



بهینه سازی مسیریابی وسیله نقلیه حاوی محصولات فاسد شدنی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

نویسنده: کاظم لو، زیبا

چکیده:

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه اخیراً توجه محققانی که به دنبال بهبود کارایی و کارایی سیستم حمل و نقل در توزیع کالاها هستند، جلب کرده است. بسیاری از محققان بر این باورند که استفاده از یک ناوگان ناهمگن در مسیریابی وسایل نقلیه برای کاهش هزینه‌های توزیع مؤثر است اما زمانی که باید موارد فاسدپذیر در نقاط تقاضای زیادی در بازه‌های زمانی خاص توزیع شوند، وضعیت دشوارتر می‌شود. این مقاله به بحث درباره این نوع از مسئله مسیریابی و محدودیت در قبول محصولات با حداقل سطح کیفیت مشخص، می‌پردازد و هدف آن ایجاد و بهینه‌سازی یک مدل ریاضی است که مسئله کیفیت کالای فاسدپذیر را در فرآیند توزیع دربر می‌گیرد، بطوریکه با کاهش کیفیت محصول ارزش محصول داده شده کاهش می‌یابد. این مسئله بصورت یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط عدد صحیح (MINLP) نمایش داده می‌شود. یک الگوریتم ژنتیک مبتنی بر هیوریستیک نیز به دلیل پیچیدگی محاسباتی مورد نیاز برای حل مدل پیشنهاد می‌شود. رویکرد پیشنهادی برای حل موارد عددی استفاده می‌شود و تحلیل حساسیت انجام می‌شود.

واژگان کلیدی:

مسیریابی خودرو، بهینه سازی، الگوریتم ژنتیک، محصولات فاسد شدنی، پنجره زمانی، کیفیت

۱. مقدمه:

یک زنجیره تأمین شامل نهادهایی مانند تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان، خرده‌فروشان و خریدارانی است که در تأمین، تولید، توزیع و فروش محصولات یا خدمات با هدف بهبود خدمت رسانی به مشتریان، دخیل هستند. مدیریت زنجیره تأمین (SCM) یکپارچه‌سازی بهینه تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و فروشگاه‌ها برای دستیابی به اهداف زنجیره تأمین است. مدیریت حمل و نقل، کارایی کل زنجیره تأمین را افزایش می‌دهد بنابراین یک جزء اساسی از هر زنجیره تأمین است و شامل تأمین منابع، نگهداری و حمل و نقل محصولات به مقصد نهایی است. در سال‌های اخیر، صنعت حمل و نقل به طور قابل توجهی رشد کرده و انتظار می‌رود که با رشد سریع‌تری ادامه یابد. حمل و نقل نقش بحرانی در توزیع محصولات فاسد از جمله سبزیجات، میوه‌ها، محصولات لبنی، نانویی، داروها و واکسن‌ها و غیره دارد. مسئله‌ی توزیع محصولات فاسد نه تنها به دلیل عمر محدودی که دارند، بلکه به دلیل اینکه حتی در زمان حمل و نقل، کیفیت خود را از دست می‌دهند، پیچیده است. همچنین، مصرف‌کنندگان امروزی نسبت به کیفیت محصولاتی که عمر مفید کوتاه دارند، بیشتر از هر زمان دیگری نگران هستند. اگر سطح حداقل مورد نیاز کیفیت محصولات فاسد حفظ نشود، آنگاه خریداران این محصولات را خریداری نخواهند کرد. در نهایت، اینگونه محصولات باید با قیمت‌های تخفیفی فروخته شوند و در برخی موارد ممکن است هیچ خریداری نداشته باشند. بنابراین برای جلوگیری از این موارد، خرده‌فروشان هنگام پذیرش و تحویل محصولات فاسد، بیشتر احتیاط می‌کنند و توزیع محصولات فاسد متمایز از دیگر محصولات است و تمرکز آن نه تنها بر روی حداقل کردن هزینه توزیع است بلکه بر روی کیفیت محصول نیز می‌باشد بدین منظور اخیراً تمرکز اصلی بر روی بخش حمل و نقل از مدیریت لجستیک صورت می‌گیرد زیرا این بخش، بخش اصلی هزینه را تشکیل می‌دهد. بنابراین برنامه‌ریزی و مسیریابی وسایل نقلیه امروزه توجه فراوانی از سوی پژوهشگران جلب می‌کند. در یک شبکه لجستیک، مسئله مسیریابی وسایل نقلیه (VRP) به حل کارآمد مسئله توزیع یک محصول یا کالا می‌پردازد. VRP مسیره‌ای با کمترین هزینه ممکن برای وسایل نقلیه برای توزیع محصول یا کالا به یک گروه از مشتریان ایجاد می‌کند. در VRP، گره‌های شروع و پایان برای تمامی مسیره‌ها یکسان است. VRP یک مسئله بهینه‌سازی ترکیبی پیچیده است که در آن مسیره‌های بهینه برای وسایل نقلیه مختلف برای توزیع محصول از انبار به یک مجموعه محدود از مشتریان طراحی می‌شود. به دلیل پیچیدگی خود، VRP به عنوان یک مسئله NP-hard شناخته می‌شود که به طور کلی حل آن دشوار است. پژوهشگران از روش‌ها و استراتژی‌های دقیق برای حل بهینه‌ی مسائل پیچیده VRP استفاده کرده‌اند و معمولاً برای حل مسائل با ورش‌های دقیق ریاضی زمان زیادی به کار می‌رود. در چنین شرایطی، الگوریتم‌های فراابتکاری نقش به‌سزایی ایفا می‌کنند زیرا می‌توانند یک راه‌حل با کیفیت با مدت زمان حل کوتاه‌تری ارائه دهند. این مطالعه بر مدل‌سازی مسئله توزیع محصول فاسدپذیر که با گذر زمان خراب می‌شود و در آن خرده‌فروشان به کیفیت محصول توجه دارند، تمرکز می‌کند. یک رویکرد حل مبتنی بر متاهیوریستیک برای حل مسئله به همراه راه‌حل‌های دقیق پیشنهاد شده است. این مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است: مرور ادبیات در بخش دوم ارائه شده است. بخش سوم مسئله را شرح می‌دهد و مدل ریاضی مرتبط را ارائه می‌دهد. بخش چهارم جزئیات الگوریتم ژنتیک مبتنی بر هیوریستیک پیشنهادی برای حل مسئله مسیریابی خودروهای متنوع با پنجره زمانی را شامل می‌شود. بخش پنجم استفاده از مدل پیشنهادی را با کمک مثال‌های عددی نشان می‌دهد. نتایج تحلیل حساسیت نیز در بخش پنجم ارائه شده است. بخش ششم به ارائه نتیجه‌گیری و دامنه تحقیقات آینده اختصاص دارد.

