

مقاله پژوهشی

توسعه مدل مکان‌یابی - مسیریابی با در نظر گرفتن رضایت مشتری و دریافت و تحویل همزمان

پدرام معماری، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران

محمد پرتوی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران

فریبرز جولای (نویسنده مسئول)، استاد، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران

رضا توکلی مقدم، استاد، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران

E-mail : fjolai@ut.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۲۹

دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۲۴

چکیده

در این مطالعه، مسأله مکان‌یابی - مسیریابی با در نظر گرفتن چندین انبار و پنجره زمانی سخت برای مشتریان مورد بررسی قرار می‌گیرد. هدف اصلی این مقاله، انتخاب بهترین مکان احداث انبارها با در نظر گرفتن زمانبندی و مسیریابی وسایل نقلیه ناهمگن است. این امر موجب کاهش هزینه احداث انبار در مکان نامطلوب می‌شود و به صورت همزمان مسیر بهینه مسائل نقلیه را پیدا می‌کند. رضایت مشتری از فرایند خدمت‌رسانی از مهم‌ترین مسائل هر سازمان است. بدین منظور پنجره زمانی سخت برای پاسخ به مشتریان در نظر گرفته شده است. در واقع نوع آوری اصلی این مطالعه را این گونه می‌توان بیان نمود که در دوماهه مسیریابی و مکانیابی به طور همزمان مورد بررسی قرار می‌گیرند تا هزینه‌های متقابل بین مسیریابی و مکان‌یابی لحاظ شده و از این نظر می‌توان تاثیر بین هزینه‌های مکان‌یابی و مسیریابی را در نظر گرفت، بدین جهت می‌تواند تاثیر فراوانی از نقطه نظر کاهش هزینه‌ها ایفا نماید. به منظور بررسی صحت و دقت مدل، در ابعاد کوچک با روش محدودیت اِپسیلون توسعه یافته مورد مقایسه قرار گرفته می‌شود. با توجه به NP-Hard بودن مسأله در ابعاد بزرگ، از الگوریتم تکاملی چند هدفه، به نام الگوریتم ژنتیک مرتب شده نامغلوب استفاده شده است. در پایان نتایج به دست آمده، به منظور نمایش کارآیی و اثربخشی مناسب در حل مسائل مختلف با ابعاد بزرگ و در زمان کوتاه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم فراابتکاری، برداشت و تحویل همزمان، رضایت مشتری، مکان‌یابی مسیریابی چند هدفه.

۱. معرفی و مرور ادبیات

طراحی یک سیستم مناسب تدارکات، با توجه به سهم شایان هزینه های توزیع نسبت به کل هزینه های زنجیره تأمین، یکی از موضوعات بسیار مهم در دنیای رقابتی امروز است از لحاظ طراحی و اداره سیستم های لجستیکی، مکان یابی تسهیلات مسأله ای مشترک است که مدیران لجستیک با آن مواجه اند. چنین مفهومی وابستگی بین مکان یابی تسهیلات (مراکز پشتیبانی)، تخصیص مشتریان به تسهیلات و نیز ساختار مسیریابی وسایل نقلیه را تعیین می کند. در فرآیند لجستیک، مسأله ی فروشنده دوره گرد و مسأله مسیر یابی وسایل نقلیه به عنوان موفق ترین مدل ها در حوزه ی تحقیق در عملیات در دهه گذشته معرفی شده اند. موفقیت کسب و کار بسیاری از شرکت های خرده فروش بستگی زیادی به افزایش اطمینان در تحویل به موقع تقاضای مشتریان دارد. مسأله مسیریابی وسایل نقلیه می تواند رابطه موثری در رضایت مشتری، کاهش زمان تحویل و هزینه های جاری را داشته باشد [Hernandez et al. 2017].

موفقیت صنعت لجستیک ارتباط تنگاتنگی با تصمیمات مربوط به موجودی، تولید و هزینه های تحویل کالا دارد. از این نظر مسأله مسیریابی وسایل نقلیه به عنوان یکی از مهمترین و موثرین حوزه های مطالعاتی در صنعت لجستیک است. در نظر گرفتن این سیستم می تواند کارآیی بالایی در رابطه با تصمیمات اتخاذی داشته باشد [Baños et al. 2013]. در زمینه کمک ها و پشتیبانی، پس از فاجعه های طبیعی مانند زلزله و غیره، لازم است در رابطه با کمک رسانی به افراد مجروح و آسیب دیده انجام شود. اهمیت استفاده از مدل مسیریابی وسایل حمل و نقل در این زمینه مشخص شد [Sze et al. 2017]. در سال ۲۰۱۷ با مطرح ساختن زمانبندی به عنوان یک مساله مهم در حوزه زنجیره تأمین مدل جدیدی با هدف مینیم ساختن زمان دیرکرد و مجموع مسافت طی شده توسط خودروها در قالب مساله مسیریابی وسایل نقلیه ارائه گردید [Beheshtinia

[and Ghasemi, 2017]. در حوزه زنجیره تأمین تجهیزات پزشکی بهشتی نیا و اعرابی به بررسی مدلی برای یکپارچگی مساله مسیریابی وسایل نقلیه جهت تخصیص مشتریان و تعیین توالی تولید در آنها پرداختند، زنجیره تأمین بررسی شده توسط آنها شامل چند وسیله نقلیه و یک سازنده محصولات نهایی بود که یک ناوگان مشترک از وسایل نقلیه با ظرفیت و سرعت های متفاوت حمل مواد اولیه به تأمین کنندگان و جمع آوری قطعات تکمیل شده را با هدف مینیم ساختن زمان دیرکرد در تحویل سفارشات انجام می دادند [Beheshtinia and Arabi, 2017].

