسادپذیری مواد، وابستگی به زمان و پوشش مراکز توزیعی اقدام شد. مدل دارای سه هدف اصلی شامل کمینه کردن هزینه های کل زنجیره (شامل هزینه هایی نظیر حمل و نقل، موجودی، کمبود و فسادپذیری)، کمینه سازی تاخیر ماشین ها و همچنین کمینه سازی آلاینده های خروجی از ماشین ها می باشد. زمان حمل و نقل وابسته به ساعات شبانه روز و ترافیک متناظر با آن در نظر گرفته شده و همچنین سیستم پشتیبان مراکز توزیعی جهت جلوگیری از کمبودهای ناخواسته و افزایش رضایت مشتری در مدل سازی مسئله در نظر گرفته شدند. پس از طراحی مدل، رویکردهای فراابتکاری NSGA II و PESA II به منظور حل مسائل عددی در ابعاد مختلف طراحی شد و مسائل عددی در ابعاد مختلف با استفاده از این دو الگوریتم حل شدند. نتایج به دست آمده نشان دادند که الگوریتم PESA II هم از نظر زمان حل و هم از نظر نزدیکی به جواب بهینه عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک چندهدفه دارد. به عبارتی دیگر، هر چقدر ابعاد مسئله بزرگ تر می شود، برتری PESA II هم از نظر زمان حل و هم از نظر نزدیکی به جواب بهینه قابل توجه تر می شود.

Minimum delay modeling of the problem of location-routing-time-dependent perishable multi-product inventory management considering the support coverage of distribution centers

Samaneh Doroudi[1]

1- Master of Physical Education, Faculty of Sports Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Article Information

Original Research Paper
Received 18 March 2023
Accepted 02 October 2023
Available Online 04 October 2023

Keywords:
location
Routing
inventory
perishable
Backup cover

Abstract

The supply chain covers a wide range of topics and several different components and levels. There are many and diverse decisions in the supply chain that need to be examined and analyzed in an integrated and systematic framework, because the insular attitude to these decisions and issues can affect the quality and applicability of the results of these models. Reduce. In this research, a green multi-objective mathematical planning model was presented for the problem of location, routing and inventory, taking into account the perishability of materials, time dependence and coverage of distribution centers. The model has three main goals, including minimizing the costs of the entire chain (including costs such as transportation, inventory, shortage, and perishability), minimizing the delay of machines, and also minimizing the pollutants coming out of the machines. The transportation time dependent on the day and night hours and the corresponding traffic were considered, as well as the support system of the distribution centers to prevent unwanted shortages and increase customer satisfaction in the problem modeling. After designing the model, NSGA II and PESA II meta-heuristic approaches were designed to solve numerical problems in different dimensions and numerical problems in different dimensions were solved using these two algorithms. The obtained results showed that the PESA II algorithm performs better than the multi-objective genetic algorithm both in terms of solving time and in terms of proximity to the optimal solution. In other words, as the dimensions of the problem become larger, the superiority of PESA II becomes more significant both in terms of solving time and in terms of proximity to the optimal solution.

۱- مقدمه

یکی از مهم ترین ابزارهایی که می تواند در راستای ایجاد مزیت رقابتی برای شرکت ها مورد استفاده قرار بگیرد بحث مدیریت و برنامه ریزی زنجیره ی تامین می باشد. زنجیره ی تامین کلیه ی فعالیت های یک واحد صنعتی از تامین مواد اولیه گرفته تا تحویل محصول به مشتری و حتی خدمات پس از فروش را در بر می گیرد و به همین دلیل نقش بسیار مهم و تاثیرگذاری را در بهبود شرایط رقابتی در صنایع دارد. از این روی، ضرورت توجه به این مقوله ی مهم در سیستم های تولیدی و صنعتی به خوبی احساس می گردد (ربانی و همکاران، ۲۰۱۸).

ذات مسئله ی زنجیره ی تامین دارای گستردگی و دربرگیرنده ی چندین جزء و سطح مختلف می باشد. مسائل مختلفی که در زنجیره ی تامین وجود دارد لازم است تا در یک چارچوب نظام مند و یکپارچه مورد ارزیابی قرار گیرند. نگاه جزیره ای و جداگانه به مسائل مطرح در زنجیره ی تامین، از کیفیت و کاربردی بودن مدل ارائه شده می کاهد. در حقیقت به دلیل ارتباط تنگاتنگی که مسائل مورد بحث در زنجیره ی تامین دارند، لازم است تا این مباحث تا حد امکان در یک چارچوب یکپارچه نگریسته و برنامه ریزی شوند (سراجیه و همکاران، ۲۰۱۸). از این روی، در این تحقیق به مسئله ی موجودی، مسیریابی و مکان یابی به عنوان سه مسئله ی بسیار مهم در زنجیره ی تامین پرداخته می شود. موضوع مدنظر، درنظرگرفتن تصمیمات موجودی، مسیریابی، مکان¬یابی و تخصیص در یک مدل زنجیره¬تأمین سبز چند دوره ای چندمحصولی با در نظر گرفتن فسادپذیری محصولات، پوشش پشتیبان برای مراکز توزیع با در نظر گرفتن پوشش پشتیبان مراکز توزیعی و وابستگی زمانی مدت زمان حمل و نقل به ساعات شبانه روز می باشد.

علاوه بر هزینه¬های مرسوم موجود در زنجیره¬ی تأمین در این مطالعه به هزینه¬های متأثر از زنجیره بر محیط زیست نیز توجه شده است. نظر به این¬که فعالیت واحدهای صنعتی موجب ایجاد مسائل زیست محیطی نظیر آلایندگی، ایجاد زباله، تخریب محیط زیست و نظایر آن می شود، ضرورت در نظر گرفتن مباحث زیست محیطی در برنامه ریزی فعالیت ها به خوبی احساس می گردد (دکان چی و همکاران، ۲۰۲۰). از این روی، مباحث سبز بودن در زنجیره با در نظر گرفتن محدودیت هایی در مدل و همچنین در قالب تابع هدف در نظر گرفته شده و بدان توجه شده است.

همچنین، یکی از اهداف اصلی در طراحی هر شبکه زنجیره تامینی تامین رضایت مشتریان می باشد. یکی از مسائلی که موجب تامین هر چه بیشتر رضایت مشتریان می شود تامین به موقع و به اندازه ی نیازهای مشتریان می باشد. بدین منظور، در این تحقیق مراکزی به منظور پشتیبانی از مراکز توزیع در نظر گرفته می شوند تا در صورت وجود کمبود کالا یا در دسترس نبودن آن، کالای درخواستی مشتریان را بتوان از این مراکز دریافت و ارسال نمود تا بتوان رضایت مشتری را جلب نمود. به دلیل آن که احتمال بروز اختلال در تسهیلات توزیعی وجود دارد، محتمل است که در برخی موارد به علت خرابی تسهیلات توزیعی، تامین تقاضای مشتریان و خرده فروشان با اختلال مواجه شود. این امر می تواند منجر به ایجاد زیان های مستقیم و غیرمستقیم نظیر کاهش اعتبار شرکت و رویگردانی مشتری شود. به همین دلیل، لازم است تا تدابیری اندیشیده شود تا در صورت اختلال در تسهیلات توزیعی، فرآیند توزیع اقلام به درستی و مطابق با برنامه ی از پیش تعیین شده به انجام برسد. در این تحقیق، از سیستم پشتیبان برای مراکز توزیع به منظور کاستن از تاثیر خرابی های مراکز توزیعی استفاده می شود. در این راستا، بحث پوشش پشتیبان و کمک رسانی مراکز توزیع به یکدیگر در زمان وقوع اختلال در یک تسهیل مورد استفاده قرار می گیرد که این امر منجر به افزایش کارآیی عملیاتی سیستم توزیع، بهبود مدیریت و هماهنگی در سیستم توزیع می شود. در بعد عملیاتی و مدل سازی، بحث سیستم پشتیبان توزیع بدین صورت انجام می شود که پارامتر هزینه ی حمل کالاها از مرکز توزیع i به مرکز توزیع j مشخص می شود. با توجه به فاصله ی مراکز توزیعی از یکدیگر و همچنین هزینه های متناظر، در نهایت مدل تعیین می کند که چه مقدار کالا باید بین مراکز توزیع i و j رد و بدل شود. به عبارتی دیگر، مدل با توجه به احتمال اختلال در تسهیلات و همچنین فاصله ی بین مراکز توزیعی، برخی مراکز توزیعی را به عنوان پشتیبان یکدیگر در نظر می گیرد تا در صورت وقوع اختلال در یک تسهیل، مرکز توزیعی دیگر به کمک آن تسهیل آمده و کار توزیع را انجام دهد تا در فرآیند توزیع مشکلی ایجاد نشود.

