مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۳۹۸)
دوره‌ی ۱-۳۵، شماره‌ی ۲/۱، ص. ۴۳-۵۴

Original Article

مدل‌سازی سه‌مرحله‌یی و دوهدفه مسئله‌ی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، انتخاب و تغییرات فنی سبد وسایل نقلیه

مهدی بشیری* **(استاد)**
پریسا حسنی (دانشجوی کارشناسی ارشد)
گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شاهد

در این مقاله، یک مدل ریاضی چندمرحله‌یی دوهدفه برای برنامه‌ریزی حمل‌ونقل ارائه می‌شود. در مرحله‌ی اول، یک مدل ریاضی برای برنامه‌ریزی حمل‌ونقل توسعه‌یافته است؛ پس از آن در مرحله‌ی دوم، مسئله‌ی انتخاب سبد بهینه‌ی وسایل نقلیه با توجه به سود حاصل از هریک از وسایل نقلیه حل می‌شود و در مرحله‌ی سوم، مدل دوهدفه‌ی تغییرات فنی در سبد وسایل نقلیه، ارائه می‌شود که تابع هدف اول آن، مجموع سود حاصل از وسایل نقلیه را بیشینه می‌کند و تابع هدف دوم آن میزان انحراف از تعداد وسایل نقلیه در سبد بهینه‌ی وسایل نقلیه را کمینه می‌کند. سپس از رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی و محدودیت اپسیلون برای حل مدل دوهدفه مرحله‌ی سوم استفاده می‌شود. در نهایت، تحلیل حساسیت‌های انجام شده و نتایج حاصل از حل یک مثال عددی با نتایج حل یک مدل برنامه‌ریزی حمل‌ونقل کلاسیک مقایسه شده است که کارایی روش پیشنهادی در صنعت حمل‌ونقل را نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، تغییرات فنی در سبد وسایل نقلیه، انتخاب سبد بهینه‌ی وسایل نقلیه، برنامه‌ریزی آرمانی فازی.

bashiri@shahed.ac.ir
p.hasani.ph@gmail.com

۱. مقدمه

رقابت‌های جهانی و ملاحظات اقتصادی، فشار زیادی را بر ارائه‌دهندگان خدمات و تولیدکنندگان وارد می‌کند که آنها را وادار به بهبود تصمیم‌گیری‌های راهبردی و فنی خود می‌کند. شرکت‌های ارائه‌دهنده‌ی خدمات مانند شرکت‌های حمل‌ونقل در پاسخ به فشارهای حاصل از رقابت‌های جهانی، با استفاده از مهندسی مجدد عملیات، خواهان خدمت بهتر به مشتریان خود، سود بیشتر و فاصله گرفتن از رقبا هستند.

طراحی شبکه‌ی حمل‌ونقل شامل برنامه‌ریزی صحیح حمل‌ونقل با در نظرگرفتن شرایط واقعی و اتخاذ تصمیم‌های کوتاه مدت و بلندمدت در چندین مرحله‌ی جداگانه است. با توجه به پیچیدگی‌هایی که در فرایند طراحی یک شبکه‌ی حمل‌ونقل وجود دارد، در این مقاله، طراحی و برنامه‌ریزی مسئله‌ی حمل‌ونقل به مراحل مختلف تقسیم می‌شود. برخی از این پیچیدگی‌ها عبارت‌اند از: ۱. قرار دادن و ترکیب چندین متغیر تصمیم و تخصیص مرحله‌ی مناسب تصمیم‌گیری به آنها در طراحی شبکه‌ی حمل‌ونقل. ۲. محاسبات و مدل‌سازی همزمان موضوعاتی که برخی مربوط به افق برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت و برخی دیگر مربوط به افق برنامه‌ریزی بلندمدت هستند. ۳. مشکلات مربوط به کنترل متغیرهای تصمیم و بالارفتن ابعاد مسئله.

از این‌رو، در این مقاله یک روش مدل‌سازی ریاضی سه‌مرحله‌یی ارائه می‌شود. فرض بر آن است که هریک از این سه مرحله‌ی تصمیم‌گیری شامل یک افق برنامه‌ریزی یا یک دوره‌ی برنامه‌ریزی هستند که یک افق برنامه‌ریزی از چند دوره‌ی برنامه‌ریزی تشکیل شده است.

در مرحله‌ی اول به علت تغییرات در تقاضا، تجزیه و تحلیل در یک‌فاز مستقل و بر اساس داده‌های تخمین‌زده شده انجام می‌شود. در این مرحله برنامه‌ریزی شبکه‌ی حمل‌ونقل به ازای هر دوره‌ی برنامه‌ریزی و بر اساس میزان تقاضای هر دوره انجام می‌شود. برای به دست آوردن مقدار درآمد حاصل از وسایل نقلیه برای یک افق برنامه‌ریزی لازم است که مدل مربوط به این مرحله چندین بار حل شود. (به‌منظور محاسبه‌ی درآمد مربوط به هر وسیله‌ی نقلیه، هزینه‌های حمل‌ونقل و عملیاتی مربوط به هر وسیله‌ی نقلیه از سود حاصل از حمل محصولات به‌وسیله‌ی آن کسر می‌شود.)

در مرحله‌ی دوم، سبد بهینه‌ی وسایل نقلیه‌ی شرکت حمل‌ونقل به دست می‌آید. به‌عبارت دیگر در این مرحله با توجه به نوسان الگوی درآمد حاصل از وسایل نقلیه در افق برنامه‌ریزی، بهترین ترکیب از وسایل نقلیه انتخاب می‌شود. از آن‌جایی‌که انتخاب سبد بهینه‌ی وسایل نقلیه هرچند سال یک‌بار و فقط یک‌بار برای یک افق برنامه‌ریزی و برای مهندسی مجدد شبکه انجام می‌شود یک تصمیم راهبردی در نظر گرفته می‌شود.

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۶/۷/۱۶، اصلاحیه ۱۳۹۷/۵/۱۳، پذیرش ۱۳۹۷/۶/۱۸.
DOI:10.24200/J65.2018.7280.1785

در مرحله‌ی سوم مسئله وارد فاز برنامه‌ریزی فنی می‌شود که در آن به طراحی یک مدل ریاضی دوهدفه برای انتخاب وسایل نقلیه برای خرید یا فروش پرداخته شده است؛ زیرا ممکن است پس از مدت معینی، هزینه‌ی استهلاک آن و مقدار تقاضای پیش‌بینی شده برای حمل‌ونقل، فروش یک وسیله‌ی نقلیه، مقرون به صرفه‌تر از استفاده آن باشد. این مرحله با توجه به پیچیدگی‌های ذکر شده و مشکلات مربوط به مسائل محاسباتی از تحلیل طراحی جدا شده است و در آن به موضوعات عملیاتی اشاره می‌شود. این مرحله شامل یافتن وسایل نقلیه‌ی سودآور برای شرکت حمل‌ونقل در انتهای هر دوره‌ی برنامه‌ریزی و افق برنامه‌ریزی بعد از آن است. در این مرحله، یک مدل ریاضی دوهدفه طراحی شده است که تابع هدف اول آن، اختلاف درآمد با مجموع هزینه‌های خریدوفروش، استهلاک و خواب سرمایه‌ی وسایل نقلیه را بیشینه می‌کند؛ تابع هدف دوم آن میزان انحراف از تعداد بهینه‌ی وسایل نقلیه‌ی پیشنهاد شده در مرحله‌ی دوم را کمینه می‌کند.

در نهایت مدل دوهدفه در مرحله‌ی سوم با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی و روش محدودیت اپسیلون حل می‌شود. برای نشان دادن رفتار مدل پیشنهاد شده، نتایج حاصل از حل مثال عددی با نتایج حاصل از حل یک مدل حمل‌ونقل کلاسیک مقایسه شده است. هم‌چنین تحلیل حساسیتی برای بررسی ضرورت وجود مرحله‌ی دوم در مدل چندمرحله‌یی طرح‌ریزی شده است.

به‌منظور شفافیت بیشتر مسئله‌ی مورد مطالعه، یک مثال کاربردی در دنیای واقعی درادامه تشریح می‌شود؛ در بسیاری از شرکت‌های حمل‌ونقل، وسایل نقلیه دارای تریلر به‌منظور حمل محموله‌هایی چون نفت، بنزین، روغن‌های صنعتی، مایعات خوراکی و ... به خدمت گرفته می‌شوند. حال این‌که برخی از این محموله‌ها با یکدیگر ناسازگارند. ناسازگاری در این‌جا به این مفهوم است که برای مثال ماشین k_1 اگر در مأموریت اول خود محموله‌ی بنزین را از نقطه‌ی عرضه‌ی A به نقطه‌ی تقاضای B حمل کند، بلافاصله پس از تخلیه‌ی این محموله و در مأموریت بعدی قادر به حمل محموله‌ی مایع خوراکی نخواهد بود؛ زیرا بنزین با مایع خوراکی ناسازگار است. این عمل تنها در صورت انجام عملیات شست‌وشو با بخار و با صرف هزینه امکان‌پذیر خواهد بود. بدیهی است در صورت در نظر نگرفتن قابلیت حمل محموله‌های ناسازگار با همدیگر در مسیرهای پیاپی، سازمان مجبور خواهد بود که به‌ازای هر یک از محموله‌های ناسازگار، یک وسیله‌ی نقلیه‌ی جداگانه ارسال کند که این عمل با بالا رفتن هزینه‌های سوخت، نگهداری و تعمیرات و ... به‌صرفه نخواهد بود. علاوه بر این در این سازمان‌ها معمولاً در انتهای هر دوره و با توجه به تقاضای مشتریان برای حمل محموله‌های مختلف و هزینه‌های مجزای هر وسیله‌ی نقلیه، وسایل نقلیه به مزایده گذاشته می‌شود و سازمان اقدام به خرید وسایل نقلیه‌ی دیگر می‌کند، این تصمیم‌گیری با توجه به تغییرات در تقاضای مشتریان با ریسک بالایی مواجه است. ازاین‌رو درادامه مدل‌هایی به‌منظور به دست آوردن سبد بهینه‌یی از وسایل نقلیه و چگونگی خریدوفروش وسایل نقلیه در دوره‌های پیش‌رو ارائه شده است.

ادامه‌ی این مقاله، به‌صورت زیر سازماندهی شده است: در بخش دوم، مرور پیشینه‌ی مرتبط ارائه می‌شود و سپس مدل‌های توسعه‌یافته به تفکیک ارائه می‌شود. تحلیل‌های حساسیت در بخش پنجم ارائه شده و در نهایت در بخش آخر نتیجه‌گیری انجام شده است.

