مقاله پژوهشی

ارائه مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای مسئله مسیریابی وسیله نقلیه چندمحصولی با پنجره زمانی و تقاضای فازی (موردمطالعه: شرکت قفلیران)

حمـزه امین طهمـاسبی[1*]، امیر زره پوش[2]

دانشگاه گیلان شرکت قفلیران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۳۱

چکیده

در این پژوهش، مدل‌سازی یک مسئله واقعی و کاربردی از سیستم توزیع و پخش یک شرکت تولیدکننده قطعات خودرو انجام می‌شود. شرکت قفلیران که یکی از تولیدکنندگان مطرح در زمینه ساخت قطعات برای خودروسازان و بازار خرده‌فروشی است، محصولات مختلفی را تولید کرده و سعی دارد تا با کم‌ترین هزینه در سیستم توزیع خود، بیشترین رضایت‌مندی مشتری را در تحویل به‌موقع کالا به دست آورد. در این پژوهش مدلی از مسیریابی وسیله نقلیه ارائه می‌شود که در آن پنجره زمانی و تقاضای چندمحصولی مشتریان، در حالت عدم قطعیت و به‌صورت فازی در نظر گرفته‌شده است. درواقع هر مشتری پنجره زمانی جهت دریافت سفارش‌ها به‌صورت ذوزنقه‌ای دارد که در آن رضایت‌مندی مشتری در بهترین حالت، (۱) بوده و در قبل و بعدازآن، میزان رضایت‌مندی مشتری کاهش می‌یابد. در تابع هدف کمینه‌سازی مسافت طی شده و بیشینه‌سازی رضایت‌مندی مشتری مدنظر است. مدل ارائه‌شده در این پژوهش، توسط نرم‌افزار گمز حل‌شده و نتایج نسبت به عملکرد جاری شرکت، بهبود بسیار مناسبی را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی ریاضی فازی، مسیریابی وسیله نقلیه، چندمحصولی، پنجره زمانی فازی، شرکت قفلیران

۱- مقدمه

بازارهای امروزی رقابتی و پویاست. تغییرات سریع فنّاوری، جهانی‌شدن و انتظارات متفاوت مشتریان موجب تغییر ماهیت رقابت بین شرکت‌ها و تبدیل آن به رقابت بین زنجیره‌های تأمین آن‌ها شده است. زنجیره تأمین شامل تمام کسب‌وکارها و واحدهایی است که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم تأمین‌کننده و برطرف‌کننده تقاضای نهایی مشتری هستند [۱]. ازآنجایی‌که توزیع کالا به‌طور متوسط حدود (۲۰٪) از هزینه کل تولید را تشکیل می‌دهد، بهبود کار آیی در حمل‌ونقل کالاها باعث صرفه‌جویی زیادی در قیمت تمام‌شده آن‌ها و یک مزیت رقابتی در اقتصاد منطقه‌ای محسوب می‌شود. بیشتر مسائل حوزه توزیع کالا می‌توانند به‌صورت مسئله مسیریابی وسیله نقلیه (VRP[3]) در نظر گرفته شوند که تعمیم مسئله فروشنده دوره‌گرد است [۲]. مسئله مسیریابی وسیله نقلیه درصدد است تا با مدل‌های ریاضی و بهینه‌سازی به‌گونه‌ای عمل نماید که مسافت طی شده، زمان کل سفر، تعداد وسایل نقلیه، جریمه‌های دیرکرد و درنهایت تابع هزینه حمل‌ونقل، حداقل گردد [۳]. در بسیاری از برنامه‌های واقعی، اطلاعات دقیق و کافی در دسترس نیست. به‌عنوان‌مثال، زمان سفر از یک مکان به مکان دیگر، به دلیل تعدادی از عوامل، مانند ترافیک، حوادث، آب‌وهوا و حتی آدرس‌های اشتباه، همیشه دقیقاً همان زمان نیست [۴]. درصورتی‌که عوامل نامشخص، ذهنی، مبهم و غیردقیق باشند، رویکرد متغیر فازی برای

۱*- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی شرق، دانشگاه گیلان، نویسنده مسئول، پست الکترونیک: amintahmasbi@guilan.ac.ir نشانی: رودسر، واجارگاه، دانشگاه گیلان، دانشکده فنی مهندسی شرق گیلان، گروه مهندسی صنایع

۲- کارشناس ارشد مهندسی صنایع، مدیر برنامه ریزی شرکت قفلیران پست الکترونیک: amir.zerehpoosh@gmail.com

3- Vehicle Routing Problem

نشان دادن مشکل مناسب‌تر است [۵]. بسیاری از مشتـــریان جهت افزایش میزان بهره‌وری و کاهش هزینه‌های انبارش، یک بازه زمانی را در طول روز برای تحویل ورودی‌ها از تأمین‌کنندگان در نظر می‌گیرند. این مفهوم همان مدل مسیریابی وسیله نقلیه با پنجره زمانی (VRPTW[1]) است. حتی ممکن است برای تأمین‌کنندگان خود با توجه به بازه زمانی تحویـــل، جرائمی نسبت به زمان دیرکرد تحویل کالا در نظرگیرند که بیانگر مدل مسیریابی با پنجره زمانی سخت (VRPHTW[2]) است.