تاکنون انواع مختلفی از مدل مسیریابی وسایل حمل و نقل توسعه داده شده است. مدل مسیر یابی وسایل حمل و نقل با دریافت و تحویل همزمان مشتری یکی از این مدل های توسعه یافته می باشد. مدل مسیریابی وسایل نقلیه با دریافت و تحویل همزمان مشتری از مدل مسیریابی وسایل نقلیه در حالت عادی متفاوت است، زیرا مشتری به دریافت و تحویل همزمان نیاز دارد. در رابطه با ظرفیت وسایل نقلیه نیاز به تصمیمات دقیق تری داریم. یکی دیگر از مواردی که جهت توسعه مدل مسیریابی وسایل نقلیه انجام شده است، بحث پنجره زمانی است. تاکنون در بسیاری از مطالعاتی که در حوزه استفاده از مدل مسیریابی وسایل حمل و نقل انجام شده است و پنجره زمانی را به عنوان یک عامل مهم در رابطه با رضایت مشتریان معرفی نموده اند. در یکی از مطالعاتی که در حوزه استفاده از مدل مسیریابی وسایل نقلیه در سال ۲۰۱۴ انجام شد، یک مسأله زمان بندی وسایل نقلیه چندهدفی با در نظر گرفتن درخواست و اولویت مشتریان در شرایط عدم قطعیت و همچنین بازه زمانی از پیش تعریف شده برای ملاقات مشتریان بود، برای حل این مسأله از مدل مسیریابی وسایل نقلیه یا در نظر گرفتن پنجره زمانی استفاده شد [Meng et al. 2005]. یک پنجره زمانی منطقی می تواند برای شرکت ها در جهت کاهش هزینه موجودی، بهبود کارآیی عملیات و ارتقای رضایت مشتریان کارآیی و تاثیر زیادی داشته باشد. بسیاری از شرکت ها در فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال دوازدهم / شماره اول (۴۶) / پاییز ۱۳۹۹

صنعت لجستیک خواستار ملاقات مشتریان خود در پنجره زمانی مشخص هستند، زیرا از این طریق سطح رضایت مشتریان افزایش می‌یابد. و به طبع، کارایی و بهره‌وری شرکت افزایش خواهد یافت [Mingyong and Erbao, 2010]. در مدل مسیریابی وسایل نقلیه با در نظر گرفتن پنجره زمانی، وسیله نقلیه اجازه ندارد که پس از حد بالای پنجره زمانی مشتری را سرویس نماید. علاوه بر آن، اگر یک خودرو قبل از حد پایین پنجره زمانی به مشتری برسد، باید منتظر بماند. لذا در مدل مسیریابی وسایل نقلیه با برداشت و تحویل مشتری که پنجره زمانی بدین صورت در نظر گرفته می‌شود که هر مشتری زمان مشخص شده‌ای جهت سرویس دارد که همان زمانی است که برای خالی و پر کردن کالا از خودرو در نظر گرفته می‌شود. بنابراین زمان کلی مسیر خودرو شامل مجموع زمان سفر و زمان انتظار جهت سرویس است. در مطالعه‌ای دیگر که در سال ۲۰۱۶ انجام شد. مدل مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی و همچنین دریافت و تحویل مشتری با هدف کمینه ساختن دو هزینه سوخت مصرفی و کاهش آلودگی انجام گرفت. در این مقاله اهمیت در نظر گرفتن پنجره زمانی در این رابطه مطرح شد [Gang et al. 2016]. در سال ۲۰۱۷ مدل جدیدی مبتنی بر زمان بندی انتقال مواد اولیه توسط تولیدکنندگان و انتقال آن به تولیدکنندگان ارائه گشت و نوع آوری اصلی آن تحویل و دریافت همزمان به مشتریان در یک پنجره زمانی نرم می‌باشد [Euchi and Euchi, 2017]. مجیدی و همکاران مدل جدیدی از مساله مسیریابی وسایل نقلیه با هدف مینیم ساختن سوخت مصرفی توسط خودروها ارائه دادند، ویژگی شاخص مدل مقاله آنها در نظر گرفتن دریافت و تحویل همزمان مشتریان در پنجره زمانی مشخص بود [Majidi et al. 2017]. یکی دیگر از بحث‌هایی که در رابطه با توسعه مدل مسیریابی وسایل نقلیه در سال‌های اخیر انجام گرفته است، بحث در نظر گرفتن چندین انبار برای این مدل است که بسته

به نوع مطالعاتی که انجام می‌گیرد، می‌تواند مشکلات مختلف صنعت لجستیک دنیای واقعی را تحت پوشش قرار دهد. همچنین با این مدل، مهمترین مشکلات صنعت لجستیک که شامل مسیریابی و مکان‌یابی می‌باشند، به صورت همزمان در نظر گرفته می‌شوند. مساله مسیریابی وسایل نقلیه با در نظر گرفتن پنجره زمانی یک مساله شناخته شده است که در بسیاری از زمینه‌ها مطرح است اما در بسیاری از مسائل دنیای واقعی در رابطه با صنعت لجستیک نیاز به در نظر گرفتن چند انبار داریم و از این طریق می‌توان بسیاری از هزینه‌ها را کاهش داد و به طبع آن عملکرد و کارایی را افزایش داد [Ma et al. 2017]. در سال ۲۰۱۷ یک مساله مسیریابی وسایل حمل و نقل مطرح شد که در آن دو دسته مشتری در نظر گرفته شدند، دسته اول مشتریانی بودند که نیاز به تحویل تقاضای خود از انبار داشتند، دسته دوم نیاز به تحویل موجودی خود به انبار از مکان‌های مشخص داشتند، لذا برای حل آن از مدل مسیریابی وسایل نقلیه بادر نظر گرفتن چندین انبار استفاده شد. همچنین با در نظر گرفتن چندین انبار در این رابطه مشخص شد که می‌تواند بر روی کاهش هزینه‌ها موثر باشد [Javad and Karimi, 2017]. مکان‌یابی و مسیریابی مشکلات اصلی صنعت لجستیک در دنیای واقعی می‌باشند. این مساله‌ها در بسیاری از مطالعات به صورت جداگانه بررسی می‌شوند در صورتی که در نظر گرفتن آن‌ها به صورت همزمان برای کاهش هزینه‌ها و سایر مشکلات صنعت لجستیک موثرتر و کاراتر است. لذا مساله مسیریابی وسایل نقلیه با در نظر گرفتن چندین انبار می‌تواند در این رابطه موثر و کارا واقع شود [Monirian et al. 2017]. در رابطه با مشکلات صنعت لجستیک رضایت مشتری هم یکی از مشکلات اصلی است. همانطور در قسمت‌های قبلی اشاره شد در نظر گرفتن دریافت و تحویل همزمان مشتری در پنجره زمانی مشخص می‌تواند تاثیر زیادی در جهت افزایش رضایت مشتری داشته باشد.