۲. مرور ادبیات

مسئله فروشنده دوره گرد (TSP) یک مسئله کلاسیک مسیریابی است که در آن یک فروشنده باید از هر یک از شهرها شروع کرده و با هدف کمینه کردن طول کل سفر یا هزینه کل سفر به همان شهر برگردد. ظرفیت خودرو باید حداقل برابر با تقاضای تجمعی تمامی گره‌های پوشش داده شده در یک سفر باشد. مسئله کلاسیک مسیریابی خودرو (VRP) به دنبال یافتن مجموعه‌ای از مسیرها با کمترین هزینه است که از انبار شروع شده و به انبار پایان می‌یابد تا تقاضای شناخته شده تمام مشتریان برآورده شود. در گذشته، بسیاری از پژوهشگران به مطالعه مسئله VRP پرداخته‌اند. هدف اصلی از VRP کمینه کردن مسافت کلی است که توسط تمام خودروها طی می‌شود، که بخش قابل توجهی از هزینه‌های تحویل را تشکیل می‌دهد. انبار و مشتریان به طور کلی به عنوان گره‌ها نماینده شده و پیچیدگی مسئله VRP با افزایش تعداد گره‌ها افزایش می‌یابد. Goel و Gruhn یک مدل عمومی VRP (GVRP) را پیشنهاد دادند، مسئله آن‌ها شامل محدودیت‌های پنجره زمانی، یک ناوگان ناهمگن از خودروها با زمان‌های سفر، هزینه‌های سفر و ظرفیت مختلف، سفارشات با خدمات چندگانه، مکان‌های بارگیری و تخلیه، مکان‌های شروع و پایان مختلف برای هر خودرو، محدودیت‌های مسیر برای خودروهای مختلف و محدودیت بر ساعات کاری رانندگان بود. آن‌ها یک رویکرد بهبود مکرر پیشنهاد کردند که بر اساس تغییر ساختار همسایگی در طول جستجوی راه حل است. نتایج آزمایش‌های محاسباتی که شامل چند خودرو و درخواست‌های حمل و نقل بود، به معنای کارایی روش آن‌ها بود. Sadouni الگوریتم هیوریستیک مبتنی بر جستجوی Tabu را برای حل HVRP با پنجره‌های زمانی و تاخیرهای غیرخطی پیشنهاد داد. تابع هدف شامل مجموع وزن دار هزینه خودروهای استفاده شده، هزینه کل مسافت طی شده و هزینه تاخیرهای غیرخطی بود. مندز و همکاران (۲۰۰۸) یک مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط با اعداد صحیح (MILP) برای حل HVRP با محدودیت‌های پنجره زمانی و بازدیدهای چندگانه از گره‌های برداشت و تحویل فرموله کردند. آن‌ها از یک بسته نرم‌افزار تجاری مبتنی بر الگوریتم Branch and Cut برای یافتن مسیرهای وسیله نقلیه بهینه استفاده کردند. پنا و همکاران یک متاهوریستیک جستجوی محلی تکراری (ILS) با استفاده از یک روش نزول محلی متغیر برای یافتن یک راه حل بهینه برای HVRP پیشنهاد دادند. آن‌ها هیوریستیک‌های توسعه یافته خود را بر پنج نوع مختلف از HVRP با تعداد متغیری از مشتریان و اندازه‌های محدود و نامحدود از ناوگان آزمایش کردند. مونگواتانا و همکاران یک مطالعه موردی عملی از یک شرکت لجستیک شخص ثالث در تایلند را مورد بررسی قرار دادند و یک HVRP با پنجره‌های زمانی، تحویل‌های چندمحصولی و محدودیت دسترسی خودروها و رانندگان مدل‌سازی کردند. آن‌ها از الگوریتم ژنتیک و رویکرد Branch and Bound برای یافتن راه‌حل بهینه استفاده کردند. چنگ و همکاران یک مسئله مسیریابی موجودی سبز (IRP) با یک ناوگان متنوع معرفی کردند. یک مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط عدد صحیح (MILP) توسعه یافته برای کمینه کردن هزینه کل، شامل مصرف سوخت و هزینه انتشار بر اساس بار، انجام آزمون‌های عددی برای اندازه‌گیری مزایای این مطالعه جامع انجام شد.