موضوع مسیریابی وسیله نقلیه برای اولین بار توسط دانزینگ و رامسر [۶] در سال (۱۹۵۹) مطرح شد. بعدها، توسط کلارک و همکاران [۷] در سال (۱۹۶۴) برای حل مشکل مسیریابی، الگوریتم ذخیره‌سازی که یک الگوریتم اکتشافی است پیشنهاد شد. پنگ و همکاران [۸] در سال (۲۰۱۰) مسئله مسیریابی وسیله نقلیه را با تقاضا فازی ارائه نمودند و مدل خود را با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات حل نمودند. وانگ و همکاران [۹] مسئله پستچی را که دارای حالت پنجره زمانی است با بهره‌گیری از تئوری فازی ارائه داد. ملک لئ و همکاران [۱۰] مسئله مسیریابی وسیله نقلیه را مدلی با در نظر گرفتن متغیرهای تقاضای فازی – احتمالی ارائه کردند و هدف مسئله را نیز کاهش هزینه حمل‌ونقل بیان نمودند و مدل را با الگوریتم جستجوی ممنوعه حل نمودند. اربائو و مینگ یانگ [۱۱] با در نظر گرفتن تقاضا مشتری در حالت فازی مدلی برای مسئله مسیریابی وسیله نقلیه ارائه دادند و مدل را با الگوریتم تکاملی – تفاضلی حل نمودند. بریتو و همکاران [۱۲] در سال (۲۰۱۰)، مدلی برای مسئله مسیریابی وسیله نقلیه ارائه دادند که در آن هزینه فازی در تابع هدف با پنجره زمانی و محدودیت‌های فازی فرموله شده است و مدل را توسط یک الگوریتم فرا ابتکاری – ترکیبی حل نمودند. قنادپور و همکاران [۱۳] زمان سفر را که در مناطق شهری به علت عوامل مختلفی مانند حوادث، شرایط ترافیکی و شرایط آب‌وهوایی متغیر است، به‌عنوان زمان سفر فازی در نظر گرفتند. در مدل ایشان، حجم کل ناوگان موردنیاز، کل فاصله سفر و زمان انتظار برای وسایل نقلیه به حداقل می‌رسد و رضایت کلیه مشتریان برای خدمات حداکثر می‌شود. مجیدی و همکاران [۱۴] مسئله مسیریابی وسیله نقلیه سبز را با شرایط برداشت و تحویل[3] ارائه نمودند که در آن دو رویکرد برداشت و تحویل به‌صورت فازی است و مدل را با الگوریتم جستجوی بزرگ همسایگی انطباقی حل نمودند. یانگشی و همکاران [۱۵] مدل مسیریابی برای خدمات دارورسانی ارائه دادند که تقاضا در آن به‌صورت فازی است و مدل را با الگوریتم ژنتیک ترکیبی حل نمودند. در آخرین پژوهش‌ها می‌توان به پژوهش ورنر و کوندراتنکو [۱۶] اشاره کرد که یک رویکرد فازی جایگزین برای مسئله مسیریابی وسیله نقلیه ظرفیت دار ارائه نمودند که در مورد تانکرهای سوخت‌رسان دریایی بود که باهدف حداکثر کردن فروش سوخت و با در نظر گرفتن تقاضای فازی، مدلی ارائه نمودند و با الگوریتم اکتشافی تکراری مدل را حل نمودند. قناد پور و همکاران [۱۷] مدل مسیریابی وسیله نقلیه با پنجره زمانی را ارائه کردند و در آن علاوه بر کمینه‌سازی مصرف انرژی، افزایش رضایت‌مندی مشتری از زمان سرویس را در نظر گرفتند.

یان فنگ [۱۸] به بررسی چندین پنجره زمانی به‌عنوان متغیرهای فازی برای مشتریان پرداخته و میزان رضایت مشتری را با تابع عضویت زمان شروع ارائه داد. در این مدل رانندگی خودرو با چندین پنجره فازی برای کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و تعداد وسایل نقلیه و به حداکثر رساندن سطح رضایت‌مندی ساخته شد. سپس با توجه به ویژگی‌های مدل، از عوامل تنبیهی برای مقابله با محدودیت‌ها استفاده گردید و مدل مسئله را با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات حل نمودند

سلیمانی و همکاران [۱۹] مدلی را جهت مسیریابی و زمان‌بندی وسایل نقلیه و توزیع هم‌زمان کالاهای ضروری در عملیات امداد بشردوستانه پس از بحران، ارائه کردند. در این مدل برنامه مسیر امدادرسانی و ترتیب بازدید نقاط آسیب‌دیده توسط هر وسیله نقلیه مشخص‌شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد باوجود محدودیت وسایل نقلیه ناهمگن و با در نظر گرفتن تأمین تقاضای هر نقطه آسیب‌دیده، مقادیر و برنامه مسیر به‌دست‌آمده کمینه زمان پایان عملیات امدادرسانی را موجب می‌شود. آنچه در واقعیت این نوع مسائل وجود دارد میزان تقاضا مشتریان به‌صورت غیرقطعی بیان‌شده است و همچنین بر اساس میزان حجم ترافیک و اتفاقات جاده‌ای، فاصله زمانی بین مشتریان نیز غیرقطعی بیان‌شده است.

1- Vehicle routing with time windows
2-Vehicle routing with hard time windows

3- FGVRPPD

جدول (۱)- مقالات مشابه در حوزه مسیریابی وسیله نقلیه در حالت عدم قطعیت با روش فازی

منبع	مفروضات پژوهش	تابع هدف پژوهش	الگوریتم پیشنهادی
[۸]	تقاضا به‌صورت فازی	کمینه کردن هزینه جابجایی	الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات
[۱۰]	تقاضا به‌صورت فازی	کمینه کردن هزینه جابجایی	الگوریتم جستجوی ممنوعه
[۱۱]	تقاضا به‌صورت فازی	کمینه کردن هزینه جابجایی	الگوریتم تکاملی - تفاضلی
[۱۲]	پنجره زمانی به‌صورت فازی	کمینه کردن هزینه جابجایی	الگوریتم فراابتکاری-ترکیبی
[۱۳]	زمان سفر و انتظار به‌صورت فازی	حداقل کردن زمان سفر حداکثر کردن رضایت مشتریان	الگوریتم ژنتیک ترکیبی
[۱۴]	برداشت و تحویل به‌صورت فازی	حداکثر کردن رضایت مشتریان	الگوریتم ALN
[۱۵]	تقاضا به‌صورت فازی	کمینه کردن هزینه جابجایی	الگوریتم ژنتیک ترکیبی
[۱۶]	تقاضا به‌صورت فازی	حداکثر کردن فروش سوخت	الگوریتم اکتشافی تکراری
[۱۷]	پنجره زمانی به‌صورت فازی	حداکثر کردن رضایت مشتریان	الگوریتم ژنتیک تکاملی
[۱۸]	پنجره زمانی به‌صورت فازی	کمینه کردن مسافت طی شده و رضایت‌مندی مشتری	الگوریتم PSO
[۱۹]	تقاضا به‌صورت فازی	کمینه‌سازی مجموع وزنی زمان	حل با روش دقیق lingo