۲. پیشینه‌ی موضوع

در این قسمت، پیشینه‌ی تحقیق مرتبط با طراحی شبکه‌ی حمل‌ونقل بررسی شده است. مسئله‌ی مسیریابی وسایل حمل‌کننده با ظرفیت محدود، رایج‌ترین مسئله برای مدیریت توزیع غذا، سوخت، کالا و ... شناخته شده است. در این مسئله، وسایل نقلیه‌ی متعدد برای برداشت محموله‌ها از نقاط عرضه و تحویل آن‌ها به نقاط تقاضا به خدمت گرفته می‌شوند.[۱] این مسئله براساس آن‌چه در مرجع[۲] و در سال ۱۹۹۲ فرمول‌بندی شده است، دارای یک پایانه است که برای قرارگیری مجموعه‌یی از وسایل نقلیه‌ی یکسان که کالاهای سازگاری را حمل می‌کنند، در نظر گرفته شده است.[۲]

در مسئله‌ی مسیریابی وسایل حمل‌کننده با ظرفیت محدود هر وسیله‌ی نقلیه مجاز است که دقیقاً یک‌بار در یک کمان قرار گیرد و خدمات را به مشتریان ارائه کند. در این مسئله، هر وسیله‌ی نقلیه از یک پایانه‌ی مرکزی شروع به حرکت می‌کند و در نهایت به همان پایانه بازمی‌گردد. در این مسئله، میزان هزینه‌ی سفر کمینه می‌شود، در حالی‌که ظرفیت هر وسیله‌ی نقلیه نیز رعایت می‌شود. این مسئله، بدون محدودیت ظرفیت برای وسیله‌ی نقلیه، شباهت به مسئله‌ی مسیریابی وسیله‌ی نقلیه خواهد داشت با این تفاوت که برنامه‌ریزی‌های دیگری نیز همزمان انجام می‌شود.[۳] تاکنون مقالات قابل توجهی به توسعه‌ی مسئله‌ی مسیریابی وسایل حمل‌کننده با ظرفیت محدود پرداخته‌اند و ویژگی‌های مختلفی را به آن افزوده‌اند. تمام این ویژگی‌ها با مشاهده‌ی شرایط واقعی در شبکه‌ی حمل‌ونقل تعریف شده است.[۴و۵] از جمله مقالاتی که با الهام از شرایط واقعی در شرکت‌های حمل‌ونقل به‌دنبال توسعه‌ی مسئله‌ی مسیریابی بوده‌اند، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

در مرجع[۶] مدلی دوهدفه مبنی‌برکمینه کردن هزینه‌های مربوط به ناوگان‌های متفاوت و بیشینه کردن استفاده از ظرفیت آن‌ها ارائه شده است. این مدل برای مدیریت سیستم جمع‌آوری زباله پیشنهاد شده است. در مرجع[۷] هزینه‌ی بهینه برای وسایل نقلیه‌ی متفاوت و مقدار مسافت طی شده توسط هر وسیله‌ی نقلیه به‌گونه‌یی محاسبه می‌شود که برای برآورده شدن تقاضا در یک گره می‌توان چندین وسیله‌ی نقلیه اختصاص داد. در مرجع[۸] یک مسئله‌ی حمل‌ونقل برای کامیون‌ها در پایانه در نظر گرفته شده است. این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی خطی دوهدفه را در نظر گرفته است که هدف اول آن کمینه کردن کل مسافت طی شده توسط هر کامیون است و تابع هدف دوم، کمینه کردن زمان عملیات مربوط به هر کامیون است. مرجع[۹] با دیدی جامع بر ویژگی‌های مربوط به کانتینرها مانند: چندین ناوگان، چندین محصول همگن و پنجره‌ی زمانی در صنایع حمل‌ونقلی کامیون‌ها در کره‌ی جنوبی به معرفی دو مدل‌پایه برای برنامه‌ریزی مسئله‌ی حمل‌ونقل پرداخته است. در مرجع[۱۰] چند مدل‌سازی با در نظر گرفتن پنجره‌ی زمانی و محدودیت‌هایی نظیر بیشینه‌ی تعداد کمان‌هایی که هر ماشین در هر دوره‌ی زمانی می‌تواند بپیماید، ارائه شده است. در مرجع[۱۱] یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی تخصیص وسایل نقلیه با کاربرد در شرکت‌های حمل‌ونقل برزیل ارائه شده است. در این مقاله تعداد ماشین‌هایی که با ظرفیت پر و خالی مسیرها را می‌پیمایند، تعیین می‌شود.

علاوه بر طرح‌ریزی برنامه‌ریزی شبکه‌ی حمل‌ونقل، به‌طور هم‌زمان تصمیم‌گیری در مورد منابع سازمان از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. در مرجع[۱۲] به اهمیت مدیریت ناوگان‌ها در شرکت‌های حمل‌ونقل و ارائه‌ی برنامه‌های راهبردی حمل‌ونقل اشاره می‌کند. در این مقاله به‌منظور استفاده مؤثر از منابع، راهبردهایی چون نگهداری ناوگان‌ها در پایانه به‌منظور برآورده کردن تقاضاها، پاسخگویی به تقاضاها و سفارش‌های شرکت حمل‌ونقل دیگر و اجاره‌ی وسایل نقلیه و در نهایت تبادل با شرکت‌های حمل‌ونقل هم‌رده و پیاده‌سازی یک برنامه‌ریزی مشترک اشاره شده است.

تغییرات در تقاضای مشتریان در دوره‌های مختلف به‌طور رایج در یک شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین اتفاق می‌افتد و در نتیجه‌ی آن کارایی هر وسیله‌ی نقلیه شاخصه‌یی است که پس از اجرایی شدن طرح و گذشت چندین دوره قابل ارزیابی است. علاوه‌بر بررسی کارایی هر وسیله‌ی نقلیه که معمولاً بر اساس میانگین بازده سرمایه‌ی هر

سهم تعریف می‌شود، توسعه و برنامه‌ریزی مدیریت ریسک از مسائل کلیدی است که شرکت‌های حمل‌ونقل با آن مواجه هستند.[۱۳] در نظریه‌ی انتخاب بهینه‌ی سبد سهام، کارایی هر سهم با توجه به میزان میانگین بازده سرمایه و واریانس سود هر سهم در طی دوره‌ی برنامه‌ریزی اندازه‌گیری می‌شود. ارزیابی دارایی‌هایی که مستلزم سرمایه‌گذاری‌هایی با ریسک بالا هستند، یکی از مهمترین بخش‌های مطالعات اخیر است. در مرجع[۱۴] در سال ۱۹۵۲ ریسک با شاخص واریانس که اساساً امید ریاضی مربع انحراف از بازده مورد انتظار یک دارایی است، تعریف شده است. وسایل حمل‌کننده‌ی چندگانه‌یی در شرکت‌های حمل‌ونقل و به‌ویژه شرکت‌های حمل‌ونقل بین‌المللی وجود دارد و در آن‌جا وسایل نقلیه به تقاضاهای مختلف که معمولاً ترکیب مختلفی از کالاهای سازگار و ناسازگار هستند پاسخ می‌دهند. از طرف دیگر نوسانات تقاضا در دوره‌های زمانی مختلف و هزینه‌هایی چون خواب سرمایه وسایل نقلیه، مدیران و برنامه‌ریزان شرکت حمل‌ونقل را به تعیین ترکیب و تعداد مناسبی از هر نوع وسیله‌ی نقلیه وادارکرده است. در مقاله‌ی پیش‌رو نیز با مشاهده‌ی شرایط و مسائل واقعی در شرکت‌های حمل‌ونقل مدل‌سازی صورت گرفته است. در این تحقیقات میدانی در شرکت‌های حمل‌ونقل در ابتدا مشکلات مربوط به حمل کالاهای سازگار و ناسازگار و سپس مسائل مربوط به هزینه‌های وسایل نقلیه در یک افق برنامه‌ریزی، که در نهایت سازمان را مجبور به در مزایده قرار دادن وسایل نقلیه خود کرده است، مشاهده شد. در مطالعات صورت‌گرفته ساختار مربوط به در نظرگرفتن حمل کالاهای ناسازگار دیده نشده است، که در مرحله‌ی اول مدل‌سازی این مقاله در نظرگرفته شده است. از طرف دیگر شرکت حمل‌ونقل مورد مطالعه، هرچند سال یکبار با توجه به تغییرات تقاضا و مستهلک شدن وسایل نقلیه، آن‌ها را به مزایده برای فروش می‌گذارند. ازاین‌رو در مرحله‌ی دوم و سوم این مقاله یک برنامه‌ریزی دقیق برای مدیریت هزینه‌ی وسایل نقلیه در نظرگرفته می‌شود که بر اساس آن می‌توان به خریدوفروش وسایل نقلیه در انتهای هر دوره پرداخت.

در مرحله‌ی اول با توجه به تقاضا و عرضه در هر دوره‌ی برنامه‌ریزی، الگوی بهینه‌ی مسیر برای هر وسیله‌ی نقلیه با توجه به سن ماشین، مسیری که طی کرده و مقدار کالایی که حمل کرده است، محاسبه می‌شود و متناظر با مسیر طی شده، مقادیر سود و هزینه‌ی هر ماشین به دست می‌آید. مدل توسعه یافته در مرحله‌ی اول، هزینه‌های حمل‌ونقل، سوخت، نگهداری و تعمیرات و شست‌وشوی وسایل نقلیه را در صورت حمل کالاهای ناسازگار در مسیرهای پی‌درپی در نظر می‌گیرد.

در مرحله‌ی دوم با توجه به سود محاسبه شده برای هر ماشین در یک افق برنامه‌ریزی، به ارزیابی روند درآمد ماشین‌ها در افق برنامه‌ریزی پرداخته می‌شود.

مدل استفاده شده در فاز دوم، مدل میانگین واریانس است. به عبارت بهتر، پس از اجرا کردن مدل ریاضی توسعه‌یافته در مرحله‌ی اول برای چندین دوره‌ی برنامه‌ریزی که در هریک از دوره‌ها مقدار عرضه و تقاضا متفاوت است مقادیر سود حاصل هر یک از وسایل نقلیه برای این افق برنامه‌ریزی محاسبه می‌شود. پس از آن با بهره‌گیری از مدل دوهدفه میانگین واریانس می‌توان به ارزیابی رفتار این ماشین‌ها در این افق برنامه‌ریزی پرداخت. تابع هدف اول این مدل بیشینه شدن میزان بازده یا همان میانگین سود حاصل از تعداد بهینه‌ی وسایل نقلیه سبد بهینه‌ی وسایل نقلیه تعریف می‌شود و تابع هدف دوم میزان ریسک حاصل از انتخاب این وسایل نقلیه را کمینه می‌کند.

