

مدل سازی سه مرحله‌یی و دوهدفه مسئله‌ی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، انتخاب و تغییرات فنی سبد وسایل نقلیه

Original Article

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 هر یک 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

از این رو، در این مقاله یک روش مدل‌سازی ریاضی سه‌مرحله‌یی ارائه می‌شود. فرض بر آن است که هر یک 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 تخمین زده 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. به عبارت 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.

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 نظر گرفتن 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.

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۶/۷/۱۶، اصلاحیه ۱۳۹۷/۵/۱۳، پذیرش ۱۳۹۷/۶/۱۸

DOI:10.24200/J65.2018.7280.1785

Archive of SID

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 آن چه در مرجع^[۱] و در سال ۱۹۹۲ فرمول بندی شده است، دارای یک پایانه است که برای قرارگیری مجموعه‌ی وسایل نقلیه‌ی یکسان که کالاها را 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 یک بار 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 حالی که 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.^[۴] از جمله مقالاتی که با الهام از شرایط واقعی در شرکت‌های حمل‌ونقل به دنبال توسعه‌ی مسئله‌ی مسیریابی بوده‌اند، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

در مرجع^[۵] مدلی دوده‌دهنده مبنی بر کمینه 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^[۶] هزینه بهینه برای وسایل نقلیه‌ی متفاوت و مقدار مسافت طی شده توسط هر وسیله‌ی نقلیه به‌گونه‌ی 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 دوده‌دهنده 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 مدل پایه 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 برزلی 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 شاخصه‌ی است که پس از اجرایی شدن طرح و گذشت چندین دوره قابل ارزیابی است. علاوه بر بررسی کارایی هر وسیله‌ی نقلیه که معمولاً بر اساس میانگین بازده سرمایه‌ی هر

در مرحله‌ی سوم مسئله وارد فاز برنامه‌ریزی فنی می‌شود که در آن به طراحی یک مدل ریاضی دوده‌دهنده 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 دوده‌دهنده طراحی شده است که تابع هدف اول آن، اختلاف درآمد با مجموع هزینه‌های خرید و فروش، 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 دوده‌دهنده در مرحله‌ی سوم با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی و روش محدودیت اسپیلون 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 چندمرحله‌ی طرح‌ریزی شده است.

به‌منظور شفافیت بیشتر مسئله‌ی مورد مطالعه، یک مثال کاربردی در دنیای واقعی در ادامه تشریح می‌شود؛ در بسیاری از شرکت‌های حمل‌ونقل، وسایل نقلیه دارای تریلر به‌منظور حمل محموله‌هایی چون نفت، بزمین، 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 بزمین 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 بزمین 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 پایایی، 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 ... به صرفه 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 مجرای هر وسیله‌ی نقلیه، وسایل نقلیه به مرزایه 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. از این رو در ادامه مدل‌هایی به‌منظور به دست آوردن سید بهینه‌ی بی از وسایل نقلیه و چگونگی خرید و فروش 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

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، مقایسه‌ی بین تصمیم‌های اخذ شده در هر دوره و افق برنامه‌ریزی در هر یک 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 نظر گرفته شده در این مقاله در پیشینه‌ی موضوع دیده نشده است.

۳. مدل‌های توسعه‌یافته

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

۳.۱. 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 هر یک از مدل‌های ریاضی در هر مرحله فرضیات در نظر گرفته شده در تعریف مدل و علائم نشان‌گذاری، برای معرفی انواع متغیرهایی که در آن به کار گرفته شده است، آورده می‌شود.

۳.۱.۱. فرضیات

در صورتی که 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 نظر گرفتن 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.

۳.۱.۲. 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

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

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 چندگانه‌ی 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 و وسایل نقلیه، مدیران و برنامه‌ریزان شرکت حمل‌ونقل را به تعیین ترکیب و تعداد مناسبی از هر نوع وسیله‌ی نقلیه وادار کرده 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 نظر گرفتن حمل کالاهای ناسازگار دیده نشده است، که در مرحله‌ی اول مدل‌سازی این مقاله در نظر گرفته 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. از این‌رو در مرحله‌ی دوم و سوم این مقاله یک برنامه‌ریزی دقیق برای مدیریت هزینه‌ی وسایل نقلیه در نظر گرفته می‌شود که بر اساس آن می‌توان به خرید و فروش 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 هر یک 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 تخمین زده شده برای افق برنامه‌ریزی در مرحله‌ی اول، قیمت‌های خرید و فروش، هزینه‌های استهلاک و خواب سرمایه و با آگاهی از تعداد بهینه‌ی