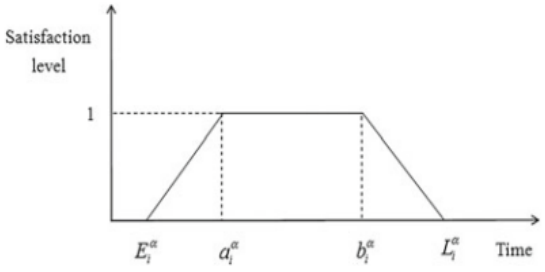
با توجه به اینکه پژوهش به دنبال حل مسئله‌ای واقعی هست، ابتدا مفروضات و خواسته‌های کارخانه و متغیرهای واقعی استخراج شد. موردمطالعه این پژوهش، شرکت قفلیران است. در این شرکت با توجه به تغییرات در سفارش مشتریان، انجام برنامه‌ریزی حمل‌ونقل برای تحویل به‌موقع محصولات بسیار حائز اهمیت است و مقدار تقاضای مشتریان قطعی نیست و به‌صورت فازی است. همچنین با توجه به فاصله جغرافیایی این شرکت در شهر صنعتی رشت با مشتریان خود که در تهران هستند و در نظر گرفتن اتفاقات جاده‌ای و مشکلات آب‌وهوا، فاصله زمانی بین مشتریان و شرکت قفلیران نیز در حالت عدم قطعیت بوده و به‌صورت فازی هست.

اما همان‌طور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، در اغلب پژوهش‌های گذشته، مقدار تقاضا و فاصله زمانی بین مشتریان به‌صورت هم‌زمان در حالت عدم قطعیت بیان‌نشده است. درواقع با توجه مشخص نبودن تعداد دقیق سفارش‌ها از سوی مشتری و با توجه به حساسیت مشتری به تحویل به‌موقع کالا فاصله زمانی بین مشتریان و همچنین تقاضای ایشان، می‌بایست به‌صورت فازی در نظر گرفته می‌شد. لذا با اشراف و استفاده از مدل‌های موجود که بیشترین تطابق را با مسئله داشته باشند، مدل ارائه‌شده توسط یان و ونگ [۱۸] که در تحقیق خود پنجره زمانی را به‌صورت فازی در نظر گرفته بودند و مدل شی و همکاران [۱۵] که تقاضای مشتریان را به‌صورت فازی در نظر گرفته بودند انتخاب و با الهام از آن‌ها مدل جدیدی توسعه داده شد. در تابع هدف نیز با نظر مدیریت عامل و هیئت‌مدیره شرکت، کمینه‌سازی مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه و بیشینه نمودن رضایت مشتری مدنظر قرارگرفته است. شکل (۱) به‌منظور درک بهتر توسعه مدل ریاضی رسم گردیده است.

شکل (۱) -شمای کلی از مدل ریاضی تحقیق

۲- بیان مسئله

در این مسئله مجموعه‌ای از مشتریان شرکت قفلیران وجود دارند که در نقاط مختلف جغرافیایی پراکنده‌شده‌اند. شرکت دارای ناوگانی از وسایل نقلیه باری همگن است که دارای ظرفیت وزنی مشخص و برابرند. مشتریان، متقاضی چند کالا با وزن‌های مختلف هستند که تقاضایشان را به‌طور قطعی اعلام نکرده‌اند. همچنین در طول مسیر، زمان سفر بین مشتریان به دلیل عوامل طبیعی و محیطی مانند ترافیک و باران، به‌طور قطعی مشخص نیست. وسیله نقلیه باید از انبار مرکزی در محل شرکت شروع به حرکت نمایند و پس از سرویس‌دهی به مشتریان مربوطه دوباره به انبار برگردند. برای حداکثر سازی رضایت‌مندی مشتریان مطابق شکل (۲) از پنجره زمانی ذوزنقه استفاده‌شده است، هر مشتری پنجره زمانی به شکل یک عدد فازی ذوزنقه‌ای دارد که در آن رضایت‌مندی مشتری در بهترین حالت (۱) است و در قبل و بعد از زمان مورد انتظار مشتری، میزان رضایت‌مندی کاهش‌یافته و به‌تدریج به سمت (۰) میل می‌کند.



شکل (۲) پنجره زمانی فازی ذوزنقه‌ای مربوط به سطح رضایت مشتری

مفروضات مدل به شرح زیر است:

- فقط یک انبار در نظر گرفته می‌شود.
- هر وسیله نقلیه باید سفر خود را از انبار شروع کرده و بعد از سرویس‌دهی به مشتریان به انبار برگردد.
- تمامی وسایل نقلیه همگن می‌باشند و دارای ظرفیت محدودند.
- مشتریان می‌توانند چند محصول با وزن‌های مختلف تقاضا نمایند.
- مشتریان دارای تقاضای غیرقطعی از نوع فازی می‌باشند.
- زمان سفر بین مشتریان دارای عدم قطعیت از نوع فازی است.
- مسافت بین مشتریان مشخص است.
- هزینه جابجایی بین هر مشتری مشخص است.