در این مطالعه مدل توسعه یافته ای از مدل مسیریابی وسایل نقلیه معرفی شده است. این مسأله می تواند بسیاری از مسائل دنیا واقعی به ویژه صنعت لجستیک را تحت پوشش قرار دهد و باعث افزایش بهره وری و کارایی شود. همچنین جهت توسعه مدل مسیریابی وسایل نقلیه، چندین مسأله به طور همزمان در نظر گرفته می شوند، که شامل برداشت و تحویل همزمان مشتری در پنجره زمانی مشخص و همچنین در نظر گرفتن چندین انبار است. تعداد و محل ایجاد انبارها به صورت بهینه از بین چندین مکان بالقوه برای ایجاد انبار انتخاب می شود.

این مدل با در نظر گرفتن مشکلات اصلی صنعت لجستیک در دنیای واقعی که شامل مسیریابی، مکان یابی و افزایش سطح رضایت مشتریان که به طور همزمان در نظر می گیرد، باعث افزایش بهره وری و کاهش هزینه ها می شود. در شرایط رقابتی کنونی تمام تلاش تولیدکنندگان در جهت کاهش هزینه های مکان یابی، مسیریابی و تحویل به موقع تقاضای مشتریان است [Saeedi Mehrabad et al. 2017]. جدول ۱، شکاف تحقیقاتی و نوآوری این پژوهش را با ادبیات موضوع بیان کرده است.

۱-۱ شکاف تحقیقاتی

بسیاری از مسائل واقعی در حوزه مسیریابی وسایل نقلیه مسیریابی پس از احداث انبار انجام می شوند. در این مقاله جهت بهینه سازی بیشتر در صنعت لجستیک محل انبار به عنوان یک عامل مهم و موثر بر نتیجه مسأله مسیریابی وسایل نقلیه در نظر گرفته شده است و در واقع به دلیل اینکه دو مسأله مکان یابی و مسیریابی به طور همزمان مورد بررسی قرار می گیرند در جواب به دست آمده هزینه های متقابل بین هردو مسأله لحاظ شده و از این نظر هزینه ها می تواند بسیار کمتر از حالتی باشد که ابتدا مکانیابی انجام شود و سپس مسأله مسیریابی مورد بررسی قرار گیرد و با توجه به اینکه دو مسأله با مقیاس های متفاوت مطرح می باشند لذا برای به دست آوردن نتایج یک مدل دو تابع هدفه ارائه شده است. این مطالعه، جهت بهبود و بهینه سازی در صنعت لجستیک هر دو مسأله مکان یابی (پیدا کردن محل انبارها) و مسیریابی (مسیریابی

خوردروها) به طور همزمان در نظر گرفته است. در واقع این امر موجب کاهش هزینه احداث انبارها در جای نامناسب و در نظر گرفتن برنامه سفر وسایل، بعد از احداث شود. در نظر گرفتن همزمان مسیریابی-مکان یابی در وقوع بحران (زلزله، طوفان، جنگ و...) کارایی بالایی از خود نشان می دهد. در شرایط بحران با تقاضای بیش از ظرفیت روبرو می شویم که نیازمند پاسخ آتی به امداد و می باشند. این مدل می تواند تخصیص بهینه نیروهای امدادی موجود (آمبولانس ها به عنوان وسایل نقلیه)، ایجاد ایستگاه های موقت امداد (انبارها) و تخصیص نیروهای انسانی داوطلب اضافه شده (وسایل نقلیه اجاره ای که الزامی به بازگشت به انبار را ندارند) و شرایط هر بیمار (پنجره زمانی سخت به عنوان اولویت دادن بیمار بحرانی در نظر گرفته شود) را در سباز واقعی و زمان کوتاه حل نماید. در این مسأله کمک های اولیه به مناطق بحران تحویل داده می شوند و همزمان بیماران را از مناطق بحران به ایستگاه های موقت امداد یا بیمارستان ها حمل می کنند (دریافت و تحویل همزمان).

همچنین درمسائل امکان سنجی احداث مراکز خدماتی مانند جمع آوری زباله که دارای حمل و نقل نیز می باشند. در فاز بررسی تعداد احداث ایستگاه این مدل مطرح است.

ویژگی های این مدل شامل موارد زیر می شود.

۱. چندین انبار در نظر گرفته می شود، تعداد و مکان های بهینه جهت ایجاد انبارها از بین چندین مکان بالقوه برای احداث انبار انتخاب می شود.
۲. مشتریان دارای دریافت و تحویل همزمان هستند.
۳. مشتریان در پنجره زمانی سخت مشخص ملاقات می شوند.

مدل دارای دو تابع هدف است که تابع هدف اول در جهت کمینه ساختن هزینه های احداث و ایجاد انبارها است و تابع هدف دوم در جهت کمینه ساختن مسافت طی شده جهت سرویس دهی به مشتریان است. در ادامه، در بخش دوم مدل توسعه یافته ارائه می گردد. در بخش سوم روش های حل انتخابی توضیح داده می شود. در بخش چهارم نتایج عددی ارائه شده است. در پایان بخش پنجم با بررسی نتایج کار انجام شده نتیجه گیری ارائه شده است.

جدول ۱. جدول مرور ادبیات

مسیر یابی	دریافت و تحویل همزمان	پنجره زمانی سخت	مکان‌یابی انبارها به صورت مسأله	در نظر گرفتن چندین انبار	نویسندگان
✓	-	-	-	-	[Beheshtinia and Ghasemi, 2017]
✓	-	-	-	-	[بهشتی نیا and اعرابی, ۲۰۱۷]
✓	✓	-	-	-	[Sze et al. 2017]
✓	-	✓	-	-	[Meng et al. 2005]
✓	✓	✓	-	-	[Mingyong and Erbao, 2010]
✓	✓	✓	-	-	[Gang et al. 2016]
✓	-	✓	-	✓	[Ma et al. 2017]
✓	-	-	-	✓	[Javad and Karimi, 2017]
✓	-	-	-	✓	[Monirian et al. 2017]
✓	✓	✓	-	-	[Euchi and Euchi, 2017]
✓	✓	✓	-	-	[Majidi et al. 2017]
✓	✓	✓	✓	✓	این مقاله

۲. بیان مسأله

مدل مسیریابی وسایل حمل و نقل نقلیه پیشنهادی در این مطالعه به صورت زیر فرض می‌شود:

تعداد انبارها و مکان ایجاد آن‌ها به صورت بهینه از بین m مکان بالقوه برای ایجاد انبار انتخاب می‌شود.