لازم به ذکر است که تحقیقاتی در زمینه ی موضوع مورد بحث صورت پذیرفته است که در بخش مرور پیشینه ی تحقیق به تفصیل به آن ها پرداخته شده است. با وجود این، تحقیقات مذکور دارای برخی شکاف های تحقیقاتی می باشند که ضرورت انجام این تحقیق را نشان می دهد. مباحثی نظیر توجه صرف به بخشی از تصمیمات در زنجیره ی تامین، شاخص های مالی و هزینه ای و عدم توجه به مباحثی نظیر محیط زیست و همچنین غفلت از مسئله ی بسیار مهم پشتیبانی از تسهیلات توزیعی از جمله مسائلی هستند که تا حد زیادی در ادبیات موضوع مغفول مانده اند. لذا در نظر گرفتن آن ها می تواند تا حد زیادی نسبت به پر کردن شکاف های تحقیقاتی و نزدیک تر شدن مدل ارائه شده به شرایط دنیای واقعی کمک کند. لازم به ذکر است که تحقیقات مرتبط در ادبیات موضوع و شکاف های تحقیقاتی به تفصیل در بخش مربوطه ذکر خواهند شد.

ادامه ی این مقاله به شکل زیر برنامه ریزی شده است: در بخش دوم به مروری مختصر بر ادبیات موضوع پرداخته خواهد شد، بخش سوم به تشریح مدل تحقیق می پردازد. بخش چهارم به تبیین رویکردهای حل مسئله پرداخته است. بخش پنجم به یافته های عددی اختصاص داشته و بخش ششم مقاله را جمع بندی می نماید.

۲- مرور ادبیات تحقیق

از زمان توسعه ی نرم افزارهای محاسباتی قدرتمند، رشد قابل توجهی در موضوعات مربوط به مدل سازی ریاضی برای مسائل زنجیره ی تامین حاصل شده است. به خصوص در دهه ی گذشته ی میلادی، حجم قابل ملاحظه ای از مدل های برنامه ریزی ریاضی به تصمیمات رایج در زنجیره ی تامین پرداخته اند. در این میان، تصمیمات مربوط به مکانیابی، مسیریابی و موجودی در زمره ی مهم ترین این تصمیمات هستند. در این بخش، به تشریح برخی از مهم ترین و جدیدترین پژوهش هایی که حداقل به بررسی دو تا از این تصمیمات پرداخته اند می پردازیم.

وو و همکاران (۲۰۲۱)، در تحقیقی به ارائه یک رویکرد فراابتکاری ترکیبی برای مسئله مکانیابی- مسیریابی و موجودی با در نظر گرفتن پنجره‌های زمانی و موضوع مصرف سوخت پرداختند. در این راستا، یک مدل چنددوره‌ای برای این مسئله در نظر گرفته شده است که شامل تابع هدف کمینه‌سازی هزینه‌های زنجیره‌تامین می باشد. عوامل موثر در این هزینه‌ها، شامل هزینه‌های ثابت، هزینه‌های حمل‌ونقل، هزینه‌های مصرف سوخت، هزینه‌های موجودی و هزینه‌های تخطی از پنجره‌های زمانی در نظر گرفته شده است. به‌منظور حل مسائل عددی در ابعاد مختلف، یک رویکرد ژنتیک بهبودیافته با ماتریس سه بخشی ارائه شد.

ژو و همکاران (۲۰۲۰)، در تحقیقی به ارائه یک مدل استوار برای شبکه توزیع در یک زنجیره‌تامین مکانیابی- مسیریابی با در نظر گرفتن مسائل زیست‌محیطی پرداختند. مدل ارائه شده دارای تابع هدف کمینه سازی هزینه‌های موجود در شبکه، در شرایط سیاست‌های مربوط به تجارت کربن می‌باشد. به‌منظور مواجهه با عدم قطعیت موجود در پارامترهای مسئله، رویکرد بهینه‌سازی استوار برتسیماس و سیم مورد استفاده قرار گرفت.

دکان‌چی و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهش خود مسئله مکانیابی- مسیریابی با در نظر گرفتن فاکتورهای زیست‌محیطی را مورد بررسی قرار دادند. هدف، طراحی مدلی برای تعیین مکان بهینه تسهیلات شبکه و همین‌طور تعیین مسیر مناسب برای حرکت تجهیزات حمل‌ونقل در راستای کمینه‌سازی هزینه‌ها و همین‌طور کمینه‌سازی آلایندگی‌هایی است که از فعالیت تجهیزات موجود در زنجیره‌تامین ناشی می‌شود. برای حل مسئله، دو رویکرد ابتکاری طراحی شد که یافته‌های حاصله حاکی از کارآمدی مناسب این رویکردها برای حل مسائل عددی در اندازه‌های متنوع داشت.

ژن و همکاران (۲۰۱۹)، در تحقیقی یک زنجیره‌تامین تجاری با در نظر گرفتن عدم‌قطعیت و عوامل زیست‌محیطی ارائه کردند. در این راستا، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح دارای چند هدف، شامل حداقل‌سازی کربن خروجی و همین‌طور هزینه‌های عملیاتی در زنجیره ارائه کردند. در راستای مقابله با عدم‌قطعیت‌ها، یک رویکرد ترکیبی سناریویی و تصادفی مورد بهره‌برداری قرار گرفت و به‌منظور حل مسائل عددی، رویکرد آزادسازی لاگرانژ را مورد استفاده قرار دادند. در پایان این تحقیق، نتایج حاصله حاکی از عملکرد مناسب رویکرد حل داشت.

درویش و همکاران (۲۰۱۹)، در پژوهشی یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای مسئله دوسطحی مکانیابی- مسیریابی انعطاف‌پذیر ارائه نمودند. موضوع انعطاف‌پذیری در این پژوهش، در خصوص زمان انجام فعالیت‌ها و همین‌طور طراحی شبکه مدنظر قرار گرفت. در این راستا، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح به‌منظور حل مسائل در اندازه‌های متنوع و سپس برای حل مسائل عددی نیز، یک رویکرد حل دقیق ارائه شد. ژانگ و همکاران (۲۰۱۹)، در پژوهش خود یک مدل جدید به‌منظور حل مسئله مکانیابی- مسیریابی وسایل نقلیه الکتریکی در شرایط تصادفی بودن تقاضاها ارائه نمودند. از جمله مباحث کلیدی در این پژوهش، در نظر گرفتن موضوع سوخت الکتریکی در تجهیزات مورد استفاده بود. برای حل مسائل عددی در اندازه‌های متنوع، رویکرد همسایگی متغیر مورد بهره‌برداری قرار گرفت.