جدول ۱. جدول مقایسه‌ی بین تصمیم‌های اخذ شده در هر دوره‌ی برنامه‌ریزی و افق برنامه‌ریزی در هر یک 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]	تک دوره	یافتن الگوی بهینه مسیر برای هر وسیله‌ی نقلیه با هدف کمینه کردن هزینه‌های سفر، هزینه‌های مبنی بر ظرفیت استفاده نشده وسیله‌ی نقلیه	-	-
[۸]	تک دوره	یافتن الگوی بهینه مسیر برای هر وسیله‌ی نقلیه با هدف کمینه کردن مسافت طی شده و کمینه کردن زمان کل سرویس‌دهی در محل	-	-
[۹]	تک دوره	یافتن الگوی بهینه مسیر برای هر وسیله‌ی نقلیه با هدف کمینه کردن هزینه‌های عملیاتی و هزینه اجاره‌ی وسیله‌ی نقلیه	-	-
[۱۱]	چند دوره	-	یافتن الگوی بهینه‌ی مسیر برای هر وسیله‌ی نقلیه در یک افق زمانی	-
[۱۲]	چند دوره	-	ارائه‌ی برنامه‌ریزی حمل و نقل یک افق برنامه‌ریزی و تصمیم بر نگهداری یا اجاره‌ی وسایل نقلیه	-
مقاله پیش‌رو	تک دوره‌ی 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

محصول o از مبدأ a به مقصد b فرستاده می‌شود مقدار λ می‌گیرد، در غیر این صورت 0 ؛

-- $\gamma_{i,o,k,t}$: زمانی که ماشین k در دوره‌ی زمانی t محصول o را در مکان i تخلیه کرده است مقدار λ می‌گیرد، در غیر این صورت 0 ؛

-- $\delta_{k,t}$: زمانی که ماشین k محصول ناسازگاری را در دوره‌ی زمانی t حمل کند، مقدار λ می‌گیرد، در غیر این صورت 0 ؛

-- $totaldist_k$: کل مسافتی که ماشین k می‌پیماید.

۵.۱.۳. مدل ریاضی ۱

در شرکت حمل و نقل مورد مطالعه، محصولات i 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 حمل و نقل 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 $c_{o,p}$ به‌گونه‌ی 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.

-- sv_k : هزینه‌ی نگهداری و تعمیرات ماشین k به ازای هر 2000 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 j ام برای محموله‌ی نوع o در دوره‌ی زمانی t ؛

-- $S_{i,o,t}$: میزان عرضه‌ی مبدأ i ام برای محصول نوع o در دوره‌ی زمانی t ؛

-- $c_{o,p}$: ماتریس ناسازگاری مربوط به محصولات. (در این ماتریس مقدار λ 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

باعث می شود که در صورت حمل کالای ناسازگار در دو مسیر متوالی توسط یک وسیله نقلیه، هزینه شست و شوی ماشین k در تابع هدف فعال شود. نحوه عملکرد این محدودیت در دو حالت توضیح داده می شود. حالت ۱، زمانی که دو محصول سازگار در مسیرهای پیاپی حمل می شوند که در این حالت مقدار صفر از ماتریس $c_{o,p}$ انتخاب می شود. حالت ۲، زمانی که دو محصول ناسازگار با یک وسیله نقلیه و در مسیرهای پیاپی حمل می شود که در این حالت، مقدار ۱ از ماتریس (پارامتر) $c_{o,p}$ انتخاب می شود. در هر دو حالت اگر دو متغیر صفر و یک $\gamma_{j,p,k,t}$ و $\gamma_{i,o,k,t-1}$ همزمان مقدار ۱ را بگیرند به این معناست که ماشین خاص k در دو دوره زمانی متوالی $t-1$ 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 نظر گرفته می شود. در نتیجه بر اساس رابطه ۱۴ مقدار صفر برای متغیر $\delta_{k,t}$ به دست می آید و عبارت مربوط به هزینه عملیاتی شست و شوی برای ماشین خاص k در تابع هدف صفر می شود؛ اما در صورت ناسازگار بودن محصولات o و p ، مقدار متغیر $\delta_{k,t}$ یک به دست می آید و در تابع هدف هزینه عملیاتی شست و شوی مربوط به وسایل نقلیه با توجه به هزینه شست و شوی co_k محاسبه و در نظر گرفته می شود. رابطه ۱۵ مقدار کل مسافت طی شده توسط هر ماشین را محاسبه می کند. محدودیت های ۱۶ و ۱۷ نوع متغیرهای تصمیم را نشان می دهند.

۲.۳. تعیین ترکیب وسایل نقلیه برای یک افق زمانی

در این مرحله با استفاده از مقادیر $profit_k^t$ یا سود به دست آمده با استفاده از مدل ریاضی اول که به تفکیک هر ماشین محاسبه شده است، تعداد بهینه ی وسایل نقلیه با استفاده از مدل ریاضی دوم و به کمک متغیر $port_k$ برای افق برنامه ریزی به دست می آید. در نظریه انتخاب بهینه ی سبد سهام، در هر یک از واحدهای زمانی ارزش چند شاخص باهم دیگر مقایسه می شود.

۱.۲.۳. اندیس ها

-- t : اندیس مربوط به زمان نمونه برداری از ارزش وسایل نقلیه؛

-- i, j : اندیس های مربوط به وسایل نقلیه.