تعدادی مشتری در یک شبکه حمل و نقل مستقر شده اند؛ هر مشتری i به عملیات تحویل و عملیات برداشت از یک مقدار مشخص کالا (d_i) و مواد بازگشتی (p_i) نیاز دارد. برای هر دو عملیات باید یک بار ملاقات شود. مشتری‌ها باید با خودروی موجود با ظرفیت محدود (Q_k) سرویس داده شوند؛ هر خودرو انبار را با حمل مقدار باری برابر با کل مقداری که باید تحویل دهد، ترک می‌کند. همچنین با مقدار کالای بازگشتی مشخص که برابر با کل مقداری که برمی‌دارد است به انبار باز می‌گردد. به هر مشتری باید در فاصله زمانی مشخص (پنجره زمانی سخت) سرویس داده شود. حد پایین (a_i) و حد بالا (b_i) از پنجره زمانی سخت زودترین و دیرترین زمان برای شروع زمان سرویس به مشتری را مشخص می‌کند. یک خودرو مجاز ناست که پس از (b_i) سرویس خود به مکان مشتری را آغاز کند. علاوه بر آن، اگر خودرو زودتر از زمان (a_i) به مکان مشتری برسد، باید زمانی را منتظر بماند. هر مشتری یک زمان سرویس مشخص (t_i) دارد که

زمانی است که صرف تخلیه بار و تحویل مواد بازگشتی می‌شود. بنابراین، کل زمان مسیر خودرو شامل مجموع زمان سفر (که یک نسبتی از فاصله سفر است، زمان انتظار و زمان سرویس است. کل فاصله سفر نباید از حداکثر فاصله مسیر خودرو تجاوز کند. در هر نقطه در طول سفر هیچ خودرویی نمی‌تواند باری بیشتر از ظرفیت خود حمل کند. هدف مسأله انتخاب تعداد و محل بهینه ایجاد انبارها از بین مکان‌های بالقوه و مینیم ساختن مجموع مسافت‌های طی شده با رعایت پنجره زمانی سخت و سایر محدودیت‌های موجود در مدل است.

۲-۱ مفروضات مسأله

۱. وسایل حمل و نقل نا همگن هستند.
۲. بین انبارها حمل و نقلی وجود ندارد.
۳. به تمام مشتریان سرویس داده می‌شود.
۴. سفارش مشتریان قابل تجزیه ناست.
۵. سیستم حمل و نقل متمرکز است.
۶. مسیرهای طی شده از انبارها شروع شده و به انبار ختم می‌شود.
۷. با توجه به اینکه فرض نموده ایم خودروها اجازه ای می‌باشند لذا هر خودرو از انبار شروع نموده مسیر مشخص شده را طی نموده و در نهایت به انبار باز گشته و واگذار می‌گردد لذا مجدداً مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

f_j هزینه ایجاد انبار j ام.

u_i پارامتر مصنوعی که در رابطه با محدودیت عدم ایجاد

زیر تور استفاده می شود.

a_i حد پایین پنجره زمانی جهت ملاقات مشتری i ام.

b_i حد بالای پنجره زمانی جهت ملاقات مشتری i ام.

۲-۴ متغیرها

x_{ijk} ۱ اگر مسیر بین مشتری i و j توسط وسیله k طی شود، در غیر این صورت برابر ۰ است.

y_{ij} مقدار تقاضای دریافتی توسط مشتری i و پس از آن حرکت به سوی مشتری j

z_{ij} مقدار تحویلی توسط مشتری i و پس از آن حرکت به سوی مشتری j

y_j اگر مکان بالقوه j ام برای احداث انبار در نظر گرفته شود مقدار ۱ خواهد گرفت و در غیر این صورت مقدار ۰ برای آن انتخاب خواهد شد.

s_{ik} زمان شروع سرویس خودروی k ام بر روی مشتری i ام.

۲-۲ مدل ریاضی پیشنهادی

در این بخش ابتدا پارامترها و متغیرهای تصمیم مسأله را معرفی می کنیم و سپس مدلسازی مسأله را نمایش می دهیم.

۳-۲ اندیس ها و پارامترها

i اندیس برای مشتری $i = 1, 2, \dots, n$

j اندیس برای مکان بالقوه جهت ایجاد انبار

$j = 1, 2, \dots, m$

k اندیس برای وسیله نقلیه $k = 1, 2, \dots, \bar{k}$

$\bar{k}$ بیشترین تعداد وسایل نقلیه

Q_k ظرفیت وسیله نقلیه k ام

N تعداد کل مشتریان

$c_{i,j}$ فاصله بین مشتری i و j

t_i زمان سرویس مشتری i ام

t_{ij} زمان سفر بین مشتری i و j

d_i تحویل (تقاضا) مشتری i ام

p_i دریافتی از مشتری i ام

۵-۲ مدل ریاضی مسأله

$$Z_1 = \min \sum_{k=1}^{\bar{k}} \sum_{i=1}^{n+m} \sum_{j=1}^{n+m} c_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

$$Z_2 = \min \sum_{j=1}^m f_j y_j \quad (2)$$

s.t.:

$$\sum_{i=1}^{n+m} \sum_{k=1}^{\bar{k}} x_{ijk} = 1 \quad i, j = 1, \dots, n+m \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{n+m} x_{ijk} - \sum_{i=1}^{n+m} x_{jik} = 0 \quad j = 1, \dots, n+m \quad k = 1, \dots, \bar{k} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{n+m} y_{ji} - \sum_{i=1}^{n+m} y_{ij} = p_i \quad \forall j \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{n+m} z_{ji} - \sum_{i=1}^{n+m} z_{ij} = d_j \quad \forall j \quad (6)$$

$$y_{ij} - z_{ij} \leq Q_k \sum_{k=1}^{\bar{k}} x_{ijk} \quad i, j = m, \dots, n+m \quad (7)$$

$$s_{ik} - t_i - t_{ij} - M(1 - x_{ijk}) \leq s_{jk} \quad i, j = m, \dots, n+m \quad k = 1, \dots, \bar{k} \quad (8)$$

$$a_j \leq s_{ik} \leq b_i \quad i, j = m, \dots, n+m, k = 1, \dots, \bar{k} \quad (9)$$