سیف الدین و همکاران (۲۰۱۸)، در پژوهشی یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای برنامه‌ریزی هم‌زمان مسائل مکانیابی- مسیریابی و موجودی در زنجیره‌تامین، با بهره‌گیری از رویکرد ترکیبی بهبود داده شده ژنتیک را مورد بررسی قرار دادند. در این راستا، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای کمینه‌سازی هزینه‌های زنجیره‌تامین توسعه یافت. با توجه به ساختار NP-Hard مدل مذکور، یک الگوریتم ژنتیک بهبود یافته برای حل مسائل عددی در اندازه‌های متنوع ارائه شد. یافته‌های عددی حاصله، حاکی از آن بود که در ابعاد زمانی و دقت نتایج به‌دست آمده، این رویکرد بسیار بهتر از الگوریتم ژنتیک معمولی عمل نموده است.

حبیبی و همکاران (۲۰۱۸)، در پژوهشی یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای مکانیابی- مسیریابی و موجودی برای مسئله توزیع سوخت‌های گیاهی ارائه کردند. تابع هدف مسئله کمینه سازی هزینه‌های شبکه زنجیره‌تامین است. همین‌طور، سیستم موجودی جایگزینی یک به یک مورد بهره‌برداری قرار گرفت. نظر به ساختار مسئله مذکور، سه رویکرد شبیه‌سازی تبرید، ژنتیک و جست‌وجوی تابو مورد بهره‌برداری قرار گرفت. مدل مذکور بر روی نمونه موردی در ایران پیاده سازی شد که یافته‌های حاصله نشان می‌دهد، مدل پیشنهادی کارایی مناسبی در رویکرد حل مسئله دارد.

جدول ۱خلاصه تحقیقات صورت گرفته در ادبیات موضوع را نشان می دهد.

جدول ۱. خلاصه ی تحقیقات صورت پذیرفته شده در ادبیات موضوع

نویسندگان	سبز	مکانیابی	مسیریابی	موجودی
وو و همکاران		✓	✓	✓
دکان چی	✓	✓	✓	
ژو و همکاران	✓	✓	✓	
ژن و همکاران	✓	✓	✓	
حسن اف[1]		✓		
درویش		✓	✓	
محمدی[2] و همکاران		✓		
ژانگ		✓	✓	
سیف‌الدین و همکاران		✓	✓	✓
ژن و همکاران		✓	✓	
ربانی و همکاران		✓	✓	
فرهم و همکاران		✓		✓
تحقیق حاضر	✓	✓	✓	✓

با وجود کلیه تحقیقات صورت گرفته در ادبیات موضوع، وجود برخی از شکاف‌ها و خلاهای موجود در مباحث بررسی‌شده، ضرورت انجام پژوهش‌های جامع‌تر در راستای بررسی دقیق‌تر موضوعات مربوطه را به وضوح نشان می‌دهد. برخی از این شکاف‌ها را می‌توان در موارد ذیل جست‌وجو نمود:

- نگاه جزیره‌ای و جداگانه به مباحث زنجیره‌تامین و عدم وجود یک نگرش منسجم و یکپارچه در اغلب تحقیقات
- توجه صرف به فاکتورهای کمی و عدم توجه به شاخص‌های کیفی در مدل سازی ریاضی
- عدم توجه هم‌زمان به شرایط دنیای واقعی نظیر محیط‌زیست، وابستگیزمانی و سیستم پشتیبان مراکز توزیعی در مدل‌سازی ریاضی در اغلب تحقیقات

از این روی، تحقیق حاضر با در نظرگرفتن کلیه ی فاکتورهای ذکر شده در جدول ۱، تلاش شده است تا تحقیقی جامع تر و در نتیجه کاربردی تر نسبت به سایر تحقیقات انجام شده در ادبیات موضوع ارائه نماید.

۳- مدل سازی ریاضی

در این بخش در نظر داریم تا نسبت به مدل سازی ریاضی مسئله ی تحقیق اقدام نمائیم. از این روی، در ابتدا نسبت به تشریح دقیق مسئله ی تحقیق اقدام می گردد و سپس اجزای مدل تشریح و در نهایت مدل ریاضی مسئله ارائه می شود.

تشریح مسئله

[1] Hasanov
[2] Mohammadi

در این مدل به تعداد I , J تامین کننده و محل دپو وجود دارند. ابتدا مکان های تامین کننده بر اساس مقدار مطلوب U از بین J تامین کننده انتخاب می شوند. سپس هر ماشین که وظیفه حمل محصولات p را دارند بر اساس توابع هدف ، میزان فساد پذیری و زمان بین گره ها مسیر هایی را از بین این گره های انتخاب شده عبور می کنند و محصولات مورد نظر خود را به محل دپوی I می رسانند. در آنجا براساس مقداری که به آن دپو وارد شد مقداری موجودی و میزان کمبود تعیین می شوند.

مفروضات در نظر گرفته شده در مدل به شرح ذیل می باشند:

۱- ماشین ها از مرکز دپوی معلوم I شروع و پس از عبور از گره ها به همان محل بر می گردند

۲- زمان فساد پذیری هر کالا مشخص است

۳- کلیه ی پارامترها به صورت قطعی در نظر گرفته شده اند

۴- تعداد گره های نامزد(گره های تامین کننده) جهت گرفتن محصولات مشخص است

۵- مقدار انتخاب گره های مطلوب (تامین کننده) از بین گره های نامزد مشخص است

۶- زمان بین گره ها مشخص می باشد

۷- هر ماشین فقط یک محصول را می تواند جابجا کند

۸ – زمان مورد نیاز برای حمل و نقل با توجه به بازه ی زمانی در طول روز متفاوت می باشد

نحوه ی در نظر گرفتن وابستگی زمانی

یکی از موضوعات مهم در تحقیق حاضر وابسته به زمان بودن زمان حمل و نقل به دلیل وجود ترافیک می باشد. به طور کلی در مسائل مسیریابی وسائط نقلیه فرضیات و رویکردهای مختلفی جهت مواجهه با محدودیت‌های مختلف وجود دارد. یکی از محدودیت‌های موجود در این مسأله، محدودیت‌های ترافیکی می‌باشد. محدودیتی که مبنای آن ثابت نبودن زمان سفر بین دو نقطه به دلیل وجود ترافیک در مسأله می‌باشد. به همین دلیل محققان حوزه مسأله مسیریابی وسائط نقلیه از رویکرد مواجهه با محدودیت‌های ترافیکی تحت عنوان رویکرد وابستگی زمانی یاد می‌کنند. چرا که زمان حرکت بین دو نقطه توسط وسیله نقلیه به مقطع زمانی (مثلا صبح، ظهر یا شب) تردد آن وسیله نقلیه بستگی دارد که با توجه به متفاوت بودن حجم تردد وسایل نقلیه در زمان‌های مختلف، سرعت وسایل نقلیه نیز متفاوت بوده و در نتیجه زمان رسیدن وسیله نقلیه به مقطع زمانی تردد وسیله نقلیه وابسته خواهد بود.

نحوه ی در نظر گرفتن بحث وابستگی زمانی در این تحقیق در ادامه تشریح خواهد شد:

اندیس m به عنوان شمارنده بازه مورد نظر روزانه در نظر گرفته می شود. فرض شود که روز به ۵ بازه تقسیم می شود. بنابراین :

$$m = \{1,2,3,4,5\}$$

در این راستا m = 1 بازه ی ۸ تا ۱۰ صبح، m = 2 بازه ی ۱۰ تا ۱۳ بعد از ظهر و غیره به همین صورت در نظر گرفته می شوند. پس برای اینکه بازه مورد نظر به اندیس m مرتبط شود پارمتر دیگری به نام تعریف می شود یعنی برای گره j = ۲ با به صورت زیر داریم:

$$m = 1, j = 2 \rightarrow [E_{02}E_{12}) = [810)$$
$$m = 2, j = 2 \rightarrow [E_{12}E_{22}) = [1012)$$
$$m = 3, j = 2 \rightarrow [E_{22}E_{32}) = [1214)$$
$$m = 4, j = 2 \rightarrow [E_{32}E_{42}) = [1416)$$
$$m = 5, j = 2 \rightarrow [E_{42}E_{52}) = [1618)$$

۴- رویکرد حل مسائل

نظر به ساختار NP-Hard مدل ارائه شده در این تحقیق، برای حل مسائل عددی در ابعاد مختلف لازم است تا از رویکردهای فراابتکاری یا متاهیوریستیک استفاده شود. دلیل این امر آن است که حل مدل تحقیق به وسیله ی نرم افزارهای تجاری نظیر GAMS و Lingo در ابعاد بزرگ بسیار زمان بر و در برخی مواقع غیرممکن می باشد و صرفا مسائلی در ابعاد کوچک را می توان در مدت زمانی مناسب با این نرم افزارهای تجاری حل کرد. از این روی، در این بخش نحوه ی آماده سازی این الگوریتم ها تشریح می شود و پس از آن و در بخش های بعدی مسائل عددی در اندازه های مختلف با این الگوریتم ها حل می شوند.