۲.۲.۳. پارامترها

-- μ_i : مقدار بازده حاصل از وسیله ی نقلیه ی نوع i ؛

-- σ_i : انحراف معیار حاصل از وسیله ی نقلیه ی نوع i . (انحراف معیار درآمد حاصل از هر وسیله ی نقلیه در طی یک افق برنامه ریزی)؛

-- σ_{ij} : کوواریانس بین وسیله ی نوع i و وسیله ی نقلیه ی نوع j ؛

-- \sum : ماتریس کوواریانس.

۳.۲.۳. متغیر تصمیم

-- w_i : درصدی از بودجه که به وسیله ی نقلیه ی نوع i اختصاص می یابد.

۴.۲.۳. مدل ریاضی ۲

در چهارچوب طراحی شبکه ی حمل و نقل نیازمند به شناسایی وسایل نقلیه ی سودآور هستیم؛ حال این که علاوه بر بازده بالا باید شاخص ریسک را در این شناسایی به گونه یی دخیل کرد که احتمال از دست دادن کل سرمایه پایین باشد. در این مرحله با محاسبه ی مقدار بازده هر ماشین که در واقع همان میزان تغییر سود در دو سال متوالی است و همچنین محاسبه ی مقدار ریسک یا میزان نوسان در مقادیر سود در طی یک افق برنامه ریزی، سبده ی از وسایل نقلیه انتخاب می شود. منظور از انحراف معیار

$$\min C + W + M + F \quad (1)$$

$$C = \sum_a \sum_b \sum_k \sum_o \sum_t y_{a,b,k,o,t} \times cost_{a,b,k} \quad (2)$$

$$W = \sum_k \sum_t co_k \times \delta_{k,t} \quad (3)$$

$$M = \sum_k n \times \frac{totaldist_k}{\tau_{ooo}} \times sv_k \quad (4)$$

$$F = \sum_k totaldist_k \times po_k \quad (5)$$

$$\sum_i \sum_k y_{i,j,k,o,t} \geq D_{j,o,t} \quad \forall j, o, t \quad (6)$$

$$\sum_j \sum_k y_{i,j,j,o,t} \leq S_{i,o,t} \quad \forall i, o, t \quad (7)$$

$$\sum_a \sum_o x_{a,j,k,o,t-1} = \sum_a \sum_o x_{j,a,k,o,t} \quad \forall j, k, t \quad (8)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_o x_{i,j,k,o,t} \leq 1 \quad \forall k, t \quad (9)$$

$$y_{a,b,k,o,t} \leq M \times x_{a,b,k,o,t} \quad \forall a, b, k, o, t \quad (10)$$

$$y_{a,b,k,o,t} \geq x_{a,b,k,o,t} \quad \forall a, b, k, o, t \quad (11)$$

$$\gamma_{j,o,k,t} \leq \sum_i y_{i,j,k,o,t} \quad \forall j, o, k, t \quad (12)$$

$$\sum_i y_{i,j,k,o,t} \leq M \times \gamma_{j,o,k,t} \quad \forall j, o, k, t \quad (13)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_o \sum_p c_{o,p} \times \gamma_{i,o,k,t-1} \times \gamma_{j,p,k,t} = \delta_{k,t} \quad \forall k, t \quad (14)$$

$$\sum_a \sum_b \sum_o \sum_t x_{a,b,k,o,t} \times d_{a,b} = totaldist_k \quad \forall k \quad (15)$$

$$y_{i,j,k,o,t}, totaldist_k \geq 0 \quad \forall i, j, k, o, t \quad (16)$$

$$x_{i,j,k,o,t}, \gamma_{i,o,k,t}, \delta_{k,t} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, k, o, t \quad (17)$$

این مدل ریاضی بر اساس مدل پایه برنامه ریزی حمل و نقل شکل گرفته است که ملاحظات واقعی در یک صنعت حمل و نقل (که توسط نویسندگان در یک مطالعه ی واقعی مربوط به حمل انواع روغن مشاهده شده است) در آن گنجانده شده و با در نظر گرفتن خصوصیات سازگاری و ناسازگاری محصولات حمل شده به وسیله ی یک وسیله ی نقلیه در مسیرهای پیاپی، توسعه یافته است. رابطه ۱ تا ۵ تابع هدف مدل ریاضی ۱ را شرح می دهند، در این عبارات تابع هزینه شامل مجموع هزینه های فعال سازی، ارسال وسایل حمل کننده، شست و شوی، نگهداری و تعمیرات و هزینه ی سوخت وسایل حمل کننده است. رابطه ۶ و ۷ به ترتیب محدودیت مربوط به تقاضا و منابع در دسترس را تشکیل می دهد. رابطه ۸ برای متعادل بودن گره در نظر گرفته شده است؛ به عبارت بهتر ماشین هایی که در هر دوره ی زمانی به یک گره خاص وارد می شوند باید در دوره ی بعدی از آن گره خارج شوند. رابطه ۹ تأکید می کند که هر ماشین در هر دوره ی زمانی حداکثر باید در یک کمان حضور داشته باشد. رابطه های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب باعث می شوند که هر زمانی که متغیر y مقدار مثبت می گیرد در دوره ی قبل یک ماشین از شرکت حمل و نقل به نقطه ی عرضه کننده ی i فرستاده شود و پس از آن از نقطه ی تقاضای j به شرکت حمل و نقل بازگردانده شود. رابطه های ۱۲ و ۱۳ باعث می شوند، γ متغیر زمانی مقدار یک بگیرد که کالای o با ماشین k در دوره ی زمانی t از هر نقطه یی به گره خاص j وارد شود. رابطه ی ۱۴