در مرحله‌ی سوم یک مدل ریاضی برای ایجاد تغییرات فنی در سبد وسایل نقلیه برای هر دوره‌ی برنامه‌ریزی توسعه یافته است. این مدل دوهدفه با بهره‌گیری از میزان سود خالص تخمین‌زده شده برای افق برنامه‌ریزی در مرحله‌ی اول، قیمت‌های خرید و فروش، هزینه‌های استهلاک و خواب سرمایه و با آگاهی از تعداد بهینه‌ی وسایل نقلیه که در مرحله‌ی دوم محاسبه شده است، در هدف اول خود به دنبال بیشینه کردن میزان سود خود در انتهای دوره‌ی برنامه‌ریزی پیش‌رو و تمام دوره‌های برنامه‌ریزی پس از آن است و در هدف دوم خود به دنبال کمینه کردن انحراف تعداد وسایل نقلیه در دسترس از تعداد وسایل نقلیه پیشنهاد شده در سبد بهینه در مرحله‌ی دوم است.

در جدول ۱، مقایسه‌یی بین تصمیم‌های اخذ شده در هر دوره و افق برنامه‌ریزی در هریک از مقالات مروری و مقاله‌ی پیش رو صورت می‌پذیرد. همان‌طور که مشخص است ویژگی مطالعه‌ی پیش رو آن است که با مشاهده‌ی شرایط واقعی در شرکت‌های حمل‌ونقل به تصمیم‌گیری در هر دوره‌ی افق برنامه‌ریزی می‌پردازد که در مقایسه با مطالعات مرور شده، ویژگی‌های در نظرگرفته شده در این مقاله در پیشینه‌ی موضوع دیده نشده است.

۳. مدل‌های توسعه‌یافته

در این بخش به معرفی هریک از مدل‌های توسعه‌یافته در هر یک از مراحل پرداخته می‌شود.

۱.۳. تعیین الگوی سود وسایل نقلیه در شرکت حمل‌ونقل

فاز اول از طراحی شبکه‌ی حمل‌ونقل با اجرا کردن مدل ریاضی ۱ به تعداد دوره‌های برنامه‌ریزی که در نهایت یک افق برنامه‌ریزی مشخص را تشکیل می‌دهند، شروع می‌شود. در هر دوره‌ی زمانی مقادیر تقاضا و عرضه تخمین زده می‌شود و مدل بر اساس تطبیق نقاط تقاضا و عرضه به دنبال یافتن بهترین الگوی مسیر است. قبل از معرفی هریک از مدل‌های ریاضی در هر مرحله فرضیات در نظرگرفته شده در تعریف مدل و علائم نشانه‌گذاری، برای معرفی انواع متغیرهایی که در آن به کارگرفته شده است، آورده می‌شود.

۱.۱.۳. فرضیات

در صورتی‌که یک ماشین در دو دوره‌ی متوالی دو محصول ناسازگار را حمل کند، به هنگام بارگیری محموله‌ی ناسازگار باید هزینه‌ی شست‌وشو را در نظر بگیرد و پس از عملیات شست‌وشو قادر به بارگیری محموله‌ی ناسازگار خواهد بود. مدل ریاضی ۱ با در نظرگرفتن این فرض توسعه یافته است و نسبت به سایر مدل‌های برنامه‌ریزی شبکه‌ی حمل‌ونقل در پیشینه‌ی موضوع متمایز شده است.

- هر ماشین پس از تخلیه‌ی بار حتماً باید گره را ترک کند؛ حال می‌تواند به گره دیگری برود یا این‌که به پایانه بازگردد.

۲.۱.۳. اندیس‌ها

- a, b: اندیس مربوط به مکان‌های بارگیری و تخلیه و پایانه؛
- i, j: اندیس مربوط به مکان‌های مربوط به بارگیری و تخلیه؛
- L: اندیس برای پایانه؛
- o, p: اندیس مربوط به نوع کالایی که حمل می‌شود؛
- k: اندیس برای انواع وسایل نقلیه؛
- t: اندیس برای دوره‌های برنامه‌ریزی حمل و نقل.

۳.۱.۳. پارامترها

- $cost_{a,b,k}$: هزینه‌ی ارسال کامیون k از نقطه‌ی a به b، به ازای هر واحد محصول بارگذاری شده بر روی ماشین k؛

جدول ۱. جدول مقایسه‌یی بین تصمیم‌های اخذ شده در هر دوره‌ی برنامه‌ریزی و افق برنامه‌ریزی در هریک از مقالات مرور پیشینه و مقاله‌ی پیش‌رو.

مرجع	دوره‌ی برنامه‌ریزی	نوع تصمیم‌گیری در دوره‌ی برنامه‌ریزی	نوع تصمیم‌گیری در افق برنامه‌ریزی	نوع تصمیم‌گیری هم‌زمان برای یک دوره‌ی برنامه‌ریزی و یک افق برنامه‌ریزی
[۷]	تک‌دوره	یافتن الگوی بهینه مسیر برای هر وسیله‌ی نقلیه با هدف کمینه کردن هزینه‌های سفر، هزینه‌های مبنی‌بر ظرفیت استفاده نشده وسیله‌ی نقلیه	-	-
[۸]	تک‌دوره	یافتن الگوی بهینه مسیر برای هر وسیله‌ی نقلیه باهدف کمینه کردن مسافت طی شده و کمینه کردن زمان کل سرویس‌دهی در محل	-	-
[۹]	تک‌دوره	یافتن الگوی بهینه مسیر برای هر وسیله‌ی نقلیه با هدف کمینه کردن هزینه‌های عملیاتی و هزینه اجاره‌ی وسیله‌ی نقلیه	-	-
[۱۱]	چنددوره	-	یافتن الگوی بهینه‌ی مسیر برای هر وسیله‌ی نقلیه در یک افق زمانی	-
[۱۲]	چنددوره	-	ارائه‌ی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل یک افق برنامه‌ریزی و تصمیم بر نگهداری یا اجاره‌ی وسایل نقلیه	-
مقاله پیش‌رو	تک‌دوره‌ی برنامه‌ریزی و افق برنامه‌ریزی	یافتن الگوی بهینه‌ی مسیر برای هر وسیله‌ی نقلیه	یافتن ترکیب وسایل نقلیه برای یک افق برنامه‌ریزی	تصمیم مبنی بر خرید و فروش وسایل نقلیه در پایان هر دوره‌ی برنامه‌ریزی و افق برنامه‌ریزی پس از آن

- sv_k: هزینه‌ی نگهداری و تعمیرات ماشین k به ازای هر ۲۰۰۰ واحد از مسافت؛
- co_k: هزینه‌ی شست‌وشوی ماشین k. (این هزینه زمانی در نظر گرفته می‌شود که ماشین k در دوره‌های متوالی محصول ناسازگار را حمل کند)؛
- po_k: هزینه‌ی سوخت ماشین k به ازای هر واحد از مسافت؛
- $D_{j,o,i}$: میزان تقاضای مقصد jام برای محموله‌ی نوع o در دوره‌ی زمانی t؛
- $S_{i,o,t}$: میزان عرضه‌ی مبدأ iام برای محصول نوع o در دوره‌ی زمانی t؛
- $c_{o,p}$: ماتریس ناسازگاری مربوط به محصولات. (در این ماتریس مقدار ۱ به معنای ناسازگار بودن دو محصول است و مقدار صفر به معنای سازگار بودن دو نوع محصول است، به این معنا که در صورت بارگیری این دو محصول در دو دوره‌ی متوالی توسط یک ماشین مشکلی پیش نمی‌آید و نیاز به شست‌وشو وجود ندارد)؛
- $d_{a,b}$: میزان مسافت بین نقاط a, b؛
- n: سن مربوط وسایل نقلیه.

۴.۱.۳. متغیرهای تصمیم

- $y_{i,j,k,o,t}$: حجمی از محصول نوع o (سفارش مقصد j) که در دوره‌ی زمانی t از مبدأ i به مقصد j با ماشین k ارسال می‌شود؛
- $x_{a,b,o,k,t}$: این متغیر زمانی که ماشین k در دوره‌ی زمانی t برای بارگیری محصول o از مبدأ a به مقصد b فرستاده می‌شود مقدار ۱ می‌گیرد، در غیر این صورت ۰؛
- $\gamma_{i,o,k,t}$: زمانی که ماشین k در دوره‌ی زمانی t محصول o را در مکان i تخلیه کرده است مقدار ۱ می‌گیرد، در غیر این صورت ۰؛
- $\delta_{k,t}$: زمانی که ماشین k محصول ناسازگاری را در دوره‌ی زمانی t حمل کند، مقدار ۱ می‌گیرد، در غیر این صورت ۰؛
- $totaldist_k$: کل مسافتی که ماشین k می‌پیماید.

۵.۱.۳. مدل ریاضی ۱

در شرکت حمل‌ونقل مورد مطالعه، محصولاتی که مورد حمل قرار می‌گیرند انواع سوخت‌ها و روغن‌ها و ... هستند که برخی از این سوخت‌ها و روغن‌ها با همدیگر ناسازگار هستند، این درحالی‌که است که در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل در صورت حمل این نوع محموله‌ها در مسیرهای پی‌درپی نیاز به عملیات شست‌وشو و پرداخت هزینه‌ی شست‌وشو در مبدأ وجود دارد. این شست‌وشو که برای حمل محموله‌های ناسازگار در چند مسیر پی‌درپی الزامی و برای حمل کالاهای سازگار ضرورتی ندارد، با بخار صورت می‌پذیرد. در این مدل‌سازی، هزینه‌ی مربوط به شست‌وشوی کامیون‌ها در تابع هدف با استفاده از ماتریس $c_{o,p}$ به‌گونه‌یی در نظر گرفته شده است که اگر محصولات ناسازگار در مسیرها حمل شود باید عملیات شست‌وشو بر روی ماشین صورت پذیرد و در نتیجه هزینه‌ی مربوط به آن لحاظ شود. این مدل ریاضی به ازای هر دوره‌ی برنامه‌ریزی اجرا و حل می‌شود.