دو الگوریتم فراابتکاری مورد استفاده در این تحقیق شامل NSGA II و PESA II می باشند که در این بخش به تشریح آن ها می پردازیم. همچنین، برای حل مسائل عددی در ابعاد کوچک می توان حل دقیق را انجام داد. با توجه به چندهدفه بودن مدل ارائه شده در این تحقیق، از رویکرد محدودیت اپسیلون به منظور حل مسائل عددی در ابعاد کوچک استفاده می شود که به تشریح این روش نیز پرداخته می شود.

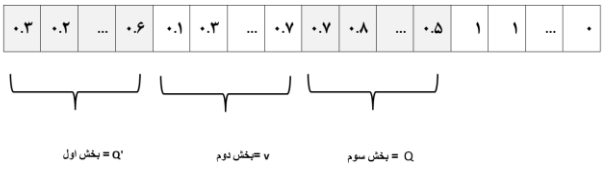
۱.۴. نحوه ی آماده سازی الگوریتم ها

یکی از گام های مهم به منظور بهره گیری از الگوریتم های فراابتکاری، آماده سازی آن ها و تطبیق آن ها با شرایط مسئله ای خاص می باشد. از این روی، در این بخش نحوه ی آماده نمودن و طراحی الگوریتم برای حل مسائل عددی تشریح می شوند تا زمینه برای حل مسائل عددی و تحلیل های مرتبط در ادامه فراهم شود.

۴-۱-۱ طراحی کروموزوم ها (جواب های اولیه)

در این الگوریتم، نمایش ژن ها در قالب عددی بین ۰ تا ۱ صورت می گیرد. ساختار بدین شکل است که اعدادی مابین اعداد ذکر شده تولید و به عنوان کروموزوم در نظر گرفته می شوند.

شکل ۱ شیوه ی نشان دادن کروموزوم در الگوریتم های مورد نظر برای حل مسئله را نشان می دهد.



شکل ۱. شیوه ی نشان دادن کروموزوم در الگوریتم های حل مسئله

ژن های بخش اول: از این ژن ها جهت تعیین متغیر استفاده می شود به این صورت که:

فرضا ۲ عدد تصادفی بین ۰ تا ۱ تولید و سپس با دستور sort مرتب می شوند یعنی از بزرگ به کوچک نوشته می شوند آنگاه بر اساس عناصر مرتب شده ، اندیس های مربوط به هرکدام از این درایه ها را خارج می کنیم مثلا:

اگر ژن های مربوطه به صورت a=[۰.۱ ۰.۳] باشد آنگاه بعد از عملیات sort به صورت a'=[۰.۳ ۰.۱] در آمده سپس درایه مربوط به a' به صورت b=[۲ ۱] می شود که ما برای ادامه ی کار به b احتیاج داریم.

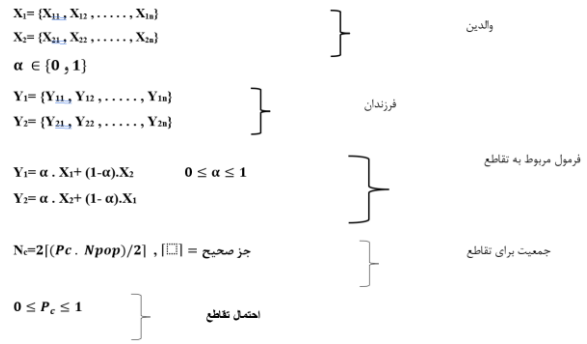
ژن های بخش دوم: از این ژن ها همانند ژن های بخش قبل با استفاده از متغیر بدست آمده از بخش قبلی یعنی جهت تعیین متغیر استفاده می شود.

ژن های بخش سوم: از این ژن ها به علاوه ی متغیرهای قبلی و بعضا" ژن های قبلی برای تعیین توالی و مسیر هر ماشین یعنی استفاده می شود.

ژن های بخش چهارم: از این ژن ها جهت تعیین متغیرهای مربوط به انتخاب مراکز پشتیبان، نحوه ی تخصیص ماشین ها به این مراکز و نحوه ی ارتباط مراکز پشتیبان با مراکز کمبود استفاده می شود.

۴-۱-۲ عملگر ترکیب مجدد (تقاطع)

در الگوریتم ژنتیک، نسل ها در نتیجه ی مرکب شدن اعضای جمعیت با هم دیگر دارای اعضای تازه ای می گردند که ترکیبی از آیتم ها و مشخصات والدین خود را دارا می باشند. فرآیند مورد نظر توسط عملگر ترکیب مجدد و یا تقاطع ایجاد می شود. رویکردهای متنوعی برای این عملگر وجود دارد اما رویکرد مورد نظر در این تحقیق رویکرد تقاطع یکنواخت است. در این رویکرد، یک ژن از هر دو والد به طور مجزا از سایر ژن ها، احتمالی مساوی به منظور حضور در کروموزوم یک فرزند را دارند. از جمله مهم ترین محسنات این رویکرد نسبت به سایر رویکردها، تنوع بخشی بالاتر بعد از ترکیب می باشد.



به عنوان نمونه می توان مسئله ی زیر را در نظر گرفت:

α=0.2

X1 = [5 6 7] , X2 = [۴ ۲ ۸]

Y1 = 0.2×[5 6 7] +0.8×[8 2 4] = [۴.۶, ۲.۸, ۷.۴]

Y2 = 0.8×[5 6 7] +0.2×[8 2 4] = [۶.۴, ۵.۲ ,۵.۶]

۴-۱-۳ شیوه ی جهش ژن ها

ژن هایی که باید جهش یابند بر مبنای پارامترهای احتمال جهش و تعداد ژن ها به دست می آیند. ژن ها یی را که می خواهیم بر روی آن ها جهش انجام دهیم بر اساس پارامتر های احتمال جهش و تعداد ژن ها و طبق مثال زیر بدست می آید.

تعداد ژن هایی که باید جهش پیدا کنند از طریق زیر مشخص می شوند:

شانس (احتمال) جهش * اندازه ی ژن ها =nmu

به عنوان نمونه ژن های هفت و نه انتخاب می شوند.

عدد ۰.۱ در تفاضل بیشینه ی مقدار از کمینه ی مقدار ژن ها ضرب می نمائیم:

sigma=0.1*(VarMax-VarMin)=0.1(1-0)=0.1

برای ژن های منتخب، اعداد تصادفی بین ۰ و ۱ ایجاد و آن را در مقدار به دست آمده از مرحله ی قبل ضرب می نمائیم:

y(j)=y(j)+sigma*(randn)

به عنوان نمونه برای ژن شماره ی ۹ داریم:

y(9)=y(9)+0.1*(۰.۰۵۹۷)

در پایان کار، چنان چه ژن های جهش پیدا کرده از حدود معین شده تجاوز کردند، اصلاح می گردند. بدین معنا که اگر بیشتر از حد بالا بودند کران بالا و اگر کمتر از کران پایین بودند، کران پایین قرار می گیرند.