توزیع موارد فاسدپذیر تحت یک ناوگان متنوع از وسایل نقلیه

یک ناوگان متنوع از وسایل نقلیه منجر به یک نسخه دیگر از VRP می‌شود. اغلب توزیع‌کننده یا اپراتور ناوگان شخص ثالث یک ناوگان با وسایل نقلیه با ظرفیت‌های مختلف دارد. کیانگ و جیوپینگ یک مسئله مسیریابی وسایل حمل و نقل محصولات کشاورزی تازه را با یک ناوگان متنوع از وسایل نقلیه (HVRPTW) صورت دادند تا هزینه کل را کمینه کنند و سطح خدمات مشتری را از نظر زمان تحویل قابل قبول بیشینه کنند. آن‌ها یک مدل برنامه‌ریزی چند هدفه تصادفی فازی وابسته (DCP) را برای مدیریت تقاضا پیشنهاد دادند. برای حل آن، یک الگوریتم هوش مصنوعی ترکیبی (ادغام شبیه‌سازی تصادفی فازی و الگوریتم ژنتیک) طراحی کردند. اموریوم و همکاران بر روی یک مسئله مسیریابی وسایل نقلیه متنوع با چند پنجره زمانی به عنوان یک مطالعه موردی برای یک شرکت توزیع غذای پرتغالی تمرکز کردند. آن‌ها از یک چارچوب جستجوی محیطی گسترده تطبیقی برای یافتن راه حل بهینه

استفاده کردند. ربانی و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط عدد صحیح را برای بیشینه کردن سود توزیع‌کننده و تازگی محصولات تحویلی پیشنهاد دادند. آن‌ها مدل پیشنهادی خود را با روش TH حل کردند. رویکردهای مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تبرید نیز برای مسائل بزرگ مقیاس پیشنهاد شدند.

۳. مسئله و فرمول بندی:

این مقاله مسئله توزیع یک محصول فاسد از یک انبار به چندین فروشگاه را مورد بررسی قرار می‌دهد. توزیع باید با استفاده از یک مجموعه متنوع از وسایل نقلیه با زمان‌های سفر، هزینه‌های سفر و ظرفیت‌های ذخیره‌سازی مختلف انجام شود. هزینه استخدام وسایل نقلیه نیز در نظر گرفته شده است. هزینه استخدام رانندگان یکسان است و مستقل از نوع وسیله نقلیه‌ای است که آن‌ها کار می‌کنند. فروشگاه‌های خرده‌فروشی تقاضای متفاوتی برای محصول دارند که می‌توانند با استفاده از برخی از انواع وسایل نقلیه تأمین شوند. فروشگاه‌ها محصول را فقط در صورتی قبول می‌کنند که به یک سطح قابل قبولی از کیفیت برسد. کیفیت محصول با گذر زمان کاهش پیدا می‌کند، اما باید تا زمان مشخصی توسط خرده‌فروش به فروشگاه برسد. بعد از این زمان، توزیع‌کننده باید بر اساس تأخیری که تا آخرین زمان مشخص شده داشته‌اند و تعداد واحدهای سفارش داده شده، جریمه پرداخت کند. هیچ محدودیتی برای تأمین زودتر محصولات به هر فروشگاه وجود ندارد. مسیری که وسیله نقلیه طی خواهد کرد، توالی بازدید از فروشگاه‌های خرده‌فروشی است. این توالی‌های تعیین شده، برای تصمیم‌گیری‌های مسیریابی مورد استفاده قرار می‌گیرند. وسایل نقلیه تنها از انبار شروع و پایان سفر خود را دارند و هیچ‌گاه نمی‌توانند محموله‌ها را با تعداد بیشتر از ظرفیت خود در هر زمان حمل کنند. هزینه فرصت به دلیل افت کیفیت محصولات بر اساس بررسی Rong و همکاران است که تغییر در کیفیت غذا q در طول زمان t را توصیف کردند:

$$\frac{dq}{dt} = -kq^n \quad (1)$$

q = کیفیت محصول

k = نرخ تضعیف کیفیت

$n=0$: برای محصولات تازه مانند انواع غذا و سبزیجات

$$q = -kt + q_0$$

که q_0 کیفیت محصول در زمان $t=0$ هست.