پارامترها:

پارامترها و متغیرهای مسئله به شرح زیر است:

v: تعداد انواع وسایل نقلیه

p: تعداد انواع محصولات

n: تعداد انواع مشتریان

k: اندیس انواع وسایل نقلیه

e: اندیس انواع محصولات

i,j: اندیس انواع مشتریان (n نشانگر دپو است)

$\tilde{d}_{i,e}$: قاضای فازی محصول نوع e در نقطه i

E_i^α: زودترین زمان ممکن قبل از زمان تحویل واقعی برای مشتری i در پنجره زمانی α

a_i^α: حداقل زمان تحویل برای مشتری i در پنجره زمانی α

b_i^α: حداکثر زمان تحویل برای مشتری i در پنجره زمانی α

l_i^α: دیرترین زمان ممکن بعد از زمان تحویل برای مشتری i در پنجره زمانی α

tm_k: ظرفیت زمانی خودرو وسیله حمل‌ونقل

$[E_i^\alpha, a_i^\alpha, b_i^\alpha, l_i^\alpha]$: پنجره زمانی فازی برای پنجره زمانی α برای مشتری

t_i: زمان شروع سرویس دادن وسیله نقلیه به مشتری i

s_i: مدت‌زمان سرویس وسیله نقلیه به مشتری i

$\tilde{t}_{i,j}$: مان جابجایی از مشتری i به مشتری j

cap: ظرفیت حمل وسایل نقلیه برحسب کیلوگرم

w_e: وزن هر واحد محصول نوع e به کیلوگرم

w_{ni} : اعداد مشتریان دارای پنجره زمانی

c_{ij}: هزینه جابجایی از مشتری i به مشتری j

dis_{ij}: فاصله مکانی مابین مشتری i و مشتری j با سفر مستقیم بین آن‌ها

متغیر تصمیم:

$x_{i,j,k}$: اگر با وسیله نقلیه k، بین مشتری i و j جابجایی رخ دهد یک و در غیر اینصورت صفر

$y_{i,a}$: گر وسیله نقلیه در پنجره زمانی a به مشتری i خدمت دهد یک، در غیر این صورت صفر

Y_{ke}: اگر وسیله نقلیه k جابجایی محصول e را به عهده بگیرد یک، در غیر این صورت صفر

ارائه مدل ریاضی:

این مدل دو هدف اصلی دارد که هدف اول (معادله ۲) کمینه کردن مسافت طی شده وسیله نقلیه هست و هدف دوم (معادله ۳) بیشینه کردن میانگین رضایت مشتریان با توجه به رابطه فازی تعریف‌شده در معادله (۱) است.

$$\mu_i(t_i)\begin{cases} 0, t_i < E_i^\alpha \\ \dfrac{t_i - E_i^\alpha}{a_i^\alpha - E_i^\alpha}, E_i^\alpha < t_i < a_i^\alpha \\ 1, a_i < t_i < b_i \\ \dfrac{L_i^\alpha - t_i}{L_i^\alpha - b_i^\alpha}, b_i^\alpha < t_i < L_i^\alpha \\ 0, t_i > L_i^\alpha \end{cases} \quad (۱)$$

$$Min\ z_1 = \sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{n+1}\sum_{k=1}^{v} dis_{ij}\, x_{ijk} \quad (۲)$$

$$Max\ z_2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \mu_i\,(t_i) \quad (۳)$$

subject to:

$$\sum_{i=0}^{n} x_{0jk} = 1 \qquad \forall i, \quad (۴)$$

$$\sum_{i=0}^{n} x_{i0k} = 1 \qquad \forall k, \quad (۵)$$

$$\sum_{k=1}^{n}\sum_{j=0}^{n} x_{ijk} = 1 \qquad \forall i \quad (۶)$$

$$\sum_{k=1}^{n}\sum_{i=0}^{n} x_{ijk} = 1 \qquad \forall j \quad (۷)$$

$$\sum_{k=1}^{n}\sum_{j=0}^{n} \tilde{d}_{ie}\, w_e \left[\sum_{j=0}^{n} x_{ijk}\right] \le cap\,, \quad \forall k \quad (۸)$$

$$\sum_{k=1}^{n}\sum_{j=0}^{n} \tilde{d}_{ie}\, x_{ijk} \le 0 + MY_{ke}, \quad \forall k \quad (۹)$$

$$\sum_{k=1}^{n}\sum_{j=0}^{n} \tilde{d}_{ie}\, x_{ijk} \le M(1 - Y_{ke}), \quad \forall k \quad (۱۰)$$

$$l_i^{\alpha} \le E_i^{\alpha+1} \,, \forall i \in L \,, \alpha \epsilon \{1,2, \dots . , w_n - 1\} \quad (11)$$

$$Max \left\{ \sum_{\alpha=1}^{wn_i} y_i^{\alpha} E_i^{\alpha} \,, (t_i + s_i + \tilde{t}_{ij}) x_{ijk} \right\} \le t_j \quad , \forall i, j \in L \,, \forall k \in k, \quad (12)$$

$$t_j \le \sum_{\alpha=1}^{wn_i} y_j^{\alpha} L_i^{\alpha} \quad , \forall j \in L \quad (13)$$

$$\sum_{\alpha=1}^{wn_i} \left(s_i + \tilde{t}_{ij}\right) x_{ijk} \le tm \quad , \forall i, j \in L \,, \quad \forall k \in k, \quad (14)$$

$$\sum_{\alpha=1}^{wn_i} y_i^{\alpha} = 1 \quad , \forall i \in L \quad (15)$$

$$x_{ijk} = 0 \; or \; 1 \quad , \forall i, j, k \quad (16)$$

$$y_i^{\alpha} = 0 \; or \; 1 \quad , \forall i \in L \,, \alpha \in \{1,2, \dots , wn_i\} \quad (17)$$