شبه کد الگوریتم ها به شکل ذیل می باشند:

شبه کد الگوریتم NSGAII :

شروع:

قدم ۱: تعیین جمعیت اولیه (npop)، نرخ تقاطع(β)، نرخ جهش (γ) و تعداد تکرار

قدم ۲: تولید تصادفی جمعیت اولیه

قدم۳:مرتب کنید جمعیت ها را براساس الگوریتم مرتب سازی غیر مغلوب (non-dominate sorting) و فاصله ازدحام(crowding distance) را برای هر یک از آن ها محاسبه کنید.

قدم ۴: انجام بدهید عمب تقاطع و جهش بر روی پدر ومادر جهت تولید فرزندان

قدم۵: مرتب کنید پدر و مادر و فرزندان براساس الگوریتم مرتب سازی غیر مغلوب (non-dominate sorting) و محاسبه کنید فاصله ازدحام(crowding distance) هزیک ار آن ها را

قدم۶: انتخاب کنید بهترین جمعیت از جمعیت های موجود را از لحاظ فاصله ازدحام و رنک((front همچنین جمعیت های جدید را تولید کنید.

قدم ۷: شرایط پایانی را در نظر بگیرید(حداکثر تکرار) در غیر اینصورت به قدم ۳ برگردید.

پایان

شبه کد الگوریتم PESAII:

تولید جمعیت اولیه p

۱. ارزیابی کنید هر یک از این جمعیت ها را

۲. ایجاد کنید یک آرشیو خالی خارجی به نام EA

تکرار کنید

۳. اضافه کنید جمعیت غیرمغلوب به آرشیو EA

۴. پاک کنید همه جمعیت های مغلوب شده از EA

تکرار کنید

۵. انتخاب جمعیت ها از EA براساس هایپر گرید ها

۶. یک جمعیت جدید بر اساس تقاطع و جهش ایجاد کنید

۷. اضافه کنید آن جمعیت را به جمعیت جدید

ادامه دهید تا به تعداد جمعیت جهش ها وتقاطع وکل جمعیت مورد نظر برسید

ادامه دهید تا به تعداد حداکثر تکرار ها برسید

۴-۲ شاخص ارزیابی عملکرد الگوریتم

به منظور ارزیابی توانایی الگوریتم ها در حل مسائل چندهدفه از روش ها و شاخص های متنوعی استفاده می شود. در این تحقیق از شاخص فاصله از نقطه ایده آل استفاده می شود که در ادامه به معرفی آن می پردازیم.

این شاخص مقدار نزدیکی مجموعه ی پارتوی به دست آمده به وسیله ی الگوریتم را نسبت به مرز کارآیی (پارتو) محاسبه می نماید. از آن جایی که دست یابی به لبه ی پارتو برای خیلی از مسائل ممکن نیست، فاصله ی بین نقاط پارتو و نقطه ایده آل که همانا (۰ و ۰) می باشد را محاسبه می نمایند. این شاخص از طریق روابط ذیل به دست می آید:

$$MID=(\sum_{i=1}^{n} c_i)/n$$
$$c_i=\sqrt{(f_{1i})^2+(f_{2i})^2+\cdots}$$

در این رابطه n تعداد پاسخ های ناچیره (نامغلوب) حاصل شده و $i=1,2,\ldots,n$.

باتوجه به شاخص فاصله از نقطه ی ایده آل، هر چقدر که مقدار MID برای یک الگوریتم بیشتر باشد نشان دهنده ی این است که الگوریتم نسبت به مرز پارتو فاصله ی بیشتری دارد.

۴-۳ تنظیم پارامترهای الگوریتم

نحوه ی عملکرد الگوریتم های فراابتکاری به شدت وابسته به مقدار پارامترها (فاکتورهای) ذاتی الگوریتم می باشد. به همین دلیل، رویکردهای فراوانی برای تنظیم پارامترها در الگوریتم های فراابتکاری در راستای داشتن یک روش حل قدرتمند ارائه شده است. در این بخش از روش تاگوچی به علت خصوصیات منحصر به فردی که دارد نظیر کاهش قابل ملاحظه ی تعداد آزمایش ها و همچنین نگهداری اطلاعات مورد نیاز استفاده می شود (تاگوچی، ۱۹۸۹). دارا بودن آرایه های عمود بر هم در این رویکرد آن را قادر می کند تا متغیرهای تصمیم متعددی را با بهره گیری از تعداد اندکی از آزمایش ها لحاظ نماید.

حاجی پور (۲۰۱۴) در تحقیقی به این نتیجه رسید که رویکرد تاگوچی باعث تنظیم بهینه ی سطوح فاکتورهای مختلف الگوریتم بر اساس تحلیل های آماری و تحلیل حساسیت ها می گردد. خروجی های کسب شده برای هر یک از مجموعه فاکتورها به صورت مقدار میانگین و واریانس ارکان الگوریتم ارائه می شود. مقادیر میانگین و واریانس در انتها ادغام و شاخصی واحد به نام نرخ سیگنان نسبت به نویز و یا S/N ارائه می شود. در این جا، سیگنال و نویز بیان گر مقادیر مناسب (متغیرهای پاسخ) و نامناسب (انحراف استاندارد) هستند.

بدون ایجاد خدشه ای در اصل روش، یک نسخه ی تاگوچی چندهدفه در رابطه ی شماره ۳۶ در راستای محابه ی مقدار هدف y که متغیر کیفیت است ارائه شده به طوری که y_i و n نشانگر ارزش پاسخ i امین تست و تعداد آرایه های عمود بر هم هستند. افزون بر این، مقادیر پاسخ خای آزمایشات به وسیله ی رابطه ی شماره ۳۷ محاسبه می شوند. مهم ترین خاصیت استفاده از معیار ۳۷ این است که این شاخص به طور هم زمان مباحث واگرا و همگرا بودن را تحت پوشش خود قرار می دهد.

$$S/N = -10 \log [(\sum_{i=1}^{n} y_i^2)/n] \quad (۳۶)$$

$$y_i = MID/DM;\ i = 1, 2,\ldots, n \quad (۳۷)$$

به منظور داشتن الگوریتمی قدرتمندتر و تخصصی تر، تنظیم پارامترها بر مبنای اندازه ی مسئله انجام پذیرفت. در این راستا، مسائل در سه گروه شامل مسائل کوچک، متوسط و بزرگ طبقه بندی شدند. مسائلی با ده گره به عنوان مسائل در ابعاد کوچک، مسائلی با حداکثر بیست گره به عنوان مسائل ابعاد متوسط و مسائل با بیشتر از بیست گره به عنوان مسائل در ابعاد بزرگ دسته بندی می شود. جدول ۲ آرایه های طراحی شده برای الگوریتم NSGA II است. هر آرایی پنج بار برای محاسبه ی نرخ S/N تکرار گشته است.

پنج فاکتور جمعیت اولیه، تعداد تکرار، نرخ تقاطع، نرخ جهش و نرخ تولید مجدد به عنوان فاکتورهای اصلی در الگوریتم مدنظر قرار گرفته اند:

جدول ۲. آرایه ی در نظر گرفته شده برای الگوریتم NSGA II

آزمایش	A	B	C	D	E
۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۱	۱	۱	۲
۳	۱	۱	۱	۱	۳
۴	۱	۲	۲	۲	۱
۵	۱	۲	۲	۲	۲
۶	۱	۲	۲	۲	۲
۷	۱	۳	۳	۲	۱
۸	۱	۳	۲	۳	۱
۹	۱	۳	۳	۳	۳
۱۰	۲	۱	۲	۳	۱
۱۱	۲	۱	۳	۳	۲
۱۲	۱	۲	۱	۳	۳
۱۳	۲	۲	۳	۱	۱
۱۴	۲	۲	۳	۱	۲
۱۵	۱	۲	۳	۱	۲
۱۶	۲	۳	۱	۲	۱
۱۷	۲	۳	۱	۲	۲
۱۸	۲	۳	۱	۱	۳
۱۹	۲	۱	۳	۲	۱
۲۰	۳	۱	۳	۲	۲
۲۱	۲	۱	۳	۱	۳
۲۲	۳	۲	۱	۳	۲
۲۳	۲	۱	۱	۳	۲
۲۴	۳	۲	۱	۲	۳
۲۵	۳	۳	۲	۱	۱
۲۶	۲	۳	۲	۱	۲
۲۷	۱	۲	۲	۲	۱