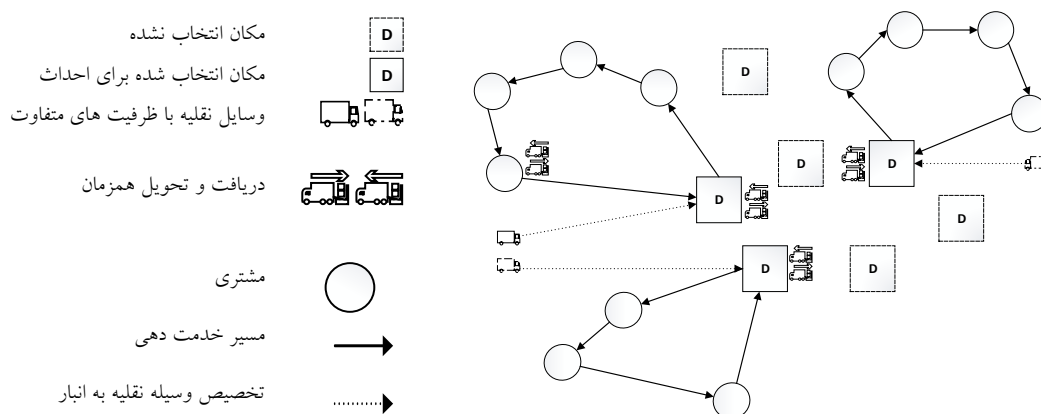
$$\sum_{i=1}^{n+m} \sum_{j=1}^{n+m} c_{ij} x_{ijk} \leq l \quad k = 1, \dots, \bar{k} \quad (10)$$

$$\sum_{k=1}^{\bar{k}} \sum_{i=1}^{n+m} \sum_{j=1}^{n+m} x_{ijk} \leq m \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} \leq 1 \quad \forall j, k \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m x_{ijk} = 0 \quad (13)$$

$$u_i - u_j + Q_k \sum_{i=1}^{\bar{k}} x_{ijk} \leq Q_k - d_{1,j} \quad \forall i, j = 0, 1, \dots, n+m+1, i \neq j \quad (14)$$



شکل ۱. شماتیک مسأله

ایجاد انبار بیشتر شود. در صورتی که بخواهیم، می توانیم تعدادی از انبارها را که لازم داریم در نظر بگیریم که برای این کار لازم است به جای m تعداد انبارهای لازم قرار گیرد و به صورت محدودیت مساوی نوشته شود. محدودیت (۱۲) و (۱۳) بیان کننده این موضوع می باشند که در بین انبارها لازم نیست مسافتی طی شود و لزومی ندارد بین انبارها حمل و نقل داشته باشیم. محدودیت (۱۴) برای جلوگیری از ایجاد زیر تور می باشد [Y. Shi et al. 2017]. در شکل ۱ شماتیک کلی مسأله نشان داده شده است.

۳. روش حل مسأله

از آنجایی که مسأله جز مسائل NP-Hard محسوب می شود. لذا برای حل آن در ابعاد بزرگ باید از الگوریتم های فرا ابتکاری استفاده شود [J. Shi et al. 2011]. در این مطالعه با توجه به دو تابع هدفه بودن مدل از الگوریتم NSGA-II استفاده شده است. ده مسأله به عنوان مسأله های آزمایشی انتخاب شده اند و توسط الگوریتم حل شده اند. در چندین مسأله نمونه از روش دقیق Augmented Epsilon-constraint توسط نرم افزار گمز استفاده شد تا نتایج الگوریتم NSGA-II برای مسأله ها با سایز بزرگ که در دنیای واقعی بیشتر مرسوم هستند اعتبار سنجی شود.

تابع هدف (۱)، مجموع مسافت طی شده توسط تمامی وسایل حمل و نقل جهت سرویس دهی به مشتریان را کمینه سازی می نماید. همچنین مسافت های طی شده شامل مسافت بین انبارها - مشتریان و مشتریان - مشتریان می باشد و بین انبارها مسافتی طی نمی شود. تابع هدف (۲)، با بررسی مکان احداث انبارها و در نظر گرفتن هزینه ثابت احداث، به کمینه سازی هزینه ایجاد انبارها می پردازد. تعداد و مکان های ایجاد انبارها به صورت بهینه از بین مکان های بالقوه برای احداث انبار انتخاب می شود. محدودیت (۳) هر مشتری باید توسط یک وسیله نقلیه ملاقات شود. محدودیت (۴) بیان می کند که همان وسیله ای که مشتری را ملاقات کرده مشتری را ترک خواهد کرد. در واقع این امکان وجود ندارد که مشتری توسط یک خودرو ملاقات شود و توسط خودروی دیگری ترک شود. محدودیت (۵) و (۶) بیان کننده معادلات جریان دریافتی و تحویل مشتریان می باشند. محدودیت (۷) بیان می کند که جریانهای دریافت و تحویل مشتری ها فقط در مسیرهای حل امکان پذیر است. محدودیت (۸) و (۹) مربوط به پنجره زمانی سخت هستند و جهت رعایت ملاقات مشتری در پنجره زمانی سخت لحاظ شده اند. محدودیت (۱۰) بیانگر این است که ماکزیم مسافت طی شده توسط یک وسیله از مقداری خاصی بیشتر نشود. محدودیت (۱۱) تعداد بهینه ای از انبارها که جهت احداث انتخاب می شوند، نباید از تعداد مکان های بالقوه جهت

۱-۳-۱ متد Augmented Epsilon-constraint

این روش، بهبود یافته‌ی روش Epsilon-constraint است. اولین بار توسط Mavrotas در سال ۲۰۱۳ [Mavrotas and Florios, 2013] ارائه شد. روشی کارا جهت حل مسأله‌های چند هدفه است. در این متد یک مسأله چند هدفه به صورت زیر تبدیل می‌کند.

$$\text{Max } f_i(x) + \beta(z_1/r_1 + z_2/r_2 + \dots + z_{k-1}/r_{k-1})$$

$s. t$

$$f_1(x) - z_1 = \varepsilon_1$$

$$f_2(x) - z_2 = \varepsilon_2$$

.

.

.

$$f_{k-1}(x) - z_{k-1} = e_{\varepsilon-1}$$

$$x \in Z \text{ and } z_i \in S^+, i \in [1, k-1]$$

در واقع گام‌های این متد به این صورت می‌باشد که ابتدا یکی از تابع هدف‌ها به عنوان تابع هدف اصلی انتخاب می‌شود. سپس مقادیر تابع هدف‌های دیگر با توجه به مقدار تابع هدف اصلی محاسبه می‌شود. بازه بین توابع هدف فرعی به تعدادی از قبل مشخص تقسیم بندی می‌شود. در پایان، یک جدول مقادیر برای ε_2 تا ε_k بدست می‌آید و با قراردادن این مقادیر در تابع هدف اصلی، حل می‌شود.