$$\min C + W + M + F \quad (۱)$$

$$C = \sum_a \sum_b \sum_k \sum_o \sum_t y_{a,b,k,o,t} \times cost_{a,b,k} \quad (۲)$$

$$W = \sum_k \sum_t co_k \times \delta_{k,t} \quad (۳)$$

$$M = \sum_k n \times \frac{totaldist_k}{۲۰۰۰} \times sv_k \quad (۴)$$

$$F = \sum_k totaldist_k \times po_k \quad (۵)$$

$$\sum_i \sum_k y_{i,j,k,o,t} \geq D_{j,o,t} \qquad \forall j, o, t \quad (۶)$$

$$\sum_j \sum_k y_{i,j,j,o,t} \leq S_{i,o,t} \qquad \forall i, o, t \quad (۷)$$

$$\sum_a \sum_o x_{a,j,k,o,t-۱} = \sum_a \sum_o x_{j,a,k,o,t} \qquad \forall j, k, t \quad (۸)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_o x_{i,j,k,o,t} \leq ۱ \qquad \forall k, t \quad (۹)$$

$$y_{a,b,k,o,t} \leq M \times x_{a,b,k,o,t} \qquad \forall a, b, k, o, t \quad (۱۰)$$

$$y_{a,b,k,o,t} \geq x_{a,b,k,o,t} \qquad \forall a, b, k, o, t \quad (۱۱)$$

$$\gamma_{j,o,k,t} \leq \sum_i y_{i,j,k,o,t} \qquad \forall j, o, k, t \quad (۱۲)$$

$$\sum_i y_{i,j,k,o,t} \leq M \times \gamma_{j,o,k,t} \qquad \forall j, o, k, t \quad (۱۳)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_o \sum_p c_{o,p} \times \gamma_{i,o,k,t-۱} \times \gamma_{j,p,k,t} = \delta_{k,t} \quad \forall k, t \quad (۱۴)$$

$$\sum_a \sum_b \sum_o \sum_t x_{a,b,k,o,t} \times d_{a,b} = totaldist_k \qquad \forall k \quad (۱۵)$$

$$y_{i,j,k,o,t}, totaldist_k \geq ۰ \qquad \forall i, j, k, o, t \quad (۱۶)$$

$$x_{i,j,k,o,t}, \gamma_{i,o,k,t}, \delta_{k,t} \in \{۰, ۱\} \qquad \forall i, j, k, o, t \quad (۱۷)$$

این مدل ریاضی بر اساس مدل پایه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شکل گرفته است که ملاحظات واقعی در یک صنعت حمل‌ونقل (که توسط نویسندگان در یک مطالعه‌ی واقعی مربوط به حمل انواع روغن مشاهده شده است) در آن گنجانده شده و با در نظرگرفتن خصوصیات سازگاری و ناسازگاری محصولات حمل شده به وسیله‌ی یک وسیله‌ی نقلیه در مسیرهای پیاپی، توسعه یافته است. رابطه‌ی ۱ تا ۵ تابع هدف مدل ریاضی ۱ را شرح می‌دهند، در این عبارات تابع هزینه شامل مجموع هزینه‌های فعال‌سازی، ارسال وسایل حمل‌کننده، شست‌وشو، نگهداری و تعمیرات و هزینه‌ی سوخت وسایل حمل‌کننده است. رابطه‌ی ۶ و ۷ به ترتیب محدودیت مربوط به تقاضا و منابع در دسترس را تشکیل می‌دهد. رابطه‌ی ۸ برای متعادل بودن گره در نظرگرفته شده است؛ به عبارت بهتر ماشین‌هایی که در هر دوره‌ی زمانی به یک گره خاص وارد می‌شوند باید در دوره‌ی بعدی از آن گره خارج شوند. رابطه‌ی ۹ تأکید می‌کند که هر ماشین در هر دوره‌ی زمانی حداکثر باید در یک کمان حضور داشته باشد. رابطه‌های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب باعث می‌شوند که هر زمانی که متغیر y مقدار مثبت می‌گیرد در دوره‌ی قبل یک ماشین از شرکت حمل‌ونقل به نقطه‌ی عرضه‌کننده‌ی i فرستاده شود و پس از آن از نقطه‌ی تقاضای j به شرکت حمل‌ونقل بازگردانده شود. رابطه‌های ۱۲ و ۱۳ باعث می‌شوند، γ متغیر زمانی مقدار یک بگیرد که کالای o با ماشین k و در دوره‌ی زمانی t از هر نقطه‌یی به گره خاص j وارد شود. رابطه‌ی ۱۴ باعث می‌شود که در صورت حمل کالای ناسازگار در دو مسیر متوالی توسط یک وسیله‌ی نقلیه، هزینه‌ی شست‌وشوی ماشین k در تابع هدف فعال شود. نحوه‌ی عملکرد این محدودیت در دو حالت توضیح داده می‌شود. حالت ۱، زمانی که دو محصول سازگار در مسیرهای پیاپی حمل می‌شوند که در این حالت مقدار صفر از ماتریس $c_{o,p}$ انتخاب می‌شود. حالت ۲، زمانی که دو محصول ناسازگار با یک وسیله‌ی نقلیه و در مسیرهای پیاپی حمل می‌شود که در این حالت، مقدار ۱ از ماتریس (پارامتر) $c_{o,p}$ انتخاب می‌شود. در هر دو حالت اگر دو متغیر صفر و یک $\gamma_{i,o,k,t-۱}$ و $\gamma_{j,p,k,t}$ همزمان مقدار ۱ را بگیرند به این معناست که ماشین خاص k در دو دوره‌ی زمانی متوالی $t-۱$ و t به ترتیب محصولات o و p را حمل کرده است؛ در چنین شرایطی با توجه به ماتریس $c_{o,p}$ اگر این دو محصول با هم سازگار باشند، مقدار $c_{o,p}$ به ازای این دو محصول صفر در نظرگرفته می‌شود. در نتیجه بر اساس رابطه‌ی ۱۴ مقدار صفر برای متغیر $\delta_{k,t}$ به دست می‌آید و عبارت مربوط به هزینه‌ی عملیاتی شست‌وشو برای ماشین خاص k در تابع هدف صفر می‌شود؛ اما در صورت ناسازگار بودن محصولات o و p، مقدار متغیر $\delta_{k,t}$ یک به دست می‌آید و در تابع هدف هزینه‌ی عملیاتی شست‌وشو مربوط به وسایل نقلیه با توجه به هزینه‌ی شست‌وشو co_k محاسبه و در نظرگرفته می‌شود. رابطه‌ی ۱۵ مقدار کل مسافت طی شده توسط هر ماشین را محاسبه می‌کند. محدودیت‌های ۱۶ و ۱۷ نوع متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهند.

۲.۳. تعیین ترکیب وسایل نقلیه برای یک افق زمانی

در این مرحله با استفاده از مقادیر $profit^t_{k,j}$ یا سود به دست آمده با استفاده از مدل ریاضی اول که به تفکیک هر ماشین محاسبه شده است، تعداد بهینه‌ی وسایل نقلیه با استفاده از مدل ریاضی دوم و به کمک متغیر $port_k$ برای افق برنامه‌ریزی به دست می‌آید. در نظریه‌ی انتخاب بهینه‌ی سبد سهام، در هریک از واحدهای زمانی ارزش چند شاخص باهم دیگر مقایسه می‌شود.

۱.۲.۳. اندیس‌ها

- t: اندیس مربوط به زمان نمونه‌برداری از ارزش وسایل نقلیه؛
- i, j: اندیس‌های مربوط به وسایل نقلیه.

۲.۲.۳. پارامترها

- μ_i: مقدار بازده حاصل از وسیله‌ی نقلیه‌ی نوع i؛
- σ_i: انحراف معیار حاصل از وسیله‌ی نقلیه‌ی نوع i. (انحراف معیار درآمد حاصل از هر وسیله‌ی نقلیه در طی یک افق برنامه‌ریزی)؛
- σ_{ij}: کوواریانس بین وسیله‌ی نوع i و وسیله‌ی نقلیه‌ی نوع j؛
- $\sum$: ماتریس کوواریانس.

۳.۲.۳. متغیر تصمیم

- w_i: درصدی از بودجه که به وسیله‌ی نقلیه‌ی نوع i اختصاص می‌یابد.

۴.۲.۳. مدل ریاضی ۲

در چهارچوب طراحی شبکه‌ی حمل‌ونقل نیازمند به شناسایی وسایل نقلیه‌ی سودآور هستیم؛ حال این‌که علاوه بر بازده بالا باید شاخص ریسک را در این شناسایی به‌گونه‌یی دخیل کرد که احتمال از دست دادن کل سرمایه پایین باشد. در این مرحله با محاسبه‌ی مقدار بازده هر ماشین که در واقع همان میزان تغییر سود در دو سال متوالی است و هم‌چنین محاسبه‌ی مقدار ریسک یا میزان نوسان در مقادیر سود در طی یک افق برنامه‌ریزی، سبدی از وسایل نقلیه انتخاب می‌شود. منظور از انحراف معیار

حاصل از یک وسیله‌ی نقلیه همان انحراف معیار درآمد حاصل از هر وسیله‌ی نقلیه در طی افق برنامه‌ریزی است که به عنوان شاخصی برای در نظرگرفتن ریسک حاصل از هر وسیله‌ی نقلیه در نظرگرفته شده است. به‌عبارت بهتر با به دست آوردن این مقدار واریانس می‌توان دریافت که میزان نوسان سودآوری یک سهم (وسیله‌ی نقلیه) در یک افق برنامه‌ریزی چه روندی داشته است؛ به طوری که هرچه این مقدار بیشتر باشد به این معناست که نوسان درآمد حاصل از این سهم در طی افق برنامه‌ریزی زیاد است و احتمال از دست رفتن سرمایه وجود دارد. به علت نوسان تقاضای حمل‌ونقل، موضوع اشاره شده، یکی از دغدغه‌های واقعی شرکت تحت مطالعه است و این شرکت علاقه‌مند به تجهیز وسایل نقلیه دارای تقاضای پایدار بوده است.