عبارت مربوط به هزینه مرتبط با افت کیفیت به ازای هر واحد از محصول به شرح زیر خواهد بود:

$$c_q(q^\beta - 1) \quad (2)$$

که C_q مقدار یک واحد از محصول بدون تضعیف (فاسد شدن) را نشان می‌دهد و β یک عدد ثابت است ($\beta < 0$). بنابراین، هزینه فرصت کل به دلیل افت ارزش می‌تواند با ضرب کردن هزینه تضعیف واحد محصول با تعداد کل واحدهای محصول تأمین شده به آن فروشگاه خرده‌فروشی محاسبه شود. برای فرمول‌بندی ریاضی مسئله، نمادهای زیر استفاده شده است.

پارامترها:

β یک عدد ثابت

I : تعداد انواع مختلف وسایل نقلیه

k' : نرخ تباهی/تضعیف کیفیت محصول

N : تعداد کل گره‌ها

q' : حداقل سطح کیفیت قابل قبول

c_d : هزینه استخدام راننده

c_p : هزینه جریمه برای هر واحد محصول در هر واحد زمان برای دیرتر رسیدن از زمان مجاز

c_q : هزینه کاهش یافته برای هر واحد محصول به دلیل از دست دادن کیفیت

D_k : تقاضای محصول در گره k ($D_1 = 0$)

P_i : ظرفیت وسیله نقلیه نوع i

v_i : سرعت وسیله نقلیه نوع i

V_i : تعداد وسایل نقلیه استفاده شده از نوع i

C_{hi} : هزینه اجاره وسیله نقلیه نوع i

C_{it} : هزینه حمل و نقل در هر واحد زمان برای وسیله نقلیه نوع i

d_{jk} : مسافت بین گره‌های j و k

L_{ak} : زمان رسیدن محصول به گره k بدون هیچ گونه جریمه ($k=2, \dots, N$)

L_k : آخرین زمان برای دریافت محصول در گره k ($k=2, \dots, N$)

متغیرهای تصمیم‌گیری:

$$P_k: \begin{cases} 1 & \text{اگر محصول دیرتر از زمان مجاز به گره } k \text{ برسد} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

q_k : سطح کیفیت محصول زمانی که به گره k می‌رسد ($k=2, \dots, N$)

t_k : زمان ورود محصول به گره k ($k=2, \dots, N$)

W_{ik} : تعداد واحد محصول باقی‌مانده در وسیله نقلیه نوع i پس از خدمت به گره k ($k=2, \dots, N$)

$$X_{ijk}: \begin{cases} 1 & \text{اگر وسیله نقلیه } i \text{ از گره } j \text{ به گره } k \text{ سفر کند} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

با استفاده از نمادهای بالا مدل برنامه ریزی ریاضی مسئله صورت زیر است:

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \left[\left(\frac{d_{jk}}{v_i} \right) C_{it} X_{ijk} \right] + \sum_{i=1}^I [(C_{hi} + C_d) V_i] + \sum_{k=2}^N [C_q (q k^\beta - 1) D_k] + \sum_{k=2}^N [(t_k - L_{ak}) C_p p_k D_k] \quad (3)$$

و محدودیت‌های مسئله به شرح زیر است:

$$q_k \geq \left\{ q_j - \left(\frac{d_{jk}}{v_i} \right) \dot{k} \right\} X_{ijk} \quad \forall i, \forall j, k = 2, 3, \dots, N \quad (4)$$

$$q_k \geq \dot{q} \quad k = 2, 3, \dots, N \quad (5)$$

$$q_1 = 1 \quad \forall i, \forall j, k = 2, 3, \dots, N \quad (6)$$

$$t_k \geq \left\{ t_j + \left(\frac{d_{jk}}{v_i} \right) \right\} X_{ijk} \quad \forall i, \forall j, k = 2, 3, \dots, N \quad (7)$$

$$t_k \leq L_k \quad k = 2, 3, \dots, N \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^N X_{ijk} = 1 \quad k = 2, 3, \dots, N \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^N X_{ijk} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^N X_{ikj} \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (10)$$

$$\sum_{k=2}^N X_{i1k} = V_i \quad \forall i \quad (11)$$

$$W_{i1} \leq p_i \quad \forall i \quad (12)$$

$$W_{ik} \geq [(W_{ij} - D_k) X_{ijk}] \quad \forall i, \forall j, k = 2, 3, \dots, N \quad (13)$$

$$(t_k - L_{ak})(p_k - 1) \geq 0 \quad k = 2, 3, \dots, N \quad (14)$$

$$W_{ik} \geq 0 \quad \forall i, k = 2, 3, \dots, N \quad (15)$$

$$X_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i, \forall j, k = 2, 3, \dots, N \quad (16)$$