۲-۳-۲ الگوریتم ژنتیک رتبه بندی نامغلوب

(NSGA-II)

الگوریتم ژنتیک یکی از الگوریتم‌های اکتشافی حل مسأله است. ای الگوریتم، از مدلسازی زیستی برای حل مسأله استفاده می‌کند. الگوریتم NSGA یکی از حالت‌های الگوریتم ژنتیک برای مدل‌های چند هدفه است [Srinivas and Deb, 1994]. به دلیل اینکه این الگوریتم از نظر پیچیدگی‌های محاسباتی دارای مشکلاتی بود بر این اساس NSGA-II ارائه شد تا این مشکل برطرف شود. گام‌های الگوریتم NSGA-II به شرح زیر است:

۱. ایجاد جمعیت اولیه

۲. محاسبه معیارهای برازندگی

۳. مرتب کردن جمعیت بر اساس شرط‌های غلبه نمودن

۴. به محض اینکه جمعیت اولیه بر اساس شرط‌های

غلبه مرتب شد. آنگاه مقدار فاصله ازدحامی بر اساس

آن محاسبه خواهد شد و انتخاب از میان جمعیت

اولیه آغاز خواهد شد.

۵. تقاطع و جهش برای تولید فرزندان جدید انجام

می‌گیرد.

۶. تلفیق جمعیت اولیه و جمعیت به دست آمده بر اساس

تقاطع و جهش.

۷. جایگزین کردن جمعیت والدین با بهترین اعضای

جمعیت تلفیق شده در مراحل قبل به طوری که

اعضای رتبه پایین تر جایگزین والدین‌های قبلی

می‌شوند و سپس بر اساس فاصله ازدحامی مرتب

می‌شوند.

۸. مراحل تا شرایط بهینه تکرار می‌شوند [Coello et al.

2007].

۱-۲-۳ تولید جواب اولیه

در مدل مفروض، برای تولید جواب اولیه یک ماتریس دو سطری با دو مجموعه زیر در نظر گرفته شده است.

سطر اول: اعداد بین ۱ تا ۱۰ (مشتری‌های) و اعداد ۱۱ تا ۱۴ (وسایل نقلیه).

سطر دوم: اعداد ۱ تا ۷ (مکان‌های بالقوه ایجاد انبار).

اعداد به صورت تصادفی در این دو سطر قرار می‌گیرند. اعداد قرار گرفته قبل هر یک از ۱۱ تا ۱۴، مجموعه مشتریان تخصیص یافته به وسیله نقلیه بعد آن می‌باشند. در سطر دوم اعداد رندم، نماینده مکان‌های بالقوه احداث انبار می‌باشند. عددی که زیر ستون وسایل نقلیه قرار می‌گیرند، نشان دهنده انبار تخصیص یافته به آن وسیله نقلیه و مشتریان قرار گرفته در مجموعه آن است. شکل ۲ نشان دهنده کروموزوم اولیه و مجموعه‌های ایجاد شده برای سرویس در انبار انتخاب شده از مکان‌های بالقوه است.

۲	۴	۱۴	۵	۶	۱۰	۱۲	۹	۱۱	۱	۸	۳	۶	۱۳
۱	۴	۵	۳	۲	۶	۵	۱	۲	۴	۶	۳	۷	۱

۲	۴	۱۴	۵
---	---	----	---

۵	۷	۱۰	۱۲	۵
---	---	----	----	---

۹	۱۱	۲
---	----	---

۱	۸	۳	۶	۱۳	۱
---	---	---	---	----	---

انبار تخصیص یافته

وسیله نقلیه تخصیص یافته

شکل ۲. کروموزوم اولیه و مجموع های ایجاد شده

استفاده شده است تا اعتبار حل الگوریتم NSGA-II برای حل مسائل با اندازه های بزرگ که در دنیای واقعی مطرح هستند مشخص شود. برای نشان دادن این موضوع میزان گپ موجود بین هر دو روش در مسائل با سایز کوچک محاسبه شده است. میزان کم بودن گپ موجود بین هر دو متد نشان دهنده اعتبار الگوریتم NSGA-II برای حل این مدل است. میزان گپ موجود بین هر دو متد به صورت زیر محاسبه می شود.

$$GAP = \frac{\text{نتیجه الگوریتم NSGA-II} - \text{نتیجه الگوریتم GAMS}}{\text{نتیجه الگوریتم NSGA-II}} \quad (15)$$

در جدول ۲ منابع تولید اعداد تصافی برای هریک از پارامترها بیان شده است. در ادامه، جدول ۳ نتایج محاسباتی برای هر یک از توابع هدف برای ده مسأله آزمایشی آورده شده است. در مسائل با اندازه کوچک نتایج متد Augmented Epsilon-constraint و میزان گپ محاسبه شده است. پایین بودن گپ موجود، نشان دهنده اعتبار الگوریتم NSGA-II برای حل مسأله های بزرگتر است. جدول ۴ نتایج پارتو را برای یکی از مسأله های آزمایشی نشان می دهد. با توجه به موارد آورده شده در این جدول میزان اختلاف بین دو تابع هدف مشخص می شود. نمودار پارتوی این مسأله در شکل ۳ نشان داده شده است.

این الگوریتم برخی از مشکلات الگوریتم های پیشین را حل کرده است. برخی از تفاوت های این الگوریتم با سایر الگوریتم ها عبارت اند از: راه حل سریع تری در مقایسه با سایر روش ها در رتبه بندی دارد. پیچیدگی های محاسباتی الگوریتم های قبلی در آن از بین رفته است. با فرض این که M تعداد توابع هدف و N اندازه جمعیت باشد، پیچیدگی محاسباتی در الگوریتم های قبلی $O(MN^3)$ است. در صورتی که در این روش $O(MN^2)$ است [Bui and Alam, 2008].

۴. نتایج محاسباتی

در این قسمت ابتدا منبع تولید اعداد تصادفی پارامتر ها ذکر می شود. در ادامه برای

ده مسأله نمونه مدل حل می شود. در مسأله های با ابعاد کوچک نتایج گمز با الگوریتم NSGA-II مقایسه و میزان گپ موجود آورده شده است.