$$\max \mu = w^T \mu = \sum_i w_i \mu_i \qquad (۱۸)$$

$$\min \sigma^۲ = w^T \sum w = \sum_i \sum_j w_i w_j \sigma_{ij} \qquad (۱۹)$$

$$\sum_i w_i = ۱ \qquad (۲۰)$$

$$w_i \geq ۰ \qquad \forall i \qquad (۲۱)$$

رابطه‌ی ۱۸ مقدار میانگین بازده سود حاصل از وسایل نقلیه را محاسبه می‌کند. در رابطه‌ی ۱۹ مقدار واریانس - که شاخصی برای اندازه‌گیری مقدار ریسک حاصل از انتخاب وسایل نقلیه هست - محاسبه می‌شود. رابطه‌ی ۲۰ مقدارکل بودجه‌یی راکه برای سرمایه‌گذاری در نظرگرفته شده است ۱ واحد در نظر می‌گیرد و رابطه‌ی ۲۱ نوع متغیر تصمیم را نشان می‌دهد. نحوه‌ی محاسبه‌ی شاخص‌های میانگین و ریسک به تفضیل در ادامه توضیح داده می‌شود. همان‌طورکه در مقدمه توضیح داده شد، در این مطالعه یک افق برنامه‌ریزی در نظرگرفته شده است که متشکل از چندین دوره‌ی برنامه‌ریزی است. در ابتدا با استفاده از مدل ریاضی اول مقدار درآمد حاصل از یک وسیله‌ی نقلیه در هر دوره‌ی برنامه‌ریزی تخمین زده می‌شود (به منظور محاسبه‌ی مقدار درآمد حاصل از این وسایل نقلیه به ازای یک افق برنامه‌ریزی ضروری است که مدل ریاضی اول چندین‌بار و به تعداد دوره‌هایی که با همدیگر افق برنامه‌ریزی را تشکیل می‌دهند اجرا و حل شود). خروجی حاصل از مرحله‌ی اول یک ماتریس درآمد حاصل از وسایل نقلیه در دوره‌های برنامه‌ریزی است. بعد از نرمال‌سازی و به دست آوردن ماتریس بازده حاصل از وسایل نقلیه، مسئله وارد مرحله‌ی دوم می‌شود. براساس این ماتریس بازده، میانگین بازده هر سهم (وسیله‌ی نقلیه) و انحراف معیار مقدار بازده حاصل از هر وسیله‌ی نقلیه با استفاده از ابزار مالی نرم‌افزار متلب محاسبه می‌شود. میانگین بازده یا میانگین‌گیری بر روی ستون ماتریس اخیر به دست می‌آید و برای محاسبه‌ی انحراف معیار مقدار بازده حاصل از هر وسیله‌ی نقلیه از مقدارکوواریانس بین سهم i, j و رابطه‌ی ۱۹ استفاده شده است. با استفاده از ابزار مالی نرم‌افزار متلب، مقدارکوواریانس بین سهم i, j محاسبه می‌شود و در نهایت میانگین بازده هر سهم (وسیله‌ی نقلیه) و ماتریس مربعی کوواریانس بین سهم i, j به‌عنوان پارامترهای ورودی مرحله‌ی دوم مدل‌سازی تعریف می‌شوند. بر اساس مقادیر درج شده در ماتریس کوواریانس می‌توان دریافت که سهم i, j نسبت به همدیگر چگونه عمل می‌کنند. به عبارت بهتر با یکدیگر رابطه‌ی مستقیم دارند یا بالعکس. در نهایت، طی این مرحله و مرحله‌ی بعد، در خصوص تعداد وسایل نقلیه‌یی که باید خریداری، نگهداری یا واگذاری شوند، تصمیم‌گیری می‌شود.

۳.۳. تصمیم به‌موقع خریدوفروش تسهیلات

در مرحله‌ی اول الگوی سوددهی برای هر ماشین به دست آمد، در مرحله‌ی دوم، ترکیب بهینه‌یی از وسایل نقلیه برای یک افق برنامه‌ریزی به دست آمد. در مرحله‌ی سوم، برنامه‌ریزی خریدوفروش وسایل نقلیه در انتهای هریک از دوره‌های برنامه‌ریزی برای دوره‌ی برنامه‌ریزی بعدی و افق زمانی بعد از آن صورت می‌پذیرد. در این مرحله، تعیین می‌شود که کدام ماشین‌ها و با کدام سن خریداری و فروخته شود به‌گونه‌یی که مقدار سود حاصل از این تصمیم‌گیری در انتهای آن دوره و دوره‌های پس از آن بیشینه شود و مقدار انحراف از تعداد بهینه‌ی محاسبه شده در سبد بهینه مرحله‌ی دوم را کمینه می‌کند. ضرورت در نظرگرفتن این مرحله از آن جهت است که اگر تنها از تصمیم اخذ شده در مرحله‌ی دوم پیروی شود، هزینه‌هایی چون استهلاک وسایل نقلیه که در افق زمانی با ضریب قابل توجهی افزایش می‌یابند، در نظرگرفته نمی‌شود؛ پس با توجه به سن هر ماشین باید مهندسی مجدد صورت بگیرد. از طرف دیگر از آن‌جایی‌که مدل دوم به تصمیم‌گیری تصادفی می‌پردازد، مدل سوم مدل مکملی است که در صورت وجود خطا در تصمیم‌گیری تصادفی، آن خطا را تعدیل می‌کند.

۱.۳.۳. اندیس‌ها

- k: اندیس برای انواع وسایل نقلیه؛
- j: اندیس مربوط به سن هریک از وسایل نقلیه؛
- t: اندیس برای دوره‌های برنامه‌ریزی حمل‌ونقل.

۲.۳.۳. پارامترها

- $profit^t_{k,j}$: سود خالص تخمینی کامیون k با سن j در دوره‌ی t؛
- $SD۱^j_k$: قیمت فروش ماشین k که دارای سن j است؛
- $SD۲^j_k$: قیمت خرید ماشین k که دارای سن j است؛
- SC^j_k: هزینه‌ی خواب سرمایه‌ی ماشین k با سن j؛
- DE^j_k: مقدار هزینه‌ی استهلاک ماشین k با سن j؛
- cap_t: مقدار ظرفیت انبار برای وسایل نقلیه در دوره‌ی زمانی t؛
- $port_k$: تعداد بهینه‌ی وسایل نقلیه نوع k در مرحله‌ی دوم.

۳.۳.۳. متغیرهای تصمیم

- $q^t_{k,j}$: اگر ماشین k با سن j در انتهای دوره‌ی زمانی t وجود داشته باشد، مقدار ۱ می‌گیرد در غیر این صورت مقدار صفر؛
- $r^t_{k,j}$: اگر ماشین k با سن j در انتهای دوره‌ی زمانی t خریداری شود، مقدار ۱ می‌گیرد در غیر این صورت مقدار صفر؛
- $n^t_{k,j}$: اگر ماشین k با سن j در انتهای دوره‌ی زمانی t فروخته شود، مقدار ۱ می‌گیرد در غیر این صورت مقدار صفر؛
- $active_k$: تعداد دوره‌های فعالیت ماشین k در افق برنامه‌ریزی.

۴.۳.۳. مدل دوهدفه خریدوفروش وسایل نقلیه

$$\max \ obj۱ = QP + QN - QR - QS - QD \qquad (۲۲)$$

$$QP = \sum_k \sum_j \sum_t profit^t_{k,j} \times q^t_{k,j} \qquad (۲۳)$$

$$QN = \sum_k \sum_j \sum_t SD۱^j_k \times n^t_{k,j} \qquad (۲۴)$$

$$QR = \sum_k \sum_j \sum_t SD۲^j_k \times r^t_{k,j} \qquad (۲۵)$$

$$QS = \sum_k \sum_j \sum_t SC^j_k \times q^t_{k,j} \qquad (۲۶)$$

$$QD = \sum_{k}\sum_{j}\sum_{t} DE_k^j \times q_{k,j}^t \quad (۲۷)$$

$$\min \ obj۲ = \sum_{k} |port_k - active_k| \quad (۲۸)$$

$$r_{k,j}^t = q_{k,j+۱}^{t+۱} \times (۱ - q_{k,j}^t) \qquad \forall k,j,t \quad (۲۹)$$

$$n_{k,j}^t = q_{k,j}^t \times (۱ - q_{k,j+۱}^{t+۱}) \qquad \forall k,j,t \quad (۳۰)$$

$$\sum_{k}\sum_{j} q_{k,j}^t \le cap_t \qquad \forall t \quad (۳۱)$$

$$\sum_{j}\sum_{t} q_{k,j}^t = active_k \qquad \forall k \quad (۳۲)$$

$$q_{k,j}^t, n_{k,j}^t, r_{k,j}^t \in \{۰,۱\} \quad (۳۳)$$

$$active_k \ge ۰ \quad (۳۴)$$

رابطه‌های ۲۲ تا ۲۸ تابع هدف اول را تعریف می‌کنند. در رابطه‌ی ۲۳ مقدار سود حاصل از وسایل نقلیه و در رابطه‌ی ۲۴ مقدار سود حاصل از فروش ماشین‌ها به دست می‌آید. رابطه‌های ۲۵ و ۲۶ و ۲۷ به ترتیب برای در نظرگرفتن هزینه‌های خرید، استهلاک و خواب سرمایه تعریف شده‌اند. رابطه‌ی ۲۸ تابع هدف دوم این مدل را تعریف می‌کند که در آن میزان انحراف تعداد هر یک از وسایل نقلیه از تعداد وسایل نقلیه‌ی بهینه در مرحله‌ی دوم کمینه می‌شود. در رابطه‌ی ۲۹، در صورتی‌که یک ماشین در دوره‌ی $t+۱$ حضور داشته باشد، اما در دوره‌ی t وجود نداشته باشد متغیر $r_{k,j}^t$ مقدار ۱ می‌گیرد؛ به این معنا که ماشین k در دوره‌ی t خریداری شده است و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد. در رابطه‌ی ۳۰، درصورتی‌که یک ماشین در t حضور داشته باشد اما در دوره‌ی $t+۱$ وجود نداشته باشد، متغیر $n_{k,j}^t$ مقدار ۱ می‌گیرد به این معنا که ماشین k در دوره‌ی t فروخته شده است. در رابطه‌ی ۳۱ مقدار ظرفیت پایانه برای وسایل نقلیه در نظر گرفته شده است. رابطه‌ی ۳۲ تعداد وسایل نقلیه‌ی مورد استفاده در دوره‌ی برنامه‌ریزی را نشان می‌دهد. روابط ۳۳ و ۳۴ نوع متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهند. با توجه به چندمرحله‌یی بودن حل مسئله، در جدول ۲ مراحل حل مسئله در قالب شبه کد ارائه شده است.

۴. مثال عددی

در این قسمت یک مثال عددی بر اساس داده‌های شبیه‌سازی شده منطقی تولید شده است. پارامترهای این مسئله بر اساس شاخص‌هایی که وبگاه www.freightmetrics.com.au تعیین کرده است، تنظیم شده است. در این مثال، هر دوره‌ی برنامه‌ریزی یک سال و افق برنامه‌ریزی ۱۰ سال است. ۵ نوع محموله، که دوبه‌دو با همدیگر ناسازگارند، ۵ نوع وسیله‌ی نقلیه که دارای سن‌های مختلف هستند، در نظر گرفته شده است. ظرفیت پایانه‌ی وسایل نقلیه ۵۰ واحد است. ۵ نقطه‌ی تقاضا و عرضه در این مثال در نظرگرفته شده که مقادیر عرضه و تقاضا با استفاده از توزیع $U(۷۰,۱۰)$ تخمین زده شده است. مقادیر هزینه‌های خواب سرمایه، استهلاک و ... در این مثال بر اساس شاخص‌هایی که در وبگاه فوق ذکر شده‌اند، محاسبه شده است. مثال عددی مورد نظر از طریق حل‌کننده‌ی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط در نرم‌افزار $Gams$ ۲۳/۵ اجرا شده است. مدل پیشنهاد شده در مرحله‌ی سوم را می‌توان با استفاده از توابع عضویت، به یک مدل تک‌هدفه تبدیل کرد و سپس با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی حل کرد.