جدول ۳. پارامترها و مقادیر بهینه ی آن ها در NSGA II

فاکتور	نماد	مسائل کوچک	مسائل متوسط	مسائل بزرگ
اندازه ی جمعیت	A	۱۱۲	۱۳۳	۱۴۷
تعداد تکرار	B	۱۴۲	۱۴۲	۱۷۳
نرخ تقاطع	C	۷۷٪	۶۶٪	۶۶٪
نرخ بازتولید	D	۳٪	۵٪	۷٪
نرخ جهش	E	۴۶٪	۴۸٪	۵۲٪

پارامترهای الگوریتم و سطوح بهینه در جدول ۳ نمایش داده شده است. همان گونه که در جدول ۳ مشاهده می شود، اندازه ی جمعیت بهینه برای مسائل کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب ۱۱۲، ۱۳۳ و ۱۴۸ می باشد. همچنین، تعداد تکرار بهینه برای مسائل کوچک، متوسط و بزرگ نیز به ترتیب ۱۴۰، ۱۴۰ و ۱۷۰ می باشد.

۵- یافته های عددی

پس از آماده سازی الگوریتم ها و تنظیم پارامترها، اکنون زمینه برای انجام مسائل عددی فراهم است. در این بخش به تبیین یافته های حاصل از مسائل عددی در اندازه های مختلف می پردازیم. در این راستا، سه دسته مسائل عددی در ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ تعریف شده و سپس با استفاده از رویکردهای طراحی شده حل می شوند. مسائل عددی در ابعاد کوچک افزون بر الگوریتم های فراابتکاری با استفاده از رویکرد محدودیت اپسیلون نیز حل می شوند.

۵-۱ مسائل کوچک

ابعاد مسائل عددی در ابعاد کوچک به شرح جدول ۴ هستند:

جدول ۴. ابعاد مسائل عددی کوچک

شماره مسئله	اندازه مجموعه ها					
	Q	Q'	P	V	T	u_t
۱	۲	۴	۲	۲	۱	۳
۲	۲	۴	۲	۲	۲	۳
۳	۲	۴	۲	۲	۳	۴

همچنین، در کلیه ی مسائل عددی، مقادیر پارامترها مطابق با جدول ۵ تولید می شوند.

جدول ۵. توزیع های تصادفی به منظور ایجاد مسائل عددی در ابعاد مختلف

پارامتر ها	توضیحات	مقادیر
λ_{pvt}	میزان آلایندگی محیط زیست (میزان بار/دود خروجی)	uniform(0.5,0.9)
Hd_{pvt}	هزینه فساد پذیری محصول p در دوره t	round(uniform(25,46))
C_{ijvt}	هزینه انتقال کالای p از نود به به نود با ماشین v در دوره t	round(uniform(3,6))
C_{kmjvt}	هزینه انتقال کالای p از مرکز پشتیبان k به نقطه ی j با ماشین v در بازه زمانی m دوره t	round(uniform(4,7))
C_{imkvt}	هزینه انتقال کالای p از نود i به مرکز پشتیبان k با ماشین v در بازه زمانی m دوره t	round(uniform(3,5))
DU_{ipvt}	زمان سر رسید محصول p با ماشین v در دوره t به گره i	round(uniform(10,20));
k_{pt}	زمان فساد پذیری محصول p در دوره t	round(uniform(14,20))
dt_{ijvt}	فاصله زمانی انتقال کالای p از گره به به گره با ماشینv	round(uniform(5,6))
		round(uniform(12,20))
		10000
		round(uniform(20,30))
		round(uniform(100,200))
		round(uniform(15,26))
cc_{jt}	هزینه انتخاب گره j ام در دوره t	
M	عدد خیلی بزرگ	
S_{pjt}	مقدار محصول p موجود در گره j ام در دوره t	
Hb_{ipt}	هزینه کمبود محصول p در گره i (محل دپوی) در دوره t	
HI_{ipt}	هزینه نگهداری محصول p در گره i(محل دپوی) در دوره t	

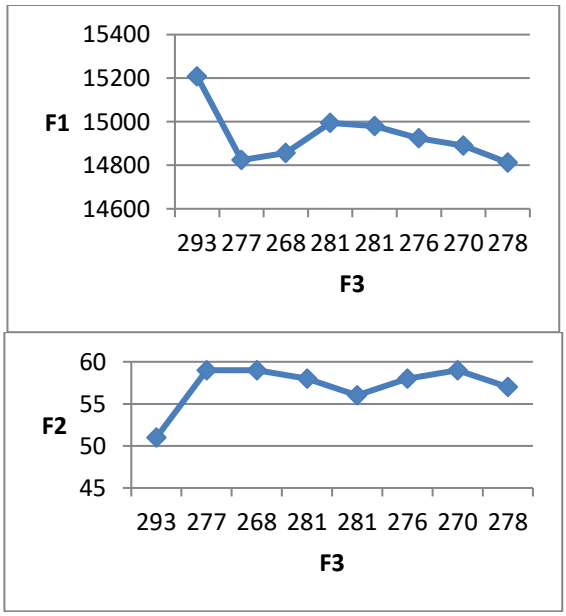
جدول ۴-۵ نتایج حاصل از حل مسائل عددی در ابعاد کوچک را نشان می دهد.

جدول ۶ نتایج حاصل از حل مسائل عددی در ابعاد کوچک

شماره مثال ها	MID			زمان حل		
	رویکرد فراابتکاری NSGA II	رویکرد فراابتکاری PESAII	رویکرد ریاضی (محدودیت اپسیلون)	رویکرد فراابتکاری NSGA II	رویکرد فراابتکاری PESAII	رویکرد ریاضی (محدودیت اپسیلون)
۱	2056	2136	1981	56.2	45.6	10.2
۲	14769.87	14845	14166	88.2	78.1	12.04
۳	34087	34128	33019	99.06	59.1	46.2

جدول ۷ نقاط کارآ برای مسئله ی شماره ی ۲

شماره نقطه در مرز کارآیی	توابع هدف		
	f1	f2	f3
1	15208	51	293
2	14824	59	277
3	14856	59	268
4	14995	58	281
5	14980	56	281
6	14924	58	276
7	14890	59	270
8	14812	57	278

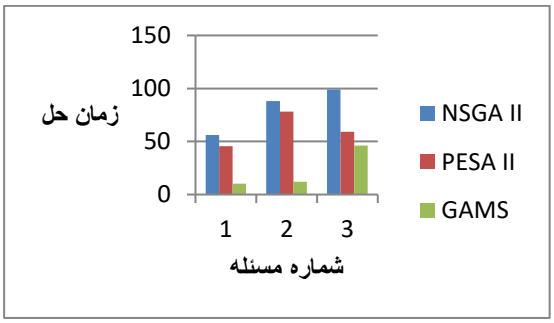


شکل ۲ نمودار پارتو برای مسئله ی شماره ۲

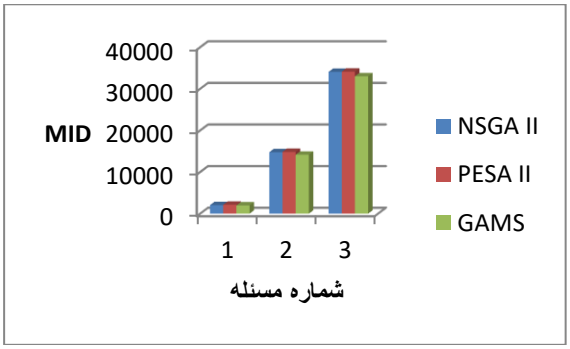
حال مسائل عددی با استفاده از رویکردهای معرفی شده حل می شوند و با استفاده از شاخص فاصله از نقطه ی ایده آل یا MID مورد بررسی قرار می گیرند. کلیه ی محاسبات بر روی یک رایانه ی شخصی با سیستم عامل Windows 8 با یک پردازنده ی ۵ هسته ای (2.5 GHz) و 5 GB حافظه انجام می پذیرد. نرم افزار مورد استفاده MATLAB نسخه ی R2016a بوده است.