۴-۱ حل ده مسأله نمونه

در این قسمت ده مسأله نمونه در اندازه های مختلف معرفی و حل شده است. در مسائل با سایز کوچک از روش دقیق Augmented Epsilon-constraint توسط نرم افزار گمز

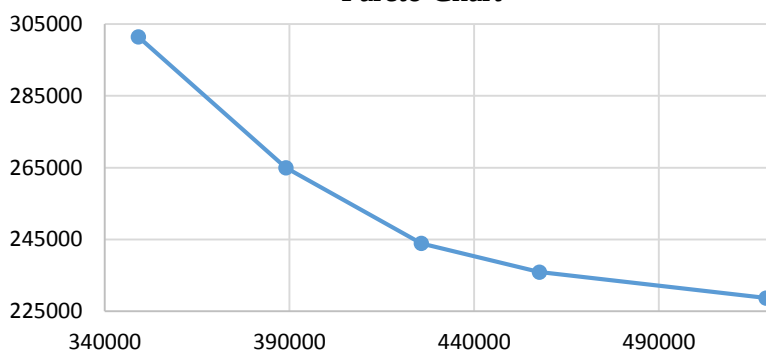
جدول ۲. منابع اعداد تصادفی برای هر یک از پارامترها

$U(100,200)$	d_i	Kg	$U(100,200)$	c_{ij}	Km
۱۰۰۰۰	M	تعداد	$U(120,250)$	$t_{i,j}$	Min
$U(100,500)$	t_i	Min	$U(100000,200000)$	f_j	ریال
$U(10,70)$	N	تعداد	$U(1000,5000)$	Q_k	Kg
$U(3,25)$	K	تعداد	$U(1000,2000)$	s_{ik}	Min
$U(5,30)$	m	تعداد	$U(100,200)$	p_i	Kg
$U(2000,3000)$	l	Km			

جدول ۳. نتایج توابع هدف روش *NSGA-II*، *Augmented Epsilon-constraint* و اختلاف بین آنها

مسأله	مشتری	انبار	تعداد وسایل نقلیه	NSGA-II		GAMS		GAP	
				Z_1	Z_2	Z_1	Z_2	Z_1	Z_2
۱	۲۰	۴	۳	۱۰۰۰۰۰	۵۳۶۷۹	۱۰۰۰۰۰	۵۰۴۸۹	۰,۰۰	۰,۰۶
۲	۲۵	۵	۴	۱۵۰۰۰۰	۷۶۸۵۴	۱۵۰۰۰۰	۷۱۴۸۹	۰,۰۰	۰,۰۷
۳	۳۰	۱۰	۵	۶۰۰۰۵۰	۸۸۷۶۸	۵۴۵۸۰۰	۸۰۸۴۵	۰,۰۹	۰,۰۹
۴	۴۰	۱۵	۱۰	۱۰۶۷۰۰	۹۵۷۸۹	-	-	-	-
۵	۵۰	۱۶	۱۵	۱۵۹۹۵۰	۱۰۴۶۷۸	-	-	-	-
۶	۵۵	۱۷	۱۶	۲۲۴۶۹۰	۱۱۸۷۹۸	-	-	-	-
۷	۵۸	۱۹	۱۸	۲۶۸۰۰۰	۱۲۶۵۶۷	-	-	-	-
۸	۶۲	۲۲	۲۰	۳۴۵۶۸۸	۱۴۷۶۸۹	-	-	-	-
۹	۶۵	۲۵	۲۲	۴۰۶۷۸۹	۱۶۷۸۶۸	-	-	-	-
۱۰	۷۰	۳۰	۲۵	۵۷۸۹۷۰	۱۹۸۶۷۴	-	-	-	-

Pareto Chart



جدول ۴. نتایج بهینه تابع

Z_1	Z_2
۵۱۸۹۷۰	۲۲۸۶۷۴
۴۵۷۶۰۰	۲۳۵۸۹۲
۴۲۵۷۰۰	۲۴۳۹۰۶
۲۸۹۰۰۵	۲۶۴۹۹۶
۳۴۹۰۸۰	۳۰۱۴۷۶

شکل ۳. نمودار پارتو بهینه توابع هدف مسأله

۵. نتیجه گیری

در این مطالعه مدل جدیدی از مسأله مسیریابی وسایل حمل و نقل با در نظر گرفتن چندین انبار و همچنین در نظر گرفتن پنجره زمانی سخت برای هریک از مشتریان به همراه برداشت و تحویل همزمان در بازه زمانی مشخص جهت بهبود کارایی و کاهش مشکلات صنعت لجستیک توسعه داده شد. با توجه به اینکه مکان یابی، مسیریابی و رضایت مشتری از مهمترین مشکلات صنعت لجستیک در دنیای واقعی می باشند. با توجه به مدل توسعه یافته، می توان چندین مورد را به طور همزمان با هم در نظر گرفت که شامل انتخاب بهترین مکان ها برای ایجاد انبار (مکان یابی) به طوری که از بین چندین نقطه بالقوه برای جانمایی انبارها، بهترین نقاط برای ایجاد انبار انتخاب شوند. تعیین زمانبندی و برنامه حرکت وسایل نقلیه ناهمگن (مسیریابی) و در نظر گرفتن پنجره زمانی سخت برای هر مشتری به همراه تحویل و دریافت همزمان در بازه زمانی مشخص (افزایش رضایت مشتری) می باشد. لذا با توجه به اینکه سه مورد از مشکلات اصلی صنعت لجستیک به طور همزمان در نظر گرفته می شود، بی شک می توان گفت مدل توسعه یافته کارایی بالایی جهت کاهش مشکلات و افزایش بهره وری صنعت لجستیک دارد. به واسطه اینکه مسأله چند هدفه است، از الگوریتم محدودیت افسیلون تعمیم یافته (Augmented Epsilon-Constraint) به منظور تولید جواب ها استفاده شد. همچنین با توجه به اینکه در ادبیات موضوع مشخص شد مسأله NP-hard است و در حجم بزرگ مسأله الگوریتم های حل دقیق و نرم افزار GAMS قادر به حل مدل نشدند، لذا از الگوریتم فراابتکاری چندهدفه شناخته شده NSGA-II برای حل مسأله در ابعاد بزرگ و تولید جواب ها استفاده شد. به منظور صحت گذاری الگوریتم NSGA-II طراحی شده، نتایج حاصل از آن با نتایج حاصل از الگوریتم محدودیت افسیلون تعمیم یافته در حجم کوچک مقایسه شد. لذا با توجه به پایین بودن گپ موجود بین جواب های هر دو روش، اعتبار الگوریتم NSGA-II برای حل مسأله های بزرگ که بیشتر در دنیای واقعی مرسوم هستند مشخص شد.