همچنین تغییرات دو تابع هدف این مدل به‌صورت مجموعه‌ی پارتویی و با استفاده از روش محدودیت اپسیلون بررسی شده است.

۱.۴. حل مثال عددی با روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی

جواب‌های به دست آمده پس از حل مدل به ازای هر یک از توابع هدف، در جدول ۳ آمده است. در این قسمت مدل دوهدفه‌ی پیشنهاد شده به یک مدل تک‌هدفه تبدیل می‌شود.

$$\max \ \ f(\mu) = \sum_{k=۱}^{۲} \mu_k = \mu_۱ + \mu_۲ \quad (۳۵)$$

$$Constraint\,set\ from\,(۲۲)\,to\,(۲۸) \quad (۳۶)$$

$$\mu_۱ \le \frac{Z_۱ - ۸/۹۸۵۴۴۳ \times ۱۰^۸}{۱/۵۲۵۷۴ \times ۱۰^{۱۰} - ۸/۹۸۵۴۴۳ \times ۱۰^۸} \quad (۳۷)$$

$$\mu_۲ \le \frac{۲۷۱ - Z_۲}{۲۷۱ - ۰} \quad (۳۸)$$

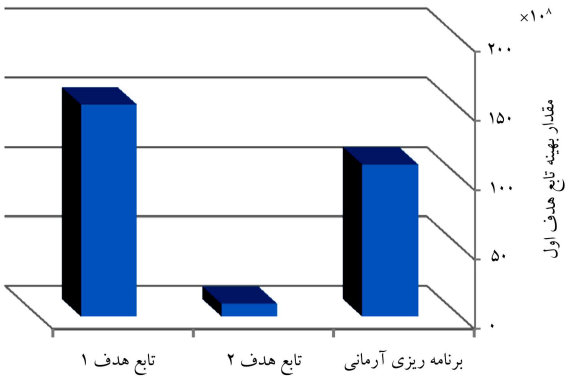
$$Constraint\,set\ from\,(۲۹)\,to\,(۳۴) \quad (۳۹)$$

$$\mu_۱, \mu_۲ \le ۱ \quad (۴۰)$$

در رابطه‌ی ۳۵ مجموع درجات دست‌یابی توابع هدف بیشینه می‌شود. در رابطه‌ی ۳۶ تمام روابطی که تابع هدف اول و دوم را در مدل اصلی تعریف کرده‌اند، قرار می‌گیرد. رابطه‌های ۳۷ و ۳۸ درجه‌ی دستیابی برای تابع هدف اول و دوم را تعریف می‌کند. در رابطه‌ی ۳۹ تمام محدودیت‌های مدل اصلی در مرحله‌ی سوم قرار می‌گیرد. رابطه‌ی ۴۰ نوع متغیرهای تصمیم را تعریف می‌کند. تحلیل مقایسه‌یی بین مقادیر به دست آمده از حل جداگانه‌ی توابع هدف و حل مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی در شکل ۱ و ۲ آورده شده است. همان‌طورکه در شکل ۱ مشخص است، جواب‌های به دست آمده از مدل تک هدفه که با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی به دست آمده است، به‌طور هم‌زمان تمام توابع هدف را در نظر می‌گیرد و از این‌رو نتایج به دست آمده به مقادیر بهینه‌ی حاصل از حل جداگانه‌ی توابع هدف بسیار نزدیک است. علاوه‌بر آن جواب‌های حاصل از اجرای مدل تک‌هدفه‌ی معادل شده در محیط نرم‌افزار $Gams$ ۲۳/۵، در جدول ۴ آورده شده است.

۲.۴. حل مثال عددی با روش محدودیت اپسیلون

روش محدودیت اپسیلون با انتقال تمام توابع هدف به جز یکی از آن‌ها به محدودیت،



شکل ۱. تحلیل مقایسه‌یی بین مقدار بهینه‌ی تابع هدف اول به ازای حل جداگانه‌ی هریک از توابع هدف و حل مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی.

جدول ۲. شبه کد مراحل طراحی و حل مسئله‌ی مورد مطالعه.

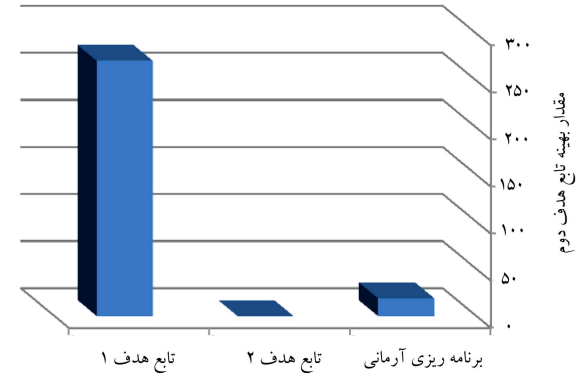
تنظیم دوره‌های برنامه‌ریزی و افق برنامه‌ریزی برای مسئله		
	ورودی و زمان حل مسئله	ورودی: مقادیر تخمینی $D_{j,o,t}$ و $S_{i,o,t}$ زمان حل مسئله: ابتدای هر دوره و به ازای تمام دوره‌ها
مرحله‌ی اول	هدف	حل جداگانه‌ی مدل ریاضی ۱ به ازای هر دوره‌ی برنامه‌ریزی با هدف: شناسایی الگوی بهینه‌ی حمل کالاها و محاسبه‌ی درآمد متناظر با این الگو به ازای هر وسیله‌ی نقلیه در هر دوره‌ی برنامه‌ریزی
	خروجی	ماتریس $profit^t_{k,j}$ یا درآمد به ازای هر وسیله‌ی نقلیه در هر دوره‌ی برنامه‌ریزی که به عنوان پارامتر ورودی مرحله‌ی دوم در نظر گرفته می‌شود.
	ورودی و زمان حل مسئله	ورودی: ماتریس نرمال شده $profit^t_{k,j}$ و مقادیر μ_i و ماتریس کوواریانس $\sum$ که بر اساس ماتریس نرمال شده $profit^t_{k,j}$ محاسبه شده‌اند. زمان حل مسئله: یکبار و در ابتدای افق برنامه‌ریزی
مرحله‌ی دوم	هدف	حل مدل ریاضی مرحله‌ی ۲ با هدف تعیین سبد بهینه‌ی وسایل نقلیه برای افق برنامه‌ریزی بر اساس درآمد تخمینی حاصل از وسایل نقلیه‌ی به دست آمده‌ی مرحله‌ی ۱
	خروجی	مقدار بودجه‌ی بهینه‌ی اختصاص‌یافته به هر وسیله‌ی نقلیه یا $port_k$ که به‌عنوان یکی از پارامترهای ورودی در مرحله‌ی سود در نظر گرفته می‌شود.
	ورودی و زمان حل مسئله	ورودی: ماتریس نرمال شده $profit^t_{k,j}$ و $port_k$ زمان حل مسئله: انتهای هر دوره و به ازای تمام دوره‌ها
مرحله‌ی سوم	هدف	شناسایی گزینه‌ی مناسب از بین وسایل نقلیه برای خرید، یا نگهداری یا فروش در انتهای هر دوره‌ی برنامه‌ریزی و کمینه کردن فاصله‌ی تعداد $port_k$ و $active_k$
	خروجی	چگونگی فرایند به مزایده گذاشتن $(n^t_{k,j})$ و خرید $(r^t_{k,j})$ هر وسیله‌ی نقلیه در انتهای دوره‌ی برنامه‌ریزی

جدول ۳. جدول مقایسه‌ی بین مقادیر به دست آمده به ازای اجرای جداگانه‌ی هریک از توابع هدف.

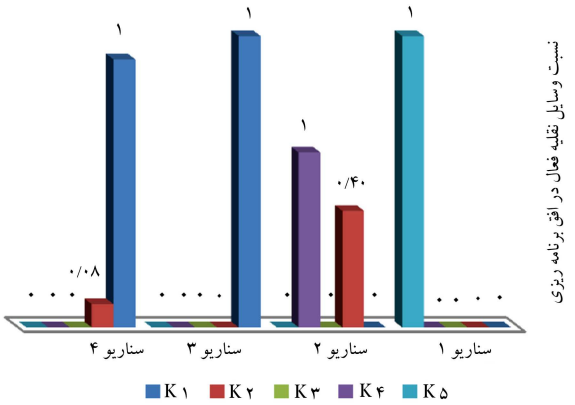
	تابع هدف ۱	تابع هدف ۲
تابع هدف ۱. مجموع سود حاصل از وسایل نقلیه $(\times ۱۰^۸)$	۱۵۲٫۵۷۴	۸٫۹۸۵۴۴۳
تابع هدف ۲. مجموع انحراف از مقدار متغیر تصمیم در مسئله ی سبد سهام	۲۷۱	۰
درصد وسایل نقلیه فعال شده در سری زمانی $(k_۱, k_۲, k_۳, k_۴, k_۵)$	(۰٫۰۵, ۰٫۰۱, ۰٫۱۶, ۰٫۳۸, ۰٫۴)	(۰٫۲۸, ۰٫۷۲, ۰, ۰, ۰)
تعداد دفعات خرید هر یک از وسایل نقلیه در سری زمانی	(۱۰, ۰, ۱۳, ۲۳, ۱۸)	(۶, ۱۶, ۰, ۰, ۰)

جدول ۴. نتایج حاصل از بهینه‌سازی برنامه‌ریزی آرمانی فازی.

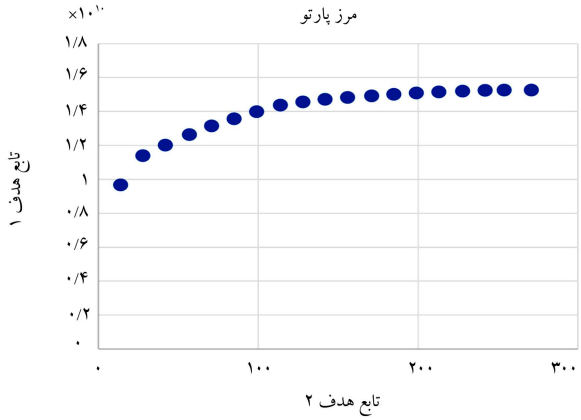
تابع هدف ۱. مجموع سود حاصل از وسایل نقلیه ($\times ۱۰^{۱۰}$)	تابع هدف ۲. مقدار انحراف از مقدار میانگین حاصل از سبد سهام بهینه	تعداد دفعات خرید هر یک از وسایل نقلیه در سری زمانی $(k_۱, k_۲, k_۳, k_۴, k_۵)$	درجه‌ی رضایت $(\mu_۱, \mu_۲)$
۱٫۱۰	۱۹	(۱۰, ۶, ۰, ۱۵, ۱۰)	(۰/۷, ۰/۹۳)



شکل ۲. تحلیل مقایسه‌یی بین مقدار بهینه تابع هدف دوم به ازای حل جداگانه‌ی هریک از توابع هدف و حل مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی.