$$Y_{ke} = 0 \; or \; 1 \quad , \forall i, j, k, e \quad (18)$$

محدودیت (۴) شرایط بارگیری وسایل نقلیه را تعیین می‌کند که وسایل نقلیه از انبار (i=0) شروع به حرکت نماید. محدودیت (۵) نیز تعیین می‌کند که وسایل نقلیه به انبار (j=0) برگردند. محدودیت‌های (۶و۷) تعیین‌کننده شرایطی می‌باشند که تمام مشتریان در طول سفر وسایل نقلیه بازدید شوند و اینکه وسیله نقلیه به هر مشتری وارد می‌شود از همان مشتری خارج گردد. محدودیت (۸) نشانگر ظرفیت وزنی وسایل نقلیه است، به‌طوری‌که مجموع حاصل‌ضرب میزان تقاضا که به‌صورت فازی بیان‌شده، در وزن محصول نباید بیشتر از ظرفیت خودرو باشد. محدودیت‌های (۹و۱۰) این محدودیت را تحت کنترل دارند که آیا وسیله نقلیه (K) تحویل محصول (e) را بر عهده می‌گیرد یا نه. محدودیت (۱۱) کنترل می‌کند که زودترین زمان تحویل پنجره زمانی (α+1) از دیرترین زمان تحویل پنجره زمانی (α) بزرگ‌تر باشد. محدودیت‌های (۱۲) و (۱۳) این اطمینان را می‌دهند که مشتری در پنجره زمانی خود سرویس دریافت کند. محدودیت (۱۴) نشانگر ظرفیت زمانی وسیله نقلیه است. محدودیت (۱۵) این اطمینان را می‌دهد که وسیله نقلیه در پنجره زمانی αبه مشتری i سرویس می‌دهد. محدودیت‌های (۱۶) و (۱۷) و (۱۸) دامنه متغیرها را تعیین می‌کنند.

۳- حل مسئله

در این پژوهش از اطلاعات شرکت قفلیران واقع در شهر صنعتی رشت استفاده‌شده است که یک شرکت قطعه ساز در صنعت خودروسازی هست. این پژوهش برای تعداد (۷) مشتری این شرکت که برای (۴) محصول از تاریخ اول خرداد (۱۳۹۷) تا (۳۰) تیرماه (۱۳۹۷) سفارش گذاری نموده‌اند، طرح‌شده و در ادامه حل می‌گردد. میزان تقاضای این مشتریان در سه حالت بیشینه، کمینه و متوسط در نظر گرفته‌شده است. ازآنجایی‌که تمامی مشتریان خارج از استان گیلان می‌باشند و در مسیر حرکت وسیله نقلیه ممکن است عواملی ازجمله بدی آب‌وهوا و ترافیک حاصل از ازدحام، تصادف و نیز ترافیک حاصل از طرح‌های راهنمایی رانندگی دخیل باشند، لذا فاصله این مشتریان به‌صورت فازی در سه حالت خوش‌بینانه و متوسط و بدبینانه در نظر گرفته‌شده است.

جدول (۲). زمان سرویس‌دهی و بازه تحویل کال ازنظر مشتریان

مشتری	زمان سرویس‌دهی	زودترین زمان تحویل	بهترین زمان آغاز تحویل	بهترین زمان انتهای تحویل	دیرترین زمان تحویل
ایران‌خودرو	۲	۷	۱۰	۱۳	۲۰
ایساکو	۳	۸	۱۱	۱۴	۱۷
قالب‌های صنعتی	۱	۸	۱۱	۱۴	۱۸
پارس‌خودرو	۱/۵	۸	۱۲	۱۶	۱۷
سایپا	۱	۹	۱۱	۱۴	۱۸
دفتر فروش ۱	۱	۸	۱۱	۱۶	۱۷
دفتر فروش ۲	۱	۸	۱۲	۱۶	۱۷

جدول (۳). میزان کمینه، متوسط و بیشینه تقاضای مشتریان برای محصولات مختلف به همراه وزن محصولات