Archive of SID

ترکیب بهینه‌ی از وسایل نقلیه برای یک افق برنامه‌ریزی به دست آمد. در مرحله سوم، برنامه‌ریزی خریدوفروش وسایل نقلیه در انتهای هر یک 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 به‌گونه‌ی 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 نظر گرفتن 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 نظر گرفته نمی‌شود؛ پس با توجه به سن هر ماشین باید مهندسی مجدد صورت بگیرد. از طرف دیگر از آنجایی که 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 هر یک از وسایل نقلیه؛

— t : اندیس برای دوره‌های برنامه‌ریزی حمل‌ونقل.

۲.۳.۳. پارامترها

— $profit_{k,j}^t$: سود خالص تخمینی کامیون k با سن j در دوره‌ی t ؛

— SD_k^j : قیمت فروش ماشین k که دارای سن j است؛

— SD_k^j : قیمت خرید ماشین k که دارای سن j است؛

— SC_k^j : هزینه‌ی خواب سرمایه‌ی ماشین k با سن j ؛

— DE_k^j : 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

— $q_{k,j}^t$: اگر ماشین k با سن j در انتهای دوره‌ی زمانی t وجود داشته باشد، مقدار 1 می‌گیرد در غیر این صورت مقدار صفر؛

— $r_{k,j}^t$: اگر ماشین k با سن j در انتهای دوره‌ی زمانی t خریداری شود، مقدار 1 می‌گیرد در غیر این صورت مقدار صفر؛

— $n_{k,j}^t$: اگر ماشین k با سن j در انتهای دوره‌ی زمانی t فروخته شود، مقدار 1 می‌گیرد در غیر این صورت مقدار صفر؛

— $active_k$: تعداد دوره‌های فعالیت ماشین k در افق برنامه‌ریزی.

۴.۳.۳. مدل دوده‌دهنده خریدوفروش وسایل نقلیه

$$\max ob \setminus = QP + QN - QR - QS - QD \quad (22)$$

$$QP = \sum_k \sum_j \sum_t profit_{k,j}^t \times q_{k,j}^t \quad (23)$$

$$QN = \sum_k \sum_j \sum_t SD_k^j \times n_{k,j}^t \quad (24)$$

$$QR = \sum_k \sum_j \sum_t SD_k^j \times r_{k,j}^t \quad (25)$$

$$QS = \sum_k \sum_j \sum_t SC_k^j \times q_{k,j}^t \quad (26)$$

حاصل از یک وسیله نقلیه همان انحراف معیار درآمد حاصل از هر وسیله‌ی نقلیه در طی افق برنامه‌ریزی است که به عنوان شاخصی برای در نظر گرفتن ریسک حاصل از هر وسیله‌ی نقلیه در نظر گرفته شده است. به عبارت 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.

$$\max \mu = w^T \mu = \sum_i w_i \mu_i \quad (18)$$

$$\min \sigma^T = w^T \sum w = \sum_i \sum_j w_i w_j \sigma_{ij} \quad (19)$$

$$\sum_i w_i = 1 \quad (20)$$

$$w_i \geq 0 \quad \forall i \quad (21)$$

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 مقدار کل بودجه‌ی راکه برای سرمایه‌گذاری در نظر گرفته شده است 1 واحد در نظر می‌گیرد و رابطه‌ی ۲۱ نوع متغیر تصمیم را نشان می‌دهد. نحوه‌ی محاسبه‌ی شاخص‌های میانگین و ریسک به تفصیل در ادامه توضیح داده می‌شود. همان‌طور که در مقدمه توضیح داده شد، در این مطالعه یک افق برنامه‌ریزی در نظر گرفته 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 چندین بار و به تعداد دوره‌هایی که با هم دیگر 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. بر اساس 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 با میانگین‌گیری بر روی ستون ماتریس اخیر به دست می‌آید و برای محاسبه‌ی انحراف معیار مقدار بازده حاصل از هر وسیله‌ی نقلیه از مقدار کوواریانس بین سهم i و رابطه‌ی ۱۹ استفاده شده است. با استفاده از ابزار مالی نرم‌افزار متلب، مقدار کوواریانس بین سهم i ، j محاسبه می‌شود و در نهایت میانگین بازده هر سهم (وسیله‌ی نقلیه) و ماتریس مربعی کوواریانس بین سهم i ، j به عنوان پارامترهای ورودی مرحله‌ی دوم مدل‌سازی تعریف می‌شوند. بر اساس مقادیر درج شده در ماتریس کوواریانس می‌توان دریافت که سهم i ، j نسبت به هم دیگر 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 نقلیه‌ی که باید خریداری، نگهداری یا واگذاری شوند، تصمیم‌گیری می‌شود.