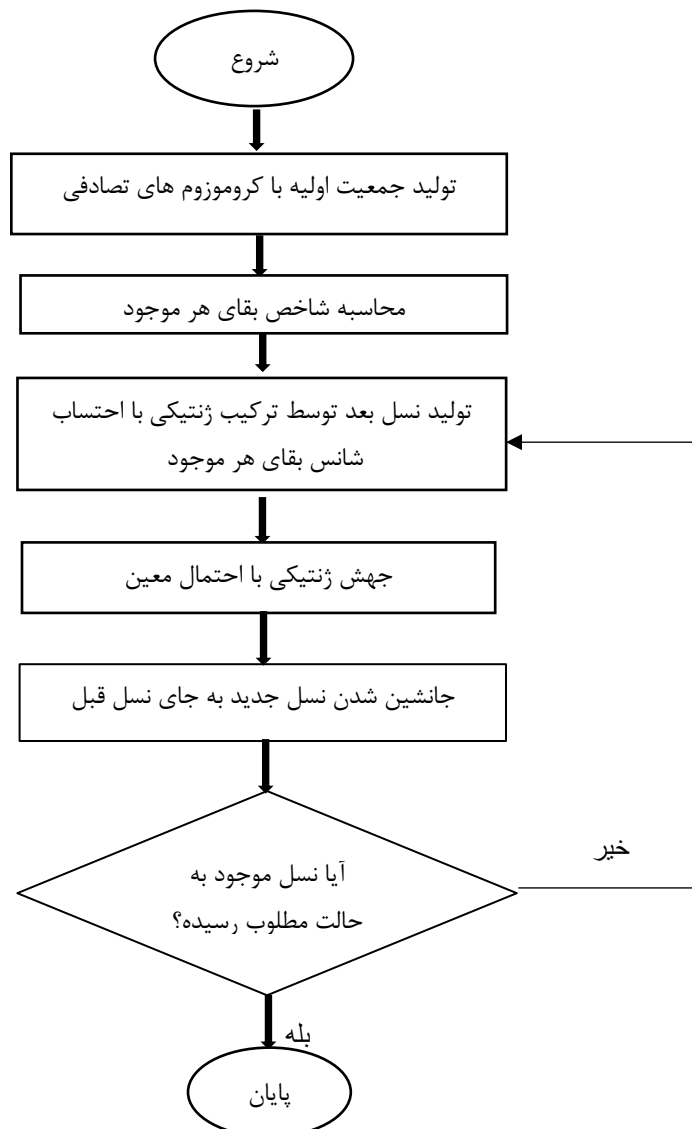
$$p_k \in \{0, 1\} \quad k = 2, 3, \dots, N \quad (17)$$

با استفاده از نمادهای فوق، فرمول‌بندی برنامه‌ریزی ریاضی مسئله به شرح زیر است: تابع هدف (۳) شامل چهار عبارت است. عبارت اول هزینه حمل و نقل را نشان می‌دهد، عبارت دوم هزینه کل اجاره‌ی وسایل نقلیه مختلف و استخدام رانندگان را نمایش می‌دهد. عبارت سوم هزینه فرصت از دست داده شده به دلیل کاهش کیفیت محصول ارسالی به فروشگاه خرده‌فروشی است. عبارت چهارم هزینه جریمه به دلیل دیررسی را نمایش می‌دهد. محدودیت (۴) کیفیت نهایی محصولی را که به یک فروشگاه خرده‌فروشی می‌رسد، مشخص می‌کند. محدودیت (۵) تضمین می‌کند که کیفیت نهایی محصولی که به یک فروشگاه خرده‌فروشی می‌رسد، بیشتر از حداقل سطح کیفیت مشخص شده باشد. محدودیت (۶) بیان می‌کند که بهترین سطح کیفیت محصول وقتی است که از انبار (یعنی از گره ۱) برای توزیع به فروشگاه‌های خرده‌فروشی مختلف ارسال می‌شود. محدودیت (۷) زمان رسیدن محصول به یک فروشگاه خرده‌فروشی را مشخص می‌کند، محدودیت (۸) تأکید به اینکه زمان ورود باید در محدوده‌ی آخرین زمان برای دریافت محصول باشد. محدودیت (۹) تأکید می‌کند که یک فروشگاه تنها توسط یک وسیله نقلیه از هر یک از انواع موجود بازدید شود. محدودیت (۱۰) حفظ جریان را نشان می‌دهد به این معنی که هر وسیله نقلیه‌ای که به یک گره می‌رسد، باید آن را ترک کند. محدودیت (۱۱) تعداد کلی از یک نوع وسیله نقلیه مورد استفاده را مشخص می‌کند. محدودیت (۱۲) تعداد کل واحدهای محصول در یک وسیله نقلیه را نشان می‌دهد، در حالی که محدودیت (۱۳) تعداد واحدهای محصول باقی‌مانده پس از خدمت‌رسانی به یک فروشگاه را تعیین می‌کند. محدودیت