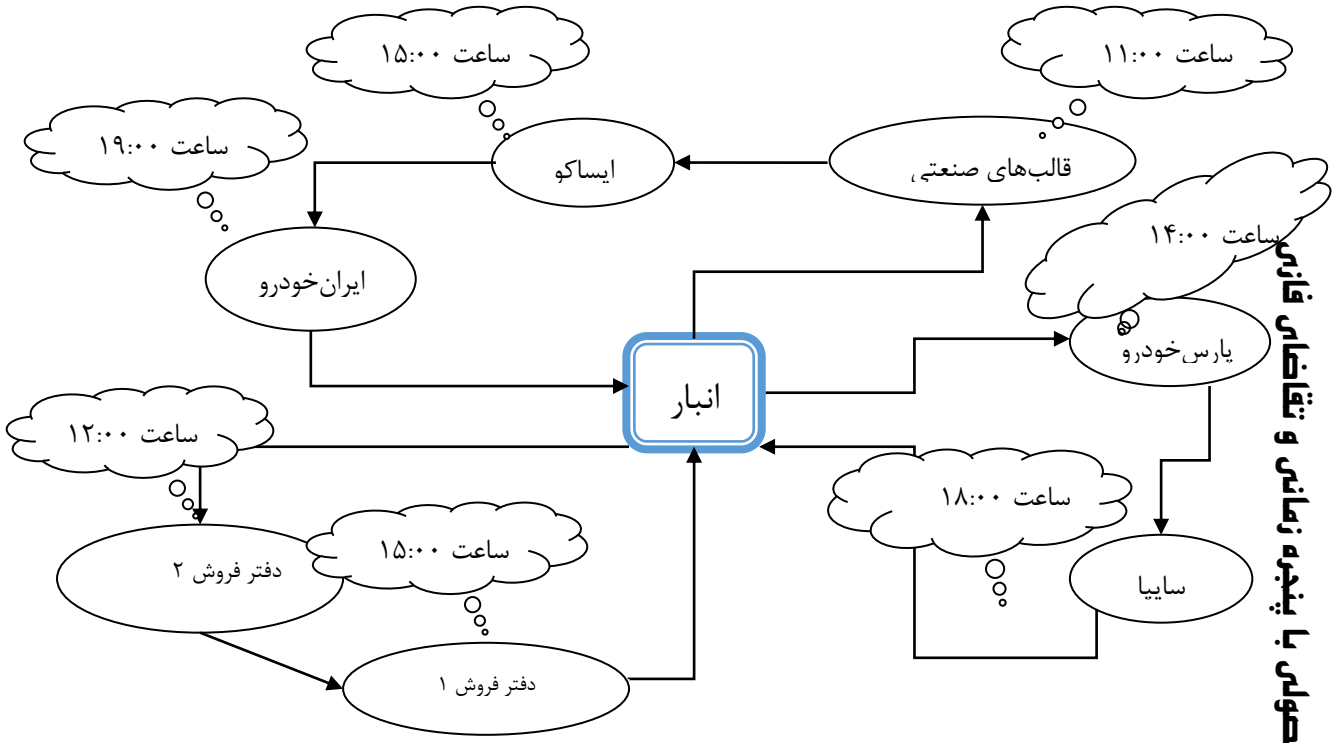
ردیف	محصول / مشتری	تقاضا											
		لولای تیبا ۲ وزن: ۰،۲۵ کیلوگرم			قفل درب ۲۰۶ وزن: ۰،۰۵ کیلوگرم			پایه دینام وزن: ۱،۰۸ کیلوگرم			لولای صندوق‌عقب پراید وزن: ۰،۰۹ کیلوگرم		
		min	ave	max	min	ave	max	min	ave	max	min	ave	max
۱	ایران‌خودرو	۰	۰	۰	۱۱۵۲	۱۵۳۶	۱۹۲۰	۱۲۶۰	۲۱۰۰	۳۳۶۰	۰	۰	۰
۲	ایساکو	۰	۰	۰	۸۱۶	۱۶۳۲	۲۴۴۸	۳۰۰	۶۰۰	۹۰۰	۰	۰	۰
۳	قالب‌های صنعتی	۲۱۰۰	۴۵۵۰	۵۹۵۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۰۰	۶۰۰	۸۰۰
۴	پارس‌خودرو	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۸۰۰	۱۱۲۰	۱۶۰۰
۵	سایپا	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۸۰۰	۱۴۰۰	۱۷۶۰
۶	دفتر فروش ۱	۷۰۰	۱۴۰۰	۲۱۰۰	۳۶۰	۷۲۰	۱۴۴۰	۲۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۲۰۴	۳۰۶	۵۱۰

جدول (۴). فاصله زمانی مشتریان در سه حالت خوش‌بینانه -متوسط-بدبینانه برحسب ساعت

مشتری	ایران‌خودرو			ایساکو			قالب‌های صنعتی			پارس‌خودرو			سایپا			دفتر فروش ۱			دفتر فروش ۲		
	خوش‌بینانه	متوسط	بدبینانه	خوش‌بینانه	متوسط	بدبینانه	خوش‌بینانه	متوسط	بدبینانه	خوش‌بینانه	متوسط	بدبینانه	خوش‌بینانه	متوسط	بدبینانه	خوش‌بینانه	متوسط	بدبینانه	خوش‌بینانه	متوسط	بدبینانه
قفلیران	۶	۷	۸	۷/۵	۸	۹	۵/۵	۶/۵	۸	۷	۷/۵	۸	۷	۷/۵	۸	۷	۷/۵	۸	۷/۵	۸	۸/۵
ایران خودرو	۰	۰	۰	۱	۲	۳	۱/۵	۲	۲/۵	۰/۵	۱	۱/۵	۱	۱/۵	۲	۳	۳/۵	۴	۳/۵	۴	۴/۵
ایساکو	۱	۲	۳	۰	۰	۰	۱	۲	۳	۱	۱/۵	۲	۱	۱/۵	۲	۳/۵	۴	۴/۵	۳/۵	۴	۴/۵
قالب‌ها صنعتی	۱/۵	۲	۲/۵	۱/۵	۲	۳	۰	۰	۰	۰/۵	۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳	۳	۴	۵	۳/۵	۴	۴/۵
پارس‌خودرو	۰/۵	۱	۱/۵	۱/۲	۱/۵	۲	۲	۱	۲	۰	۰	۰	۱	۱/۵	۲	۳/۵	۴	۵	۴	۴/۵	۵/۵
سایپا	۱	۱/۵	۲	۱	۱/۵	۲	۲	۲/۵	۳	۱	۱/۵	۲	۰	۰	۰	۳/۵	۴	۴/۵	۳/۵	۴	۴/۵
دفتر فروش ۱	۳	۳/۵	۴	۳/۵	۴	۴/۵	۳	۴	۵	۳/۵	۴	۵	۴/۵	۴	۳/۵	۰	۰	۰	۱	۱،۵	۲
دفتر فروش ۲	۳/۵	۴	۴/۵	۳/۵	۴	۴/۵	۳/۵	۴	۴/۵	۴	۴/۵	۵/۵	۳/۵	۴	۴/۵	۱	۱/۵	۲	۷/۵	۸	۸/۵

مطابق جدول (۳)، خودرو می‌تواند برای مشتری پارس‌خودرو (۸۰۰) عدد لولا به وزن (۰و۹) کیلوگرم بعلاوه برای مشتری سایپا (۸۰۰) عدد لولا به وزن (۰و۹) کیلوگرم بارگیری نماید که مجموعاً (۱۴۲۰) کیلوگرم هست که شرط وزن خودرو نیز رعایت شده است. مطابق جدول (۲)، مدت‌زمان تخلیه محموله در سایپا (۱) ساعت هست. زودترین زمانی که شرکت سایپا محموله را تحویل می‌گیرد ساعت (۹) صبح و دیرترین زمانی که تحویل می‌گیرد (۱۸) عصر است.