شکل ۴. تحلیل مقایسه‌یی بین نسبت وسایل نقلیه‌ی فعال در افق برنامه‌ریزی حاصل از حل مدل در سناریوهای مختلف.



شکل ۳. مرز پارتوی به دست آمده با استفاده از روش محدودیت اپسیلون.

به حل مسائل چندهدفه می‌پردازد. با این روش می‌توان مرز پارتو ایجاد کرد. براساس گام سوم این روش، ۲۰ مقدار اپسیلون برای تابع هدف دوم در نظرگرفته شده است. مرز پارتو برای مثال عددی مطرح شده در شکل ۳ قابل مشاهده است.

۵. تحلیل حساسیت

به‌منظور اعتبارسنجی، سه تحلیل حساسیت طرح‌ریزی شده است. در تحلیل اول، هزینه‌ها برای یک ماشین خاص در مدل اول بالا می‌رود و نشان داده می‌شود که پس از حل مدل چندمرحله‌یی دوهدفه، همان ماشین زودتر از سایر ماشین‌ها به فروش می‌رسد. در تحلیل دوم، مدل پیشنهاد شده چندمرحله‌یی دوهدفه با مدل حمل‌ونقل کلاسیک مقایسه شده است. در تحلیل سوم ضرورت وجود مدل میانگین واریانس در مرحله‌ی دوم برای در نظرگرفتن برنامه‌ریزی تصادفی بررسی می‌شود.

۱.۵. تحلیل حساسیت ۱

هزینه‌های مربوط به حمل‌ونقل، شست‌وشو و ... در مدل ۱ در نظرگرفته شده است. فرض بر آن است که ۵ سناریو وجود دارد و ماشین $k_۵$ نسبت به سایر ماشین‌ها زودتر مستهلک می‌شود. در اولین سناریو ابتدا هزینه‌هایی برای وسایل نقلیه در نظر گرفته شده است. سپس در سناریوهای بعدی هزینه‌های مربوط به وسایل نقلیه‌ی $k_۵, \ldots, k_۲$ رفته رفته زیاد می‌شود. این افزایش هزینه‌ها با ضرایب ۱، ۲، ۴، ۶ و ۸ برابر هزینه‌هایی که در سناریوهای قبلی به‌ترتیب برای ماشین‌های $k_۱$ تا $k_۵$ تعریف شده است، صورت می‌پذیرد. شکل ۴ درصد وسایل نقلیه فعال شده در افق برنامه‌ریزی را به ازای سناریوهای مختلف نشان می‌دهد، همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است، پس از اجرای مدل سه مرحله‌یی دوهدفه برای هریک از سناریوها مشاهده می‌شود که مدل توسعه‌یافته، ماشین $k_۵$ را زودتر از سایر ماشین‌های دیگر، از ترکیب وسایل نقلیه پیشنهاد شده حذف می‌کند، هرچند که در طی افق برنامه‌ریزی، این ماشین سودآور است.

۲.۵. تحلیل حساسیت ۲

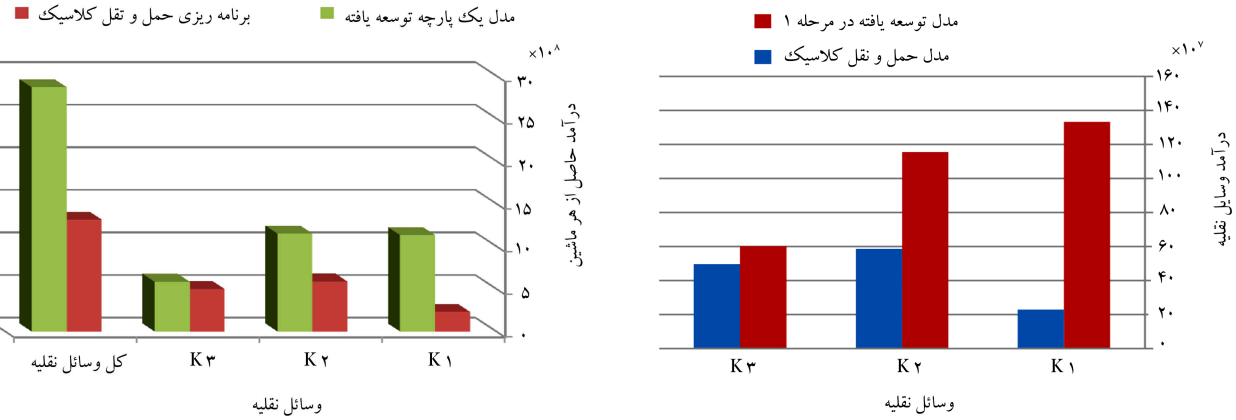
در این تحلیل فرض بر آن است که زمینه‌های مربوط به ماشین $k_۳$ به نسبت هزینه‌های ماشین $k_۱$ بیشتر است. مسئله‌ی مورد نظر با استفاده از مدل یکپارچه‌ی چندمرحله‌یی دوهدفه برای خریدوفروش وسایل نقلیه و سپس با استفاده از مدل برنامه‌ریزی حمل‌ونقل کلاسیک حل شده است. در ابتدا مدل توسعه‌یافته در مرحله‌ی اول این مقاله برای تعیین الگوی سود وسایل نقلیه در شرکت حمل‌ونقل اجرا می‌شود و سود حاصل از هر ماشین در انتهای هر دوره به دست می‌آید. از سوی دیگر الگوی سود وسایل نقلیه در شرکت حمل‌ونقل با استفاده از مدل حمل‌ونقل کلاسیک به دست آمده است. در مدل حمل‌ونقل کلاسیک، فقط هزینه‌های حمل‌ونقل در تابع هدف در نظر گرفته می‌شود. مقادیر سود حاصل از هر یک ماشین‌های $k_۱$

جدول ۵. هزینه‌ها و سود کلی حاصل از هریک وسایل نقلیه با استفاده از مدل حمل‌ونقل کلاسیک.

	مجموع سود حاصل از وسایل نقلیه در انتهای سری زمانی ۱۰ سال ($\times ۱۰^{۷}$)	مجموع هزینه‌های در نظرگرفته نشده در تابع هدف مدل حمل‌ونقل ($\times ۱۰^{۷}$)	هزینه‌ی استهلاک ($\times ۱۰^{۷}$)	هزینه‌ی خواب سرمایه ($\times ۱۰^{۷}$)	سود حاصل از فروش در انتهای دوره‌ی ($\times ۱۰^{۷}$)	سود حقیقی هر یک از وسیله نقلیه ($\times ۱۰^{۷}$)
$k_۱$	۵۱٫۸۶۳۶۴۹۷۸	۲۸٫۷۵۴۹۶	۰٫۱۰۶۹۷۳	۰٫۰۴۰۱۰۳	۰٫۰۱۴۹۸۹	۲۲٫۹۷۶۶
$k_۲$	۸۹٫۲۰۳۵۲۳۸۲	۳۰٫۰۳۸۸۳	۰٫۴۴۲۰۹۱	۰٫۱۶۶۵۰۹	۰٫۰۶۲۲۳۴	۵۸٫۶۱۸۳۳
$k_۳$	۸۲٫۵۸۴۵۰۶۸۲	۳۰٫۷۸۰۸۹	۱٫۷۲۱۵۵۴	۰٫۶۴۵۳۹۳	۰٫۲۴۱۲۲	۴۹٫۶۷۷۸۹

جدول ۶. هزینه‌ها و سود کلی حاصل از هریک وسایل نقلیه با استفاده از مدل حمل‌ونقل توسعه‌یافته.

	مجموع سود در انتهای سری زمانی ($\times ۱۰^{۷}$)	هزینه‌ی استهلاک ($\times ۱۰^{۷}$)	هزینه‌ی خواب سرمایه ($\times ۱۰^{۷}$)	هزینه‌ی خرید هر یک از وسایل نقلیه ($\times ۱۰^{۷}$)	سود حاصل از فروش در انتهای دوره ($\times ۱۰^{۷}$)	سود حقیقی ($\times ۱۰^{۷}$)
$k_۱$	۱۳۳٫۳۴۴۳	۰٫۰۲۹۲۵۲	۰٫۰۵۲۵۳۸	۰٫۲۴۳۳۹۸	۰٫۲۰۸۹۹۲	۱۱۳٫۲۲۸۱
$k_۲$	۱۱۵٫۴۷۶۴	۰٫۱۴۹۷۲۵	۰٫۲۳۶۳۸۵	۰٫۷۲۶۷۳۷	۰٫۶۲۵۶۲۷	۱۱۴٫۹۸۷۴
$k_۳$	۶۰٫۱۲۰۶۸	۰٫۴۶۰۷۶۶	۰٫۷۵۵۰۳۵	۳٫۳۳۱۵۷۷	۲٫۹۰۲۹۶۵	۵۸٫۴۷۶۲۷



شکل ۵. تحلیل مقایسه‌یی بین درآمد وسایل نقلیه در مدل حمل‌ونقل توسعه‌یافته در مرحله‌ی اول و مدل برنامه‌ریزی حمل‌ونقل کلاسیک.

شکل ۶. تحلیل مقایسه‌یی بین درآمد هر ماشین با استفاده از مدل برنامه‌ریزی حمل‌ونقل کلاسیک و مدل سه‌فازی دوهدفه‌ی توسعه‌یافته.

و $k_۲$ و $k_۳$ به‌ازای اجرا و حل هر یک از مدل‌های مدل یکپارچه‌ی چندمرحله‌یی دوهدفه و حمل‌ونقل کلاسیک در شکل ۵ قابل مقایسه است. همان‌طور که در شکل ۵ مشخص است سود به دست آمده برای ماشین‌های $k_۱$ و $k_۲$ به ترتیب در مدل توسعه‌یافته حمل‌ونقل بیشتر و کمتر از سود محاسبه شده برای همین ماشین‌ها در مدل حمل‌ونقل کلاسیک است؛ زیرا مدل توسعه‌یافته حمل‌ونقل در مرحله‌ی اول این مقاله، به‌صورت همه‌جانبه همه‌ی هزینه‌های مربوط به وسایل نقلیه را در نظر می‌گیرد و از آن‌جایی که هزینه‌های مربوط به ماشین $k_۳$ به نسبت هزینه‌های ماشین $k_۱$ بیشتر است، از آن کمتر استفاده شده است؛ پس سود متناظر با این ماشین نسبت به سود به دست آمده در مدل حمل‌ونقل کلاسیک کمتر است.