(۱۴) برای تعیین اینکه آیا یک وسیله نقلیه به موقع به یک گره می‌رسد یا خیر استفاده می‌شود. این محدودیت در محاسبه هزینه جریمه در صورت تأخیر در تأمین محصول کمک خواهد کرد. محدودیت (۱۵) تأکید می‌کند که مجموع تعداد واحدهای محصول باقی‌مانده در هر وسیله نقلیه پس از خدمت رسانی به هر گره نمی‌تواند منفی باشد. محدودیت‌های (۱۶) و (۱۷) نشان می‌دهند که متغیرهای تصمیم‌گیری مرتبط تنها می‌توانند مقادیر دودویی داشته باشند.

۴. الگوریتم ژنتیک مبتنی بر هیوریستیک

الگوریتم ژنتیک یکی از متاهوریستیک‌های بهینه‌سازی محبوب است. این الگوریتم بر اساس تئوری انتخاب طبیعی و تکامل چارلز داروین استوار است. الگوریتم ژنتیک بر اساس اصل بقا چهارچوبی برای بهترین‌ها در طول چند نسل کار می‌کند. هر نسل دارای یک جمعیت کروموزوم‌ها است. این کروموزوم‌ها با فرایند تکامل انتخاب می‌شوند بطوریکه ژن‌های افراد خوب با هم ترکیب شده و فرزندان را تشکیل می‌دهند. این فرآیند در نسل‌های پایایی ادامه دارد و در نهایت بهترین کروموزوم یا یک راه‌حل بهینه برای مسئله به دست می‌آید. ساختار کلی الگوریتم ژنتیک در شکل ۱ نشان داده شده است. مراحل مختلف هوریستیک پیشنهادی در زیر توضیح داده شده‌اند.



شکل ۱. ساختار الگوریتم ژنتیک

کد گذاری راه حل:

ابتدا با تعاریف اولیه الگوریتم ژنتیک آشنا می شویم:

تولید جمعیت اولیه : با توجه به روش کد گذاری راه حل، تعدادی بهترین کروموزومها تولید می شود و همانها جمعیت اولیه را تشکیل می دهند.

ارزیابی برازندگی : قبل از انجام عملیات انتخاب، برازندگی هر کروموزوم فردی با استفاده از یک تابع برازندگی ارزیابی می شود. مقدار برازندگی برای هر کروموزوم، هزینه کل توزیع محصولات به گره های مختلف است.

انتخاب: مکانیزم انتخاب، چرخه ای برای انتخاب افراد برای عملیات های بعدی است. تعداد کل کروموزوم های انتخاب شده برابر با اندازه جمعیت است.

کراس اور: کراس اور یا تقاطع عملگری است که با ترکیب اطلاعات ژنتیک دو کروموزوم، فرزندان تولید می شود. تعداد افرادی که در عملیات تقاطع شرکت می کنند، از ضرب نرخ تقاطع در اندازه جمعیت به دست می آید. در اینجا از تقاطع نقطه تکی برای تولید فرزندان استفاده می شود. روند تقاطع با کمک شکل ۲ شرح داده شده است. شکل ۲ (الف) نشان می دهد که دو کروموزوم والد برای تقاطع استفاده خواهد شد. فرض کنید مکان تقاطع ۲ باشد. این مکان تلاقی برای هر سه ردیف قابل استفاده است. در صورتی که سه ردیف را به عنوان یک آرایه تکی در نظر بگیریم، مقادیر مکان تقاطع ۲ و $2+N$ و $2+N^2$ خواهند بود. پس از تقاطع دو کروموزوم نتیجه ای به شکل شکل ۲ (ب) خواهند داشت. از این شکل مشخص است که برخی از گره ها از بین رفته و برخی تکرار شده اند. به عنوان مثال، در فرزند ۱، گره های ۵ و ۳ تکرار شده اند، در حالی که گره های ۲ و ۷ از بین رفته اند. برای رفع این مشکل و با جایگذاری گره های حذف شده به جای گره های تکراری با استفاده از روش جهش، دو فرزند، به شکل ۲ (ج)، خواهند بود، بدین صورت راه حل غیر ممکن به راه حل ممکن تبدیل می شود.