۳.۳. تصمیم به موقع خریدوفروش تسهیلات

در مرحله‌ی اول الگوی سوددهی برای هر ماشین به دست آمد، در مرحله‌ی دوم،

همچنین تغییرات دو تابع هدف این مدل به صورت مجموعه‌ی پارتویی و با استفاده از روش محدودیت اسیلون 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 دوهدفی پیشنهاد شده به یک مدل تک‌هدف تبدیل می‌شود.

$$\max f(\mu) = \sum_{k=1}^2 \mu_k = \mu_1 + \mu_2 \quad (35)$$

Constraint set from (22) to (28) (36)

$$\mu_1 \leq \frac{Z_1 - 8,985,443 \times 10^8}{1,525,74 \times 10^{10} - 8,985,443 \times 10^8} \quad (37)$$

$$\mu_2 \leq \frac{271 - Z_2}{271 - 0} \quad (38)$$

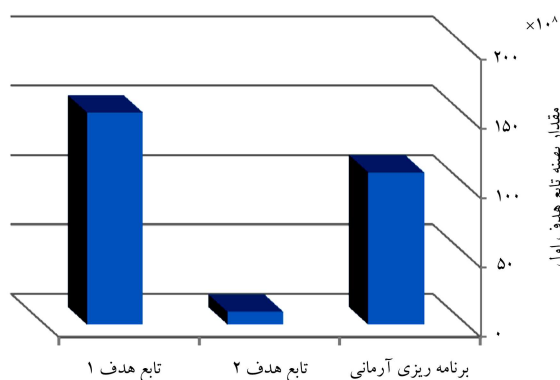
Constraint set from (29) to (34) (39)

$$\mu_1, \mu_2 \leq 1 \quad (40)$$

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 می‌کنند. در رابطه‌ی ۳۹ تمام محدودیت‌های مدل اصلی در مرحله‌ی سوم قرار می‌گیرد. رابطه‌ی ۴۰ نوع متغیرهای تصمیم را تعریف می‌کند. تحلیل مقایسه‌ی بین مقادیر به دست آمده از حل جداگانه‌ی توابع هدف و حل مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی در شکل ۱ و ۲ آورده شده است. همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است، جواب‌های به دست آمده از مدل تک‌هدف که با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی به دست آمده است، به‌طور هم‌زمان تمام توابع هدف را در نظر می‌گیرد و از این رو نتایج به دست آمده به مقادیر بهینه‌ی حاصل از حل جداگانه‌ی توابع هدف بسیار نزدیک است. علاوه بر آن جواب‌های حاصل از اجرای مدل تک‌هدفی معادل شده در محیط نرم‌افزار Gams ۲۳/۵، در جدول ۴ آورده شده است.

۲.۴. حل مثال عددی با روش محدودیت اسیلون

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



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

$$QD = \sum_k \sum_j \sum_t DE_k^j \times q_{k,j}^t \quad (27)$$

$$\min obj2 = \sum_k |port_k - active_k| \quad (28)$$

$$r_{k,j}^t = q_{k,j+1}^{t+1} \times (1 - q_{k,j}^t) \quad \forall k, j, t \quad (29)$$

$$n_{k,j}^t = q_{k,j}^t \times (1 - q_{k,j+1}^{t+1}) \quad \forall k, j, t \quad (30)$$

$$\sum_k \sum_j q_{k,j}^t \leq cap_t \quad \forall t \quad (31)$$

$$\sum_j \sum_t q_{k,j}^t = active_k \quad \forall k \quad (32)$$

$$q_{k,j}^t, n_{k,j}^t, r_{k,j}^t \in \{0, 1\} \quad (33)$$

$$active_k \geq 0 \quad (34)$$

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 نظر گرفتن 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 کمیته می‌شود. در رابطه‌ی ۲۹، در صورتی که یک ماشین در دوره‌ی $t + 1$ 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، در صورتی که یک ماشین در t حضور داشته باشد اما در دوره‌ی $t + 1$ 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 چندمرحله‌ی بودن حل مسئله، در جدول ۲ مراحل حل مسئله در قالب شبه‌کد 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 دوه‌دو 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 نظر گرفته شده که مقادیر عرضه و تقاضا با استفاده از توزیع $U(70, 10)$ 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 تک‌هدف تبدیل کرد و سپس با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی حل کرد.