بازه زمانی (۱۱) تا (۱۴) مناسب‌ترین زمان تحویل کالا برای شرکت سایپا بوده و بنابراین جهت کسب بیشینه رضایت مشتری، وسیله نقلیه باید بین ساعت (۱۱) تا (۱۴) در سایپا حضورداشته باشد. مطابق جدول (۴) اگر وسیله نقلیه از شرکت قفلیران به مقصد سایپا حرکت کند در خوش‌بینانه‌ترین حالت، (۷) ساعت و در حالت متوسط (۷و۵) ساعت و در بدبینانه‌ترین حالت (۸) ساعت طول خواهد کشید تا به مقصد برسد.



شکل (۳)- مسیریابی وسایل نقلیه مطابق مدل حل‌شده در نرم‌افزار GAMS

جهت راستی آزمایی مدل و بررسی صحت آن، مدل مذکور با نرم‌افزار GAMS نسخه (۲۴.۱.۳) در یک کامپیوتر شخصی با پردازنده Core(TM) i۵ – ۴۲۱۰U CPU @ 1,7GHz و GB۶RAM با استفاده از روش CPLEX برای مسئله‌ای که اطلاعات تقاضای مشتریان مطابق جدول (۳) و اطلاعات زمانی تحویل کالا مطابق جدول (۲) است، حل می‌گردد. ظرفیت هر خودرو (۲۵۰۰) کیلو هست. نتایج حل مسئله با داده‌های جداول (۲) تا (۴)، در شکل (۳) نمایش داده‌شده است.

همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، سه مسیر پیشنهادشده است که نتایج به‌دست‌آمده به شرح زیر هست:

مسیر (۱): انبار –پارس‌خودرو (ساعت ۱۴)- سایپا (ساعت ۱۸)

مسیر (۲): انبار- شرکت قالب‌های صنعتی (ساعت ۱۱)- ایساکو (ساعت ۱۵) –ایران‌خودرو (ساعت ۱۹)

مسیر (۱): انبار –دفتر فروش (۲) (ساعت ۱۲)-دفتر فروش (۱) (ساعت ۱۵)

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از حل مدل در نرم‌افزار گمز، کل مسافت طی شده برابر (۲۸۳۰) کیلومتر و میانگین رضایت‌مندی مشتریان برابر (۰/۶۸) به‌دست‌آمده است که نسبت به روش سنتی، (۵) و (۱۰) درصد بهبود در نتایج را نشان می‌دهد که بیانگر کار آیی مدل پیشنهادی است.

جدول (۵). مقایسه نتایج حاصل از حل مدل توسعه داده‌شده با عملکرد شرکت

شماره مسئله	نتایج حل مدل پیشنهادی			نتایج روش سنتی		
	تعداد وسیله تخصیص داده‌شده	مسافت طی شده	رضایت‌مندی مشتریان	تعداد وسیله تخصیص داده‌شده	مسافت طی شده	رضایت‌مندی مشتریان
۱	۲	۱۹۹۰	۰،۵۴	۲	۲۷۰۰	۰،۵
۲	۲	۱۱۹۰	۰،۵۹	۲	۲۶۰۰	۰،۴
۳	۳	۲۵۳۰	۰،۵۲	۲	۳۶۰۰	۰،۴
۴	۳	۲۲۱۰	۰،۷۱	۲	۴۰۵۰	۰،۵
۵	۳	۱۸۱۰	۰،۷۳	۲	۴۳۰۰	۰،۵
۶	۴	۳۰۲۰	۰،۵۹	۳	۵۲۰۰	۰،۵
۷	۴	۳۰۷۰	۰،۵۸	۳	۵۱۰۰	۰،۵
۸	۵	۳۹۷۰	۰،۷۲	۴	۶۵۰۰	۰،۶
۹	۵	۴۰۷۰	۰،۶۷	۴	۶۰۰۰	۰،۵
۱۰	۶	۵۰۵۰	۰،۸۲	۵	۷۲۰۰	۰،۶

همچنین بر مبنای اطلاعات (۱۰) ماه گذشته، مسئله با مدل توسعه‌یافته، حل‌شده و نتایج در جدول (۵) نشان داده‌شده است. در جدول (۵) تعداد وسیله نقلیه در هر مسئله، کل مسافت طی شده توسط تمامی وسایل نقلیه و رضایت‌مندی مشتریان در حالت سنتی و مدل پیشنهادی مقایسه گردیده است. همان‌طور که از نتایج حل در جدول (۵) مشخص است، تقریباً در تمامی (۱۰) مسئله، مدل پیشنهادی توانسته بهبود بسیار مناسبی در مسافت طی شده و میزان رضایت‌مندی مشتریان ایجاد نماید. البته تعداد وسایل نقلیه در مسائل بزرگ‌تر افزایش‌یافته است اما با توجه به اینکه هزینه کل وسایل نقلیه کارخانه بر اساس نسبتی از مسافت طی شده محاسبه می‌گردد، تعداد وسایل نقلیه درنتیجه مسئله تأثیری ندارد و کل مسافت طی شده مدنظر است که کاهش محسوسی داشته است.

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش مدل مسیریابی وسیله نقلیه چندمحصولی با تقاضا و پنجره زمانی فازی طراحی و برای شرکت قفلیران حل‌شده است. داده‌های جمع‌آوری‌شده در ابعاد کوچک برای مشتری که در (۱) دوره (۲) ماهه برای محصول سفارش گذاری می‌نمایند، به روش cplex توسط نرم‌افزار گمز حل شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۵)، مسافت طی شده در مدل توسعه داده‌شده با مدل سنتی در حالت‌های مختلف تفاوت بسیار زیادی باهم دارند و در قسمت رضایت‌مندی مشتری نیز این تفاوت مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده کار آیی مدل هست. با توجه به استفاده از روش سنتی و گمانه‌زنی در برنامه ارسال کالای شرکت قفلیران در حال حاضر، مدل توسعه‌یافته در اختیار شرکت قرار گرفت. از مدل ارائه‌شده در این پژوهش می‌توان در حمل‌ونقل مواد فاسدشدنی به دلیل حساسیت بالای تحویل به‌موقع محصولات و نیز در سازمان آتش‌نشانی به‌منظور رسیدن به‌موقع به محل وقوع حادثه و انتخاب هیدرانت‌های سطح شهر برای حداقل کردن مسافت در مناطق پرحادثه استفاده نمود. همچنین می‌توان مسائل در اندازه بزرگ را که با الگوریتم‌های دقیق قابلیت حل در زمان مناسب را ندارند، با الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری حل نمود.