جهش: عملگر جهش برای حفظ تنوع در جمعیت با تغییر مقدار ژن های انتخاب شده به صورت تصادفی استفاده می شود. در اینجا، عملیات جهش فقط بر روی ژن های دو ردیف اول انجام می شود. مکان های جهش توسط ضرب اندازه جمعیت با نرخ جهش و دو برابر مقدار $(N - 1)$ تعیین می شود. اگر ژن تصادفی انتخاب شده متعلق به ردیف ۱ باشد، آن مقدار با هر یک از گره های تصادفی جز گره ۱ جابجا می شود. اگر این ژن در ردیف ۲ باشد، مقدار ژن ها به هر یک از انواع وسایل نقلیه تغییر می کند. کروموزوم های ممکن پس از انجام عملیات جهش ممکن است به کروموزوم های ناممکن تبدیل شوند.

تشکیل جمعیت جدید : در این مرحله، مقادیر تناسب هر یک از فرزندان جدید بعد از عملیات ترکیب و جهش تعیین می شود. در جمعیت جدید، برای داشتن اندازه یکسان، کروموزوم های قدیمی جمعیت فعلی و فرزندان جدید بدست آمده نسبت به آن هایی که رد خواهند شد با مقدار فیتنس برتری، نگهداری می شوند.

شرط خاتمه: انتخاب، ترکیب، جهش و تشکیل جمعیت جدید برای تعداد مشخصی نسل ادامه می‌یابد. کروموزوم با بهترین مقدار در هر نسل به عنوان راه‌حل بهینه در نظر گرفته می‌شود.

ردیف ۱	۵	۳	۲	۶	۴	۷
ردیف ۲	۲	۲	۱	۱	۳	۱
ردیف ۳	۱	۱	۱	۱	۱	۲

والد ۱

ردیف ۱	۲	۷	۵	۴	۶	۳
ردیف ۲	۱	۱	۲	۳	۳	۲
ردیف ۳	۱	۱	۱	۱	۲	۲

والد ۲

قبل از تقاطع (a)

ردیف ۱	۵	۳	۵	۴	۶	۳
ردیف ۲	۲	۲	۲	۳	۳	۲
ردیف ۳	۱	۱	۱	۱	۲	۲

فرزند ۱

ردیف ۱	۲	۷	۲	۶	۴	۷
ردیف ۲	۱	۱	۱	۱	۳	۱
ردیف ۳	۱	۱	۱	۱	۱	۲

فرزند ۲

بعد از تقاطع (b)

ردیف ۱	۵	۳	۲	۴	۶	۷
ردیف ۲	۲	۲	۲	۳	۳	۲
ردیف ۳	۱	۱	۱	۱	۲	۲

فرزند ۱

ردیف ۱	۳	۷	۲	۶	۴	۵
ردیف ۲	۲	۲	۲	۳	۳	۲
ردیف ۳	۱	۱	۱	۱	۲	۲

فرزند ۲

جمعیت جدید (c)

شکل ۲. عملگر تقاطع

۵. نتایج و بحث

مدل پیشنهادی در بخش ۳ برای حل یک مثال شرح داده شده با استفاده از نرم‌افزار LINGO برای حل مسائل بهینه‌سازی استفاده شده است. تجزیه و تحلیل حساسیت نیز با تغییر مقادیر برخی پارامترهای مسئله مثال انجام شده است.

۵.۱ مثال توضیحی

مسئله مثال مربوط به یک انبار و ۱۵ فروشگاه است. داده‌های مربوط به فاصله بین دو گره (جدول ۳) و تقاضای مختلف فروشگاه‌ها (جدول ۲) از کار قیانگ و جیوپینگ گرفته شده است. یک ناوگان ناهمگن از ۳ نوع وسیله نقلیه که در اختیار توزیع‌کننده قرار دارد، در نظر گرفته شده است. ظرفیت انواع مختلف وسایل نقلیه، هزینه استخدام آن‌ها، سرعت و هزینه حمل و نقل در هر واحد زمان در جدول ۱ نشان داده شده است. جدول ۲ زمان‌های بازیابی برای فروشگاه‌های مختلف همراه با تقاضا را نشان می‌دهد. داده‌های اضافی به شرح زیر است: هزینه جریمه در هر واحد زمان برای هر واحد محصول $C_p = 40$ دلار، هزینه استخدام یک راننده $C_d = 400$ دلار، هزینه یک واحد محصول بدون هیچ گونه فاسد شدن $C_q = 500$ دلار، $\beta = -1$. نرخ تضعیف کیفیت محصول در هر ساعت $k = 2\%$ ، که به عنوان نرخ فاسد شدن محصول تعریف شده است که وابسته به عوامل محیطی مانند دما و غیره است و نرخ 2% به معنای کاهش کیفیت در یک ساعت است. حداقل سطح کیفیت قابل قبول $\dot{q} = 80\%$.