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

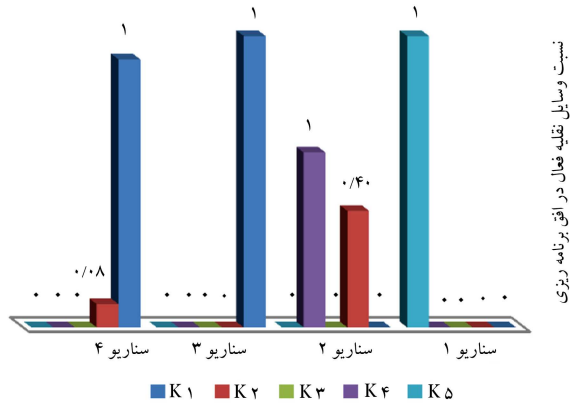
تنظیم دوره‌های برنامه‌ریزی و افق برنامه‌ریزی برای مسئله		
ورودی و زمان	ورودی: مقادیر تخمینی $D_{j,o,t}$ و $S_{i,o,t}$	حل مسئله
	زمان حل مسئله: ابتدای هر دوره و به ازای تمام دوره‌ها	
مرحله‌ی اول	هدف	حل جداگانه‌ی مدل ریاضی ۱ به ازای هر دوره‌ی برنامه‌ریزی با هدف: شناسایی الگوی بهینه‌ی حمل کالاها و محاسبه‌ی درآمد متناظر با این الگو به ازای هر وسیله‌ی نقلیه در هر دوره‌ی برنامه‌ریزی
	خروجی	ماتریس $profit_{k,j}^t$ 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	ورودی: ماتریس نرمال شده $profit_{k,j}^t$ و مقادیر μ_i و ماتریس کوواریانس \sum که بر اساس ماتریس نرمال شده $profit_{k,j}^t$ محاسبه شده‌اند.	حل مسئله
	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 اختصاص یافته به هر وسیله‌ی نقلیه یا $port_k$ که به عنوان یکی از پارامترهای ورودی در مرحله‌ی سوم در نظر گرفته می‌شود.
ورودی و زمان	ورودی: ماتریس نرمال شده $profit_{k,j}^t$ و $port_k$	حل مسئله
	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 $(n_{k,j}^t)$ و خرید $(n_{k,j}^t)$ هر وسیله‌ی نقلیه در انتهای دوره‌ی برنامه‌ریزی

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

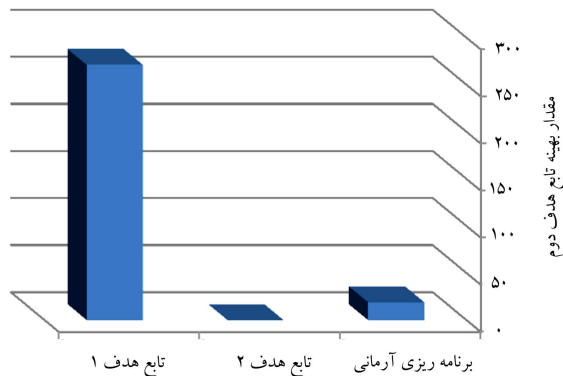
تابع هدف ۲	تابع هدف ۱	
۸,۹۸۵۴۴۳	۱۵۲,۵۷۴	تابع هدف ۱. مجموع سود حاصل از وسایل نقلیه $(\times 10^8)$
۰	۲۷۱	تابع هدف ۲. مجموع انحراف از مقدار متغیر تصمیم در مسئله‌ی سبد سهام
$(0, 0, 0, 0, 72, 0, 28)$	$(0, 4, 0, 38, 0, 16, 0, 0, 1, 0, 0, 5)$	درصد وسایل نقلیه فعال شده در سری زمانی $(k_1, k_2, k_3, k_4, k_5)$
$(0, 0, 0, 16, 6)$	$(18, 23, 13, 0, 10)$	تعداد دفعات خرید هر یک از وسایل نقلیه در سری زمانی

جدول ۴. نتایج حاصل از بهینه‌سازی برنامه‌ریزی آرمانی فازی.

تابع هدف ۱. مجموع سود حاصل از وسایل نقلیه ($\times 10^1$)	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_1, k_2, k_3, k_4, k_5)	درجه‌ی رضایت (μ_1, μ_2)
۱/۱۰	۱۹	(۱۰, ۶, ۰, ۱۵, ۱۰)	(۰/۷, ۰/۹۳)



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



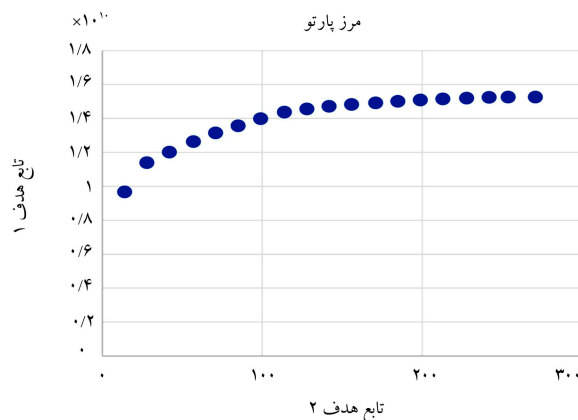
شکل ۲. تحلیل مقایسه‌ی بین مقدار بهینه تابع هدف دوم به ازای حل جداگانه‌ی هر یک از توابع هدف و حل مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی.