در مرحله‌ی دوم به تحلیل وضعیت سوددهی وسایل نقلیه پرداخته می‌شود. سود محاسبه شده به‌وسیله‌ی مدل برنامه‌ریزی حمل‌ونقل توسعه‌یافته به‌عنوان پارامتر ورودی مسئله‌ی سبد سهام در نظرگرفته می‌شود. در مرحله‌ی سوم، مدل دوهدفه‌ی پیشنهاد شده با در نظرگرفتن هزینه‌هایی چون هزینه‌ی خواب سرمایه، استهلاک و قیمت خریدوفروش ماشین‌هایی که دارای سن‌های مختلفی هستند و آگاهی از ترکیب بهینه‌ی حاصل از حل مدل در مرحله‌ی دوم، به برنامه‌ریزی خریدوفروش می‌پردازد. در نهایت مقادیر هزینه‌ها با استفاده از مدل دوهدفه‌ی پیشنهاد شده و مدل برنامه‌ریزی حمل‌ونقل با همدیگر مقایسه می‌شود. در مدل حمل‌ونقل کلاسیک مقادیر سود حاصل از هر وسیله‌ی نقلیه با فرض ثابت نگه داشتن وسایل نقلیه در تمام دوره‌های افق برنامه‌ریزی محاسبه می‌شود. هزینه‌ها و مقادیر سود کلی به دست آمده برای هریک وسایل نقلیه به‌ازای حل مدل حمل‌ونقل کلاسیک و مدل حمل‌ونقل توسعه‌یافته به ترتیب در جداول ۵ و ۶ آورده شده است. تحلیل مقایسه‌یی بین سود حقیقی به دست آمده توسط دو مدل برنامه‌ریزی حمل‌ونقل کلاسیک و مدل پیشنهاد شده در شکل ۶ قابل مشاهده است. همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است، با

جدول ۷. نتایج حاصل از اجرای مدل خریدوفروش وسایل نقلیه‌ی تک‌هدفه.

واریانس حاصل از انتخاب وسایل نقلیه	میانگین بازده سرمایه	درصد بودجه اختصاص یافته به هر نوع وسیله‌ی نقلیه (k_1, k_2, k_3)	تابع هدف ۱. $(\times 10^9)$
۱٫۱۰	۰٫۰۱۸۳۹۲۳۵۶	(۰/۱, ۰, ۰/۹)	۱٫۷۴۵۳۲۷

جدول ۸. نتایج حاصل از اجرای مدل یکپارچه و دوهدفه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و خرید و فروش وسایل نقلیه.

واریانس حاصل از انتخاب وسایل نقلیه	میانگین بازده سرمایه	درصد بودجه اختصاص یافته به هر نوع وسیله‌ی نقلیه (k_1, k_2, k_3)	تابع هدف ۱. $(\times 10^9)$	تابع هدف ۲	درجه‌ی رضایت (μ_1, μ_2)
۰٫۷۱	۰٫۰۱۱۹۰۰۹۳۶	(۰/۴۳۳, ۰, ۰/۵۶۷)	۱٫۴۶۰۲۶۴	۳۴	(۰/۷۵, ۰/۳۷)

استفاده از مدل حمل‌ونقل کلاسیک و بدون اجرایی کردن تصمیم‌های مبنی‌بر خرید یا فروش وسایل نقلیه در طی افق برنامه‌ریزی ۱۰ ساله هزینه‌های بسیار زیادی به سازمان تحمیل می‌شود.

۳.۵. تحلیل حساسیت ۳

در حالتی‌که واریانس سود زیاد باشد ضرورت وجود مدل سبد سهام بیشتر به چشم می‌آید.

پس از اجرای مدل خریدوفروش وسایل نقلیه فقط با در نظرگرفتن تابع هدف اول و به دست آوردن سبد وسایل نقلیه‌ی به‌کارگرفته شده در افق برنامه‌ریزی، میزان واریانس یا به‌عبارت دیگر ریسک حاصل از وسایل نقلیه‌ی خریداری شده در افق برنامه‌ریزی محاسبه می‌شود. از طرف دیگر مدل دوهدفه‌ی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و خریدوفروش وسایل نقلیه اجرا و میزان ریسک حاصل از وسایل نقلیه‌ی پیشنهاد شده‌ی این مدل محاسبه می‌شود.

در جداول ۷ و ۸ مقادیر میانگین بازده و واریانس حاصل از وسایل نقلیه‌ی انتخاب شده که با اجرای هریک مدل‌ها به دست آمده است، نشان داده شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، در صورت نبود مسئله‌ی سبد سهام و در نظر نگرفتن شاخص ریسک، سازمان با مقدار بسیار زیادی از ریسک مواجه است (مقدار شاخص ریسک محاسبه شده در این حالت ۱٫۱۰ است)، حال این‌که سازمان می‌تواند از درصدی از میانگین بازده سرمایه صرف‌نظر کند، اما درصد بالایی از ریسک یا خطر از دست رفتن سرمایه را نپذیرد. مقدار شاخص ریسک محاسبه شده در این حالت ۰٫۷۱ است که نسبت به حالت قبل کاهش یافته است.

۶. نتیجه‌گیری

در این مطالعه یک مدل چندمرحله‌یی و دوهدفه برای برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و برنامه‌ریزی خریدوفروش وسایل نقلیه ارائه شده است. این مدل در مرحله‌ی اول به دنبال یافتن الگوی بهینه‌ی مسیر برای هریک از وسایل نقلیه با در نظرگرفتن محدودیت ناسازگاری محصولات است. در مرحله‌ی دوم با استفاده از خروجی‌های مدل ریاضی در مرحله‌ی اول سبد بهینه‌ی وسایل نقلیه انتخاب می‌شود. در مرحله‌ی سوم با توجه به خروجی‌های مدل ریاضی مرحله‌ی اول و دوم، مدل دوهدفه‌یی برای برنامه‌ریزی خریدوفروش وسایل نقلیه در انتهای هر دوره‌ی برنامه‌ریزی توسعه‌یافته است. مدل دوهدفه‌ی ارائه شده در مرحله‌ی سوم با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی حل شده است و مقادیر عضویت برای هریک از توابع هدف محاسبه شده است. به‌منظور ارزیابی رفتار مدل و مشاهده‌ی کارایی هریک از مراحل در نظر گرفته شده مدل توسعه‌یافته با مدل برنامه‌ریزی حمل‌ونقل کلاسیک مقایسه شده است و نتایج نشان می‌دهد که استفاده از مدل برنامه‌ریزی حمل‌ونقل توسعه‌یافته به لحاظ هزینه به نفع سازمان خواهد بود. از طرف دیگر با حذف مدل پرتفلیو و محاسبه‌ی مقادیر سود و واریانس نشان داده شد که برای جلوگیری از مواجهه با خطر بالای سرمایه‌گذاری باید شاخصی که واریانس و ریسک حاصل از سرمایه‌گذاری را محاسبه می‌کند در برنامه‌ریزی خرید و فروش وسایل نقلیه در نظرگرفته شود. از آن‌جایی‌که فرایند مدل‌سازی صورت‌گرفته در این مطالعه بر اساس تحقیقات میدانی در یکی از شرکت‌های حمل‌ونقل صورت گرفته است و با توجه به بالارفتن هزینه‌های سوخت و خطر بالای ریسک سرمایه‌گذاری برای خرید وسایل نقلیه همراه با تریلر، استفاده از برنامه‌ریزی ارائه شده در این مطالعه به سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیرندگان شرکت‌های حمل‌ونقل پیشنهاد می‌شود.

منابع (References)

1. Lucia, B., Victoria, R. Maria Jesús, A. and et al. "Routing design for less-than-truckload motor carriers using ant colony techniques", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review.*, **46**(3), pp. 367-383 (2010).

2. Laporte, G., "The vehicle routing problem: an overview of exact and approximate algorithms", *European Journal of Operational Research.*, **59**(3), pp. 345-358 (1992).

3. Mavrovouniotis, M. and Ynag, S. "Ant algorithms with immigrants schemes for the dynamic vehicle routing problem", *Information Sciences.*, **294**, pp. 456-477 (2015).

4. Laporte, G. Gendreau, M. Potvin, J.Y. and et al. "Classical and modern heuristics for the vehicle rout-

ing problem", *International Transactions in Operational Research.*, **7**(4), pp. 285-300 (2000).

5. Faulin, J. Juan, A., Lera, F. and et al. "Solving the capacitated vehicle routing problem with environmental criteria based on real estimations in road transportation: a case study", *Procedia Social and Behavioral Sciences*, **20**, pp. 323-334 (2011).

6. Tavakkoli-Moghaddam, R. Safali, N. and Gholipour, Y. "A hybrid simulated annealing for capacitated vehicle routing problems with the independent route length", *Applied Mathematics and Computation*, **176**, pp. 445-454 (2006).

7. Tavakkoli-Mohghaddam, R. Safali, N. and Rabbani, M. "A new capacitated vehicle routing problem with split service for minimizing float cost by simulated annealing", *Journal of The Franklin Institute* ,**344**, pp. 406-425 (2007).

8. Funke, J. and Kopfer, H. "A model for a multi size inland container transportation problem", *Transportation Research Part E*, **89**, pp. 70-85 (2016).

9. Chung. K., Seong Ko, C., Young Shin, J. and et al. "Development of mathematical models for the container road transportation in Korean trucking industries", *Computers & Industrial Engineering*, **53**, pp. 252-262 (2007).

10. Parragh, S.N. Doerner, K.F. and Hartl, R.F. "A survey on pickup and delivery problems. part I: transportation between customers and depot", *Journal für Betriebswirtschaft*, **58**(1), pp. 21-51 (2008).

11. Arinos vasco, R. and Morabito, R. "The dynamic vehicle allocation problem with application in trucking companies in Brazil", *Computers and Operation Research*, **76**, pp. 118-133 (2016).

12. Wang, X. Kopfer, H. and Gendreau, M. "Operational transportation planning of freight forwarding companies in horizontal coalitions", *European Journal of Operational Research*, **237** pp. 1133-1141 (2014).

13. https://www.walkers-transport.co.uk/common-issues-for-transport-companies

14. Markowitz, H.M. "Portfolio selection", *Journal of Finance*, **7**, pp. 77-91 (1952).