۶- منابع و مآخذ

[۱] حمزه امین طهماسبی، سینا صدفی، ***ارائه الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه میرایی ارتعاشات برای مسئله مکان‌یابی تسهیلات و تخصیص سهم به تأمین-کنندگان در یک زنجیره تأمین چند دوره‌ای چند محصولی، مدیریت زنجیره تأمین***، شماره (۶۳)، صفحه (۳۱-۵۰)، تابستان (۱۳۹۸)

[۲] حمزه امین طهماسبی، امیر خلیلی کرباسدهی، ***حل مسئله چندین فروشنده دوره‌گرد با الگوریتم‌های رقابت استعماری و جریان آب در حالت عدم قطعیت تقاضا (مطالعه موردی: شرکت بازار گستر پگاه منطقه یک)***، مدیریت زنجیره تأمین، دوره (۱۹)، شماره (۵۸)، صفحه (۴۰-۵۵)، زمستان (۱۳۹۶).

[۳] رضا توکلی مقدم، شقایق مسعودی و حامد اقبالی. ***حل مدل ریاضی جدید برای مسئله مسیریابی وسایل نقلیه چندهدفه و چند قرارگاهی با الگوریتم ژنتیک مرتب‌شده غیر مغلوب، پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید***، دوره (۳)، شماره (۶)، صفحه (۱۶۷-۱۷۵)، (۱۳۹۴)

[4] Kuo, R. J, B. S. Wibowo, and F. E. Zulvia. ***"Application of a fuzzy ant colony system to solve the dynamic vehicle routing problem with uncertain service time."*** Applied Mathematical Modelling (40), pp(23-24, 2016).

[5] Kuo, R. J, and Ferani E. Zulvia. ***"Hybrid genetic ant colony optimization algorithm for capacitated vehicle routing problem with fuzzy demand—A case study on garbage collection system."*** In (2017) 4th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA), pp(244-248, 2017).

[6] Dantzig, George, Ray Fulkerson, and Selmer Johnson. ***"Solution of a large-scale traveling-salesman problem."*** Journal of the operations research society of America (2.4) ,pp (393-410,1954).

[7] Clarke, Geoff, and John W. Wright. ***"Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points."*** Operations research (12.4), pp (568-581,1964).

[8] Peng, Yang, and Ye-mei Qian. ***"A***

particle swarm optimization to vehicle routing problem with fuzzy demands." Journal of Convergence InformationTechnology (5.6), pp(112-119,2010).

[9] Wang, Hsiao-Fan, and Yu-Pin Wen. ***"Time-constrained Chinese postman problems."*** Computers & Mathematics with applications (44), pp (375-387,2002).

[10] Malekly, H, Haddadi, B, & Tavakkoli-Moghadam, R. ***A fuzzy random vehicle routing problem: the case of Iran.*** In (2009) International Conference on Computers & Industrial Engineering (pp. 1070-1075). (2009).

[11] Erbao, Cao, and Lai Mingyong. ***"A hybrid differential evolution algorithm to vehicle routing problem with fuzzy demands."*** Journal of computational and applied mathematics (231.1, 302-310, 2009).

[12] Brito, J, Martinez, F. J, Moreno, J. A, & Verdegay, J. L. ***Fuzzy approach for vehicle routing problems with fuzzy travel time.*** In International Conference on Fuzzy Systems, pp (1-8, 2010).

[13] Ghannadpour, S. F, Noori, S, & Tavakkoli-Moghaddam, ***R,Multiobjective dynamic vehicle routing problem with fuzzy travel times and customers' satisfaction in supply chain management. IEEE Transactions on Engineering Management,*** 60(4), pp (777-790, 2013).

[14] Majidi, S, Hosseini-Motlagh, S. M, Yaghoubi, S, & Jokar, A. ***Fuzzy green vehicle routing problem with simultaneous pickup–delivery and time windows.*** RAIRO-Operations Research, 51(4), pp (1151-1176 l, 2017).

[15] Shi, Y, Boudouh, T, & Grunder, O. A ***hybrid genetic algorithm for a home health care routing problem with time window and fuzzy demand.*** Expert Systems with Applications, (72), pp (160-176,2017).

[16] Werners, B, & Kondratenko, Y. ***Alternative Fuzzy Approaches for Efficiently Solving the Capacitated Vehicle Routing Problem in Conditions of Uncertain Demands.*** In Complex Systems: Solutions and Challenges in Economics, Management and Engineering, pp (521-543, 2018).

[17] Ghannadpour, S. F. ***Evolutionary approach for energy minimizing vehicle routing problem with time windows and customers' priority.*** International Journal of Transportation Engineering, 6(3), pp (237-264, 2019).

[18] Yan, F, & Wang, Y. ***Modeling and solving the vehicle routing problem with multiple fuzzy time windows. In International conference on management science and engineering management***, pp (847-857, 2017).

[۱۹] مهشاد سلیمانی; جواد رضائیان; ایرج مهدوی. ***"مسیریابی و زمان‌بندی وسایل نقلیه و توزیع هم‌زمان کالاهای ضروری در عملیات امداد بشردوستانه پس از بحران".*** پژوهشنامه حمل‌ونقل، (۱۳۹۷)