۱.۵. تحلیل حساسیت ۱

هزینه‌های مربوط به حمل‌ونقل، شست‌وشو و ... در مدل ۱ در نظر گرفته شده است. فرض بر آن است که ۵ سناریو وجود دارد و ماشین k_5 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_2, \dots, k_5 رفته رفته زیاد می‌شود. این افزایش هزینه‌ها با ضرایب ۱، ۲، ۴، ۶ و ۸ برابر هزینه‌هایی که در سناریوهای قبلی به ترتیب برای ماشین‌های k_1 تا k_5 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 مرحله‌ی دوهفته‌ای برای هر یک از سناریوها مشاهده می‌شود که مدل توسعه‌یافته، ماشین k_5 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_2 به نسبت هزینه‌های ماشین k_1 بیشتر است. مسئله‌ی مورد نظر با استفاده از مدل یکپارچه‌ی چندمرحله‌ی دوهفته‌ای خرید و فروش 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 از ماشین‌های k_1



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

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

۵. تحلیل حساسیت

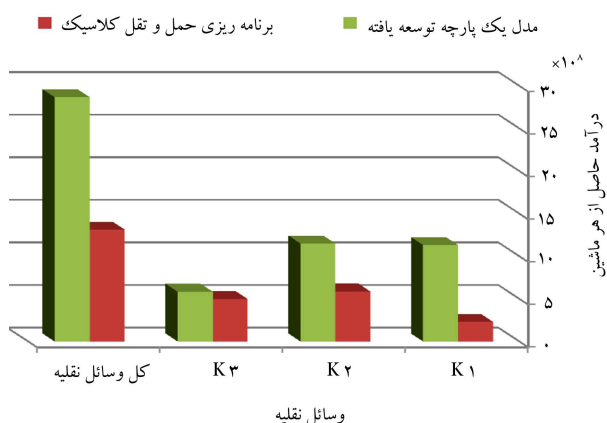
به منظور اعتبارسنجی، سه تحلیل حساسیت طرح‌ریزی شده است. در تحلیل اول، هزینه‌ها برای یک ماشین خاص در مدل اول بالا می‌رود و نشان داده می‌شود که پس از حل مدل چندمرحله‌ی دوهفته‌ای، همان ماشین زودتر از سایر ماشین‌ها به فروش می‌رسد. در تحلیل دوم، مدل پیشنهاد شده چندمرحله‌ی دوهفته‌ای با مدل حمل‌ونقل کلاسیک مقایسه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

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

مجموع سود حاصل از وسایل نقلیه در انتهای سری زمانی ۱۰ سال (×۱۰۷)	مجموع هزینه‌های در نظر گرفته نشده در تابع هدف مدل حمل‌ونقل (×۱۰۷)	هزینه‌ی استهلاک (×۱۰۷)	هزینه‌ی خواب سرمایه (×۱۰۷)	سود حاصل از فروش در انتهای دوره (×۱۰۷)	سود حقیقی هر یک از وسیله نقلیه (×۱۰۷)
k_1 ۵۱,۸۶۳,۶۹۷,۸	۲۸,۷۵۴,۹۶	۰,۱۰۶۹۷۳	۰,۴۰۱۰۳	۰,۱۴۹۸۹	۲۲,۹۷۶۶
k_2 ۸۹,۲۰۳,۵۲۳,۸۲	۳۰,۳۸۸۳	۰,۴۴۲۰۹۱	۰,۱۶۶۵۰۹	۰,۰۶۲۲۳۴	۵۸,۶۱۸۳۳
k_3 ۸۲,۵۸۴,۵۰۶,۸۲	۳۰,۷۸۰,۸۹	۱,۷۲۱,۵۵۴	۰,۶۴۵۳۹۳	۰,۲۴۱۲۲	۴۹,۶۷۷۸۹

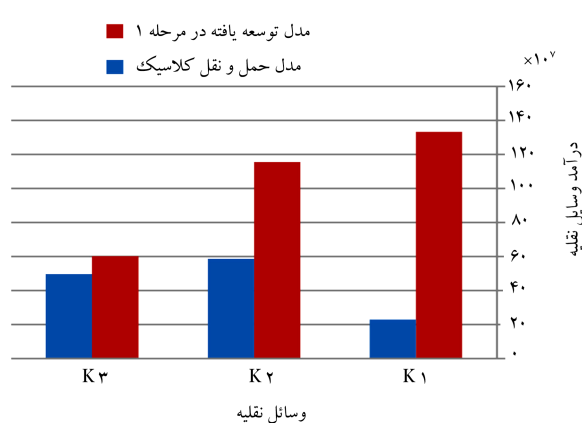
جدول ۶. هزینه‌ها و سود کلی حاصل از هر یک وسایل نقلیه با استفاده از مدل حمل‌ونقل توسعه‌یافته.