۶. مراجع

- Baños, R., Ortega, J., Gil, C., Márquez, A. L. and De Toro, F. (2013) "A hybrid meta-heuristic for multi-objective vehicle routing problems with time windows", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 65, No. 2, pp. 286-296.
- Beheshtinia, M. A. and Ghasemi, A. (2017) "A multi objective and integrated model for supply chain scheduling optimization in a multi-site manufacturing system", *Engineering Optimization* Vol. 50, NO. 9, , pp. 1-19.
- Bui, L. T. and Alam, S. (2008) "An introduction to multi-objective optimization", *Multi-Objective Optimization in Computational Intelligence: Theory and Practice*, pp. 1-19.
- Coello, C. A. C., Lamont, G. B. and Van Veldhuizen, D. A. (2007) "Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems", Springer
- Euchi, J. and Euchi, J. (2017) "Genetic scatter search algorithm to solve the one-commodity pickup and delivery vehicle routing problem", *Journal of Modelling in Management*, Vol. 12, No. 1, pp. 2-18.
- Gang, H., Zhijing, G., Peng, Y. and Junqing, S. (2016) "Vehicle routing problem with simultaneous pickups and deliveries and time windows considering fuel consumption and carbon emissions". Paper presented at the Control and Decision Conference (CCDC), 2016 Chinese.
- Hernandez, F., Gendreau, M. and Potvin, J. Y. (2017) "Heuristics for tactical time slot management: a periodic vehicle routing problem view", *International Transactions in Operational Research*.
- Javad, M. O. M. and Karimi, B. (2017) "A simulated annealing algorithm for solving multi-depot location routing problem with backhaul", *International Journal of Industrial*

- Management Science and Engineering Management.
- Saeedi Mehrabad, M., Aazami, A. and Goli, A. (2017) "A location-allocation model in the multi-level supply chain with multi-objective evolutionary approach", Journal of Industrial and Systems Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 0-0.
 - Shi, J., Zhang, G. and Sha, J. (2011) "Optimal production planning for a multi-product closed loop system with uncertain demand and return", Computers & Operations Research, Vol. 38, No. 3, pp. 641-650.
 - Shi, Y., Boudouh, T. and Grunder, O. (2017) "A hybrid genetic algorithm for a home health care routing problem with time window and fuzzy demand", Expert Systems with Applications, Vol. 72, pp. 160-176.
 - Srinivas, N. and Deb, K. (1994) "Multiobjective optimization using nondominated sorting in genetic algorithms", Evolutionary computation, Vol. 2, No. 3, pp. 221-248.
 - Sze, J. F., Salhi, S. and Wassan, N. (2017) "The cumulative capacitated vehicle routing problem with min-sum and min-max objectives: An effective hybridisation of adaptive variable neighbourhood search and large neighbourhood search", Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 101, pp. 162-184.
 - Beheshtinia, M. and Aarabi, A. (2017) "A genetic algorithm for integration of vehicle routing problem and production scheduling in supply chain (case study: medical equipment supply chain)", Industrial Engineering journal, Vol. 51, No. 2, pp. 147-160 (In Persian)
 - and Systems Engineering, Vol. 25, No. 4, pp. 460-477.
 - Ma, Y., Han, J., Kang, K. and Yan, F. (2017) "An improved ACO for the multi-depot vehicle routing problem with time windows". Paper presented at the Proceedings of the Tenth International Conference on Management Science and Engineering Management.
 - Majidi, S., Hosseini-Motlagh, S.-M. and Ignatius, J. (2017) "Adaptive large neighborhood search heuristic for pollution-routing problem with simultaneous pickup and delivery", Soft Computing, pp. 1-15.
 - Mavrotas, G. and Florios, K. (2013) "An improved version of the augmented ϵ -constraint method (AUGMECON2) for finding the exact pareto set in multi-objective integer programming problems", Applied Mathematics and Computation, Vol. 219, No. 18, pp. 9652-9669.
 - Meng, Q., Lee, D.-H. and Cheu, R. L. (2005) "Multiobjective vehicle routing and scheduling problem with time window constraints in hazardous material transportation", Journal of transportation engineering, Vol. 131, No. 9, pp. 699-707.
 - Mingyong, L. and Erbao, C. (2010) "An improved differential evolution algorithm for vehicle routing problem with simultaneous pickups and deliveries and time windows", Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol. 23, No. 2, pp. 188-195.
 - Monirian, M. A., Vaziri, S. M. and Vaziri, A. M. (2017) "Located Multiple Depots and Vehicles Routing with Capacity Problem". Paper presented at the Proceedings of the Tenth International Conference on

پدرام معماری، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۹۴ از دانشگاه صنعتی ارومیه اخذ نمود و از سال ۱۳۹۵ در حال تحصیل در درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع گرایش بهینه سازی سیستم‌ها دانشگاه تهران است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان در تحلیل پوششی داده ها، داده کاوی و شبکه های هوشمند است.



محمد پرتوی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۹۴ از دانشگاه صنعتی ارومیه اخذ نمود و از سال ۱۳۹۵ در حال تحصیل در درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع گرایش بهینه سازی سیستم‌ها دانشگاه تهران است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدلسازی مسایل، تحلیل مسایل و داده کاوی است



فریبرز جولای، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۶۶ و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۶۹ از دانشگاه امیرکبیر ایران اخذ نمود. در سال ۱۳۷۴ کارشناسی ارشد دوم خود را در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه INPG گرونوبل - فرانسه اخذ نمود. در سال ۱۳۷۷ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه INPG گرونوبل - فرانسه گردید. زمینه پژوهشی مورد علاقه ایشان بهینه سازی سیستم های تولیدی و خدماتی در شرایط قطعی و تصادفی است.



رضا توکلی مقدم، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۶۷ از دانشگاه علم و صنعت ایران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۷۲ از دانشگاه ملیورن - استرالیا اخذ نمود. در سال ۱۳۷۶ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه سوین‌برن - استرالیا گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان در طراحی سیستم‌های صنعتی، مسیریابی وسایط حمل و نقل، لجستیک و طراحی شبکه زنجیره تامین، زمانبندی و توالی عملیات، الگوریتم‌های فراابتکاری در بهینه‌سازی است.