با توجه به چندهدفه بودن مدل تحقیق، مسائل عددی طراحی شده دارای مقادیر تابع هدف یکتایی نمی باشند، بلکه مجموعه از از مقادیر متناظر با اهداف مسئله مرز پارتو (کارآیی) را تشکیل می دهند. به عنوان نمونه، ۸ نقطه ی کارآ برای مسئله ی شماره ی ۲ در قالب جدول ۷ و شکل ۲ ملاحظه می شود. لازم به ذکر است که در این جدول و شکل، f1 تا f3 به ترتیب توابع هدف شماره ۱ تا ۳ می باشند.

شکل های ۳ و ۴ به مقایسه ی رویکردهای حل به ترتیب از منظر زمان حل و شاخص MID می پردازد.



شکل ۳ مقایسه ی الگوریتم های حل در حل مسائل کوچک عددی از منظر زمان حل



شکل ۴ مقایسه ی الگوریتم های حل در حل مسائل کوچک عددی از منظر شاخص MID

همان گونه که ملاحظه می شود، در مسائل عددی در ابعاد کوچک از نظر زمان حل، الگوریتم PESA II عملکرد بهتری را از خود به نمایش گذارده و زمان حل کمتری نسبت به الگوریتم NSGA II دارد.

همچنین، در این دسته مسائل، الگوریتم NSGA II دارای مقادیر کمتر MID نسبت به الگوریتم PESA II می باشد و با توجه به این که هر چقدر این شاخص مقدار کمتری داشته باشد بهتر است، این مسئله نشان دهنده ی این است که در ابعاد کوچک الگوریتم NSGA II عملکردی بهتر و نزدیک تر به مقدار بهینه را ارائه می نماید.

۲-۵ مسائل متوسط و بزرگ

جدول ۸ مشخصات مسائل عددی در ابعاد متوسط و بزرگ را نشان می دهد.

جدول ۸ مشخصات مسائل عددی در ابعاد متوسط و بزرگ

شماره مثال ها	اندازه مجموعه ها					
	Q	Q'	P	V	T	u_t
۱	3	5	3	3	3	5
۲	4	6	3	3	4	5
۳	4	7	4	4	5	5
۴	5	7	4	5	6	5
۵	5	8	5	5	7	5
۶	6	8	5	5	8	6
۷	7	10	6	7	12	7

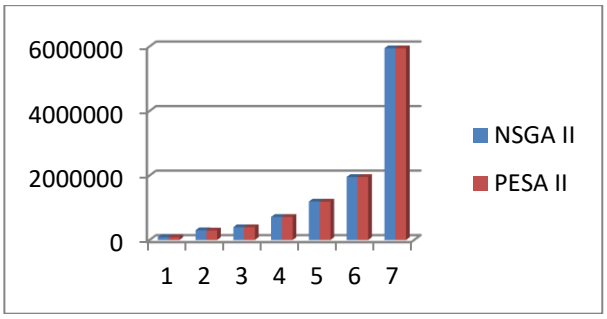
با توجه به ساختار NP-Hard مسئله ی تحقیق، حل مسائل عددی در ابعاد متوسط و بزرگ با استفاده از نرم افزار تجاری نظیر GAMS در مدت زمان منطقی مقدور نمی باشد و لذا صرفا به حل مسائل با دو الگوریتم فراابتکاری می پردازیم.

جدول ۹ نتایج حاصل از حل مسائل عددی در ابعاد متوسط و بزرگ با استفاده از الگوریتم های فراابتکاری را نشان می دهد.

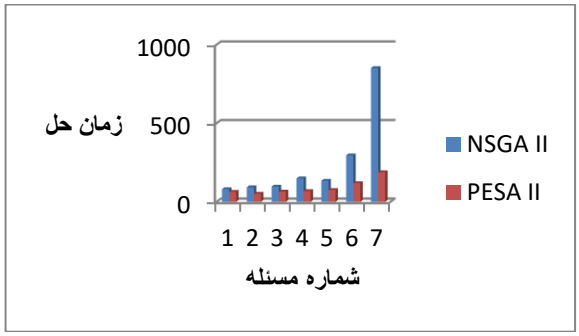
جدول ۹ نتایج حاصل از حل مسائل عددی در ابعاد متوسط و بزرگ

شماره مثال ها	شاخص MID		زمان (ثانیه)	
	NSGAII	PESAII	NSGAII	PESAII
1	89620	89256	80.2	63.13
2	302612	296104	92.25	51.05
3	397109	395310	96.45	64.66
4	714207	713218	149.07	68.2
5	1190008	1189650	133.5	75.06
6	1952018	1951550	295.13	118.5
7	5942018	5941815	851.3	188.2

شکل های ۵ و ۶ به ترتیب به مقایسه ی رویکردهای حل از منظر زمان و میزان فاصله از مرز پارتو می پردازند.



شکل ۵ مقایسه ی الگوریتم های فراابتکاری از منظر نزدیکی به مرز پارتو



شکل ۶ مقایسه ی الگوریتم های فراابتکاری از منظر زمان حل

همان گونه که ملاحظه می شود، الگوریتم PESA II هم از نظر زمان حل و هم از نظر نزدیکی به جواب بهینه عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک چندهدفه دارد. به عبارتی دیگر، هر چقدر ابعاد مسئله بزرگ تر می شود، برتری PESA II هم از نظر زمان حل و هم از نظر نزدیکی به جواب بهینه قابل توجه تر می شود. از این روی، برای حل مسائل عددی در ابعاد بزرگ و دنیای واقعی، استفاده از این الگوریتم به الگوریتم ژنتیک چندهدفه ترجیح داده می شود. البته از منظر میزان فاصله از نقطه ایده آل، تفاوت بین جواب های حاصله از این دو الگوریتم چندان قابل توجه نیست، ولی از منظر زمان حل، تفاوت معناداری بین عملکرد این دو وجود دارد.

همچنین، ملاحظه می شود که هر دو الگوریتم توانسته اند مسائلی حتی در ابعاد بزرگ را در مدت زمانی کمتر از ۵ دقیقه حل نمایند. از این روی، رویکردهای حل ارائه شده می توانند به منظور حل مسائل عددی در اندازه های دنیای واقعی نیز به کار گرفته شوند.

۳-۵ بررسی تاثیر وجود سیستم پشتیبان توزیع

یکی از مسائل مهم در نظر گرفته شده در این تحقیق، در نظر گرفتن سیستم پشتیبان توزیع بود. همان طور که پیشتر ذکر شد، فلسفه ی وجودی سیستم پشتیبان توزیع آن است که در صورت کمبود کالا یا در دسترس نبودن آن، کالای درخواستی مشتریان را بتوان از این مراکز دریافت و ارسال نمود تا بتوان رضایت مشتری را جلب نمود. حال در این بخش به بررسی تاثیر وجود سیستم پشتیبان توزیع بر روی توابع هدف حاصله از مدل پرداخته می شود. بدین منظور، مدل در شرایط فقدان سیستم پشتیبان توزیع طراحی شده و مجددا محاسبات برای سه مسئله ی عددی کوچک انجام شد. به منظور وجود امکان مقایسه ی بین نتایج، مقدار α در رویکرد حل محدودیت اپسیلون برابر با ۰.۵ در نظر گرفته شد تا به یک نقطه ی واحد دست یافته شود تا بتوان به راحتی نتایج حاصل از این دو مدل را با یکدیگر مقایسه نمود.