مجموع سود در انتهای سری زمانی (×۱۰۷)	هزینه‌ی استهلاک (×۱۰۷)	هزینه‌ی خواب سرمایه (×۱۰۷)	هزینه‌ی خرید هر یک از وسایل نقلیه (×۱۰۷)	سود حاصل از فروش در انتهای دوره (×۱۰۷)	سود حقیقی (×۱۰۷)
k_1 ۱۳۳,۳۴۴۳	۰,۰۲۹۲۵۲	۰,۰۵۲۵۳۸	۰,۲۴۳۳۹۸	۰,۲۰۸۹۹۲	۱۱۳,۲۲۸۱
k_2 ۱۱۵,۴۷۶۴	۰,۱۴۹۷۲۵	۰,۲۳۶۳۸۵	۰,۷۲۶۷۳۷	۰,۶۲۵۶۲۷	۱۱۴,۹۸۷۴
k_3 ۶۰,۱۲۰۶۸	۰,۴۶۰۷۶۶	۰,۷۵۵۰۳۵	۳,۳۳۱,۵۷۷	۲,۹۰۲۹۶۵	۵۸,۴۷۶۲۷



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

ورودی مسئله‌ی سید سهام در نظر گرفته می‌شود. در مرحله‌ی سوم، مدل دوده‌فای پیشنهاد شده با در نظر گرفتن هزینه‌هایی چون هزینه‌ی خواب سرمایه، استهلاک و قیمت خرید و فروش ماشین‌هایی که دارای سن‌های مختلفی هستند و آگاهی از ترکیب بهینه‌ی حاصل از حل مدل در مرحله‌ی دوم، به برنامه‌ریزی خرید و فروش می‌پردازد. در نهایت مقادیر هزینه‌ها با استفاده از مدل دوده‌فای 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 هر یک وسایل نقلیه به‌ازای حل مدل حمل‌ونقل کلاسیک و مدل حمل‌ونقل توسعه‌یافته به ترتیب در جداول ۵ و ۶ آورده شده است. تحلیل مقایسه‌ی 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



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

و k_2 و k_3 به‌ازای اجرا و حل هر یک از مدل‌های مدل یکپارچه‌ی چندمرحله‌ی دوده‌فای و حمل‌ونقل کلاسیک در شکل ۵ قابل مقایسه است. همان‌طور که در شکل ۵ مشخص است سود به دست آمده برای ماشین‌های k_1 و k_2 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_2 به نسبت هزینه‌های ماشین k_1 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

جدول ۷. نتایج حاصل از اجرای مدل خریدوفروش وسایل نقلیه‌ی تک هدفه.

درصد بودجه اختصاص یافته به هر نوع وسیله‌ی نقلیه (k_1, k_2, k_3)	میانگین بازده سرمایه	واریانس حاصل از انتخاب وسایل نقلیه	تابع هدف ۱ ($\times 10^9$)
($0/1, 0, 0/9$)	$0/18392356$	$1/1^0$	$1/745327$

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

درصد بودجه اختصاص یافته به هر نوع وسیله‌ی نقلیه (k_1, k_2, k_3)	میانگین بازده سرمایه	واریانس حاصل از انتخاب وسایل نقلیه	تابع هدف ۱ ($\times 10^9$)	تابع هدف ۲ (μ_1, μ_2)	درجه‌ی رضایت (μ_1, μ_2)
($0/433, 0, 0/567$)	$0/11900936$	$0/71$	$1/460264$	۳۴	($0/75, 0/37$)

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 هر یک از وسایل نقلیه با در نظر گرفتن 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 دوره برنامه‌ریزی توسعه یافته است. مدل دوهدفه‌ی ارائه شده در مرحله‌ی سوم با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی حل شده است و مقادیر عضویت برای هر یک از توابع هدف محاسبه شده است. به منظور ارزیابی رفتار مدل و مشاهده‌ی کارایی هر یک از مراحل در نظر گرفته شده مدل توسعه یافته با مدل برنامه‌ریزی حمل‌ونقل کلاسیک مقایسه شده است و نتایج نشان می‌دهد که استفاده از مدل برنامه‌ریزی حمل‌ونقل توسعه یافته به لحاظ هزینه به نفع سازمان خواهد بود. از طرف دیگر با حذف مدل پرتلفیو 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 نظر گرفته شود. از آنجایی که فرایند مدل‌سازی صورت گرفته در این مطالعه بر اساس تحقیقات میدانی در یکی از شرکت‌های حمل‌ونقل صورت گرفته است و با توجه به بالاترین 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.

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

۳.۵. تحلیل حساسیت

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

پس از اجرای مدل خریدوفروش وسایل نقلیه فقط با در نظر گرفتن تابع هدف اول و به دست آوردن سبد وسایل نقلیه‌ی به‌کارگرفته شده در افق برنامه‌ریزی، میزان واریانس یا به عبارت 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 هر یک مدل‌ها به دست آمده است، نشان داده شده است. همان‌طور که 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 $1/1^0$ است)، حال این که 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 $0/71$ است که نسبت به حالت قبل کاهش یافته است.

منابع (References)

- 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).
- Laporte, G., "The vehicle routing problem: an overview of exact and approximate algorithms", *European Journal of Operational Research.*, **59**(3), pp. 345-358 (1992).
- Mavrovouniotis, M. and Ynag, S. "Ant algorithms with immigrants schemes for the dynamic vehicle routing problem", *Information Sciences.*, **294**, pp. 456-477 (2015).
- Laporte, G. Gendreau, M. Potvin, J.Y. and et al. "Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem", *Journal of the Operational Research Society.*, **45**(12), pp. 1330-1349 (1994).

- 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).