جدول ۱۰، توابع هدف سه گانه برای سه مسئله ی اول را در شرایط وجود و عدم وجود سیستم پشتیبان توزیع به نمایش در می آورد.

جدول ۱۰ توابع هدف در شرایط وجود یا عدم وجود سیستم پشتیبان توزیع به ازای α = ۰.۵

شماره نقطه در مرز کارآیی	توابع هدف			توابع هدف		
	f1	f2	f3	f1	f2	f3
1	13818	49	250	13586	59	251
2	14804	57	281	14608	66	279
3	15266	63	295	15004	75	296

همان گونه که از نتایج به دست آمده در جدول ۱۰ مشخص است، وجود سیستم پشتیبان توزیع با این که منجر به افزایش نسبی در هزینه های زنجیره ی تامین می شود، تاثیر قابل ملاحظه ای بر روی کاهش زمان تاخیرات و همچنین زودتر انجام شدن حمل و نقل های مورد نیاز در زنجیره ی تامین خواهد شد. این مسئله می تواند منجر به کاهش قابل ملاحظه ی تاخیرها و در نتیجه افزایش رضایت مشتریان شود. این امر نشان دهنده ی اهمیت طراحی و وجود یک سیستم پشتیبان قدرتمند در زنجیره ی تامین به منظور جلوگیری از تاخیر، بهبود عملکرد زنجیره و در نتیجه جلب رضایت مشتریان می باشد. با وجود این مزیت ها، در ادبیات موضوع مسئله ی سیستم پشتیبان توزیع تا حد زیادی مغفول مانده و این مسئله بیشتر در زنجیره های تامین امداد و نجات مدنظر قرار گرفته است. این در حالی است که افزون بر زنجیره های تامین امداد و نجات، در زنجیره های تامین تجاری نظیر زنجیره تامین تحقیق حاضر نیز می توان این مکانیزم را در نظر گرفت و موجبات ارتقای شاخص های عملکردی زنجیره تامین را فراهم نمود.

نتیجه گیری

تحقیق حاضر به دنبال مدل سازی حداقل تاخیر مسئله ی مکانیابی – مسیریابی – مدیریت موجودی مواد چندمحصولی فسادپذیر وابسته به زمان با در نظر گرفتن پوشش مراکز توزیع بود. در این مدل با فرض تعدادی تامین کننده و محل دپو، ابتدا مکان های تامین کننده بر اساس مقدار مطلوب از بین تعدادی تامین کننده انتخاب می شدند. سپس هر ماشین که وظیفه حمل محصولات را داشت بر اساس توابع هدف ، میزان فساد پذیری و زمان بین گره ها مسیر هایی را از بین این گره های انتخاب شده عبور می کنند و محصولات مورد نظر خود را به محل دپوی مورد نظر می رسانند. در آنجا براساس مقداری که به آن دپو وارد شد مقداری موجودی و میزان کمبود تعیین می شوند. در این تحقیق تقاضا به صورت فازی مثلثی و با نرخ فسادپذیری مشخص مدنظر قرار گرفت. مدل از نوع چند دوره ای بوده و دارای سه تابع هدف اصلی شامل حداقل سازی کل هزینه های زنجیره ی تامین، حداقل کردن زمان ها در شبکه و همچنین حداقل سازی میزان آلایندگی ناشی از فعالیت های زنجیره بود. از جمله نکات قابل توجه در مدل در نظر گرفتن بحث وابستگی سرعت به زمان حمل و نقل و همچنین وجود سیستم پشتیبان از توزیع بود. پس از ارائه ی مدل، نسبت به ارائه ی رویکرد حل مسئله در ابعاد بزرگ اقدام شد. بدین منظور، رویکردهای NSGA II و PESA II برای ابعاد متوسط و بزرگ مورد استفاده قرار گرفت. همچنین رویکرد محدودیت اپسیلون نیز برای حل مسائل عددی کوچک مدنظر قرار گرفت. در نهایت، سه دسته مسائل عددی در ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ طراحی و با رویکردهای مورد نظر حل شد. نتایج به دست آمده کارکرد مناسب الگوریتم PESA II را هم از منظر زمان حل و هم از نظر نزدیکی به مرز پارتو به اثبات رساند. الگوریتم مذکور به خصوص در مسائل عددی در ابعاد بزرگ از هر جهت برتری قابل توجهی بر الگوریتم ژنتیک چندهدفه دارد. در پایان نیز، تاثیر وجود سیستم پشتیبان توزیع بر روی توابع هدف بررسی شد و با این که وجود این سیستم ممکن است باعث مقداری افزایش هزینه برای شبکه زنجیره تامین شود، ولی اثرات مثبت وجود این ساز و کار بر روی کاهش زمان حمل و نقل در شبکه زنجیره تامین و در نتیجه افزایش رضایت مشتریان می تواند این هزینه ها را به خوبی تحت تاثیر قرار دهد. تحقیق حاضر را می توان با در نظر گرفتن مواردی نظیر عدم قطعیت، احتمال اختلال در عملکرد تسهیلات شبکه، بهره گیری از سایر رویکردهای حل و همچنین اضافه نمودن بحث کنترل موجودی به آن توسعه داد.

مراجع

Darvish, M., Archetti, C., Coelho, L. C., & Speranza, M. G. (2019). Flexible two-echelon location routing problem. European Journal of Operational Research, 277(3), 1124-1136.

Dukkanci, O., Peker, M., & Kara, B. Y. (2020). Green hub location problem. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 125, 116-139.

Farham, M. S., Süral, H., & Iyigun, C. (2018). A column generation approach for the location-routing problem with time windows. Computers & Operations Research, 90, 249-263.

Habibi, F., Asadi, E., & Sadjadi, S. J. (2018). A location-inventory-routing optimization model for cost effective design of microalgae biofuel distribution system: A case study in Iran. Energy strategy reviews, 22, 82-93.

Hasanov, P., Jaber, M. Y., & Tahirov, N. (2019). Four-level closed loop supply chain with remanufacturing. Applied Mathematical Modelling, 66, 141-155.

Mohammadi, M., Jula, P., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2019). Reliable single-allocation hub location problem with disruptions. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 123, 90-120.

Rabbani, M., Heidari, R., Farrokhi-Asl, H., & Rahimi, N. (2018). Using metaheuristic algorithms to solve a multi-objective industrial hazardous waste location-routing problem considering incompatible waste types. Journal of Cleaner Production, 170, 227-241.

Saif-Eddine, A. S., El-Beheiry, M. M., & El-Kharbotly, A. K. (2018). Optimizing Total Supply Chain Cost in Inventory Location Routing Problem Using Developed Hybrid Genetic Algorithm. Ain Shams Engineering Journal.

Saragih, N. I., Bahagia, N., & Syabri, I. (2018). A heuristic method for location-inventory-routing problem in a three-echelon supply chain system. Computers & Industrial Engineering.

Wu, W., Zhou, W., Lin, Y., Xie, Y., & Jin, W. (2021). A hybrid metaheuristic algorithm for location inventory routing problem with time windows and fuel consumption. Expert Systems with Applications, 166, 114034.

Zhang, S., Chen, M., & Zhang, W. (2019). A novel location-routing problem in electric vehicle transportation with stochastic demands. Journal of Cleaner Production, 221, 567-581.

Zhen, L., Wang, K., Wang, S., & Qu, X. (2018). Tug scheduling for hinterland barge transport: A branch-and-price approach. European Journal of Operational Research, 265(1), 119-132.

Zhen, L., Huang, L., & Wang, W. (2019). Green and sustainable closed-loop supply chain network design under uncertainty. Journal of Cleaner Production, 227, 1195-1209.

Zhou, Y., Yu, H., Li, Z., Su, J., & Liu, C. (2020). Robust optimization of a distribution network location-routing problem under carbon trading policies. IEEE Access, 8, 46288-46306.