نوع وسیله نقلیه	ظرفیت	هزینه استخدام (دلار)	سرعت (km/h)	هزینه حمل و نقل (\$/h)
۱	۱۲	۱۲۰۰	۳۰	۳۰
۲	۸	۹۰۰	۴۰	۲۵
۳	۴	۶۰۰	۵۰	۲۰

جدول ۱. داده‌های انواع مختلف وسایل نقلیه

گره	تقاضا	زمان بازیابی (h)	آخرین زمان (h)
۱	۰	۰	۰
۲	۱.۱	۴	۸
۳	۱.۴	۴	۸
۴	۱.۸	۴	۸
۵	۲.۱	۴	۸
۶	۱.۲	۴	۸
۷	۱.۹	۴	۸
۸	۱.۹	۴	۸
۹	۱.۴	۴	۸
۱۰	۱.۶	۴	۸
۱۱	۱.۸	۴	۸
۱۲	۱.۶	۴	۸
۱۳	۲.۵	۴	۸



۸	۴	۲.۱	۱۴
۸	۴	۲.۲	۱۵
۸	۴	۲.۶	۱۶

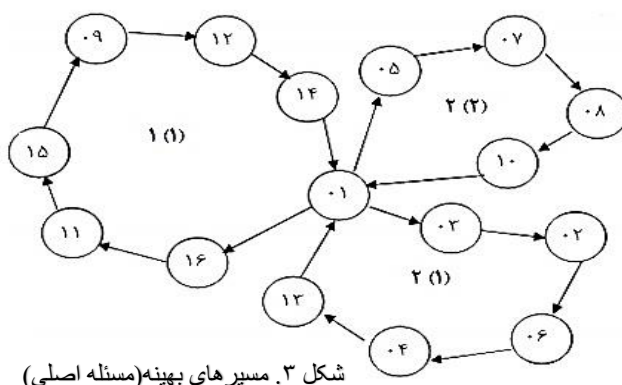
جدول ۲. داده‌های گروه‌های مختلف

گروه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
۱	۰	۳۹	۳۷.۵	۳۹.۵	۳۸.۵	۴۰	۸۰	۸۵.۵	۸۶.۵	۹۰.۵	۹۲.۵	۱۳۶.۵	۱۴۰	۱۳۷.۵	۵۳	۴۹.۵
۲	۳۹	۰	۷.۵	۱۳	۳۵.۵	۳۰.۵	۴۰	۴۸.۵	۷۶.۵	۵۷.۵	۶۰	۱۵۱.۵	۱۰۶.۵	۱۵۶.۵	۲۵.۵	۲۰.۵
۳	۳۷.۵	۷.۵	۰	۱۵	۱۳.۵	۳۸.۵	۵۵.۵	۸۹	۴۰.۵	۱۰۵.۵	۱۱۵.۵	۹۹.۵	۱۵۸	۱۱۱.۵	۲۰	۲۶.۵
۴	۳۹.۵	۱۳	۱۵	۰	۱۵.۵	۲۱.۵	۴۶.۵	۴۳.۵	۷۸.۵	۵۱.۵	۴۵.۵	۱۵۵.۵	۱۰۹.۵	۱۵۷	۲۱	۱۸.۵
۵	۳۸.۵	۳۵.۵	۱۳.۵	۱۵.۵	۰	۱۴.۵	۵۸.۵	۷۵.۵	۴۲	۸۴	۸۱.۵	۱۰۰.۵	۱۶۰.۵	۱۰۷.۵	۲۳.۵	۲۱.۵
۶	۴۰	۳۰.۵	۳۸.۵	۲۱.۵	۱۴.۵	۰	۴۵	۱۰۵.۵	۴۵	۸۸.۵	۷۹.۵	۱۰۱.۵	۱۵۹	۱۰۶.۵	۲۱.۵	۲۴
۷	۸۰	۴۰	۵۵.۵	۴۶.۵	۵۸.۵	۴۵	۰	۲۳.۵	۴۵.۵	۴۲.۵	۴۲.۵	۷۵.۵	۶۵.۵	۹۸.۵	۳۰.۵	۳۴.۵
۸	۸۵.۵	۴۸.۵	۸۹	۴۳.۵	۷۵.۵	۱۰۵.۵	۲۳.۵	۰	۲۵	۲۵	۳۸.۵	۷۸.۵	۶۲.۵	۱۰۰	۳۴	۳۳.۵
۹	۸۶.۵	۷۶.۵	۴۰.۵	۷۸.۵	۴۲	۴۵	۴۵.۵	۲۵	۰	۲۱.۴	۶۵.۵	۵۸.۵	۸۰.۵	۵۶.۵	۳۵.۵	۳۶
۱۰	۹۰.۵	۵۷.۵	۱۰۵.۵	۵۱.۵	۸۴	۸۸.۵	۴۲.۵	۲۵	۲۱.۴	۰	۲۲.۵	۷۵	۶۶.۵	۹۷.۵	۳۸	۳۲.۵
۱۱	۹۲.۵	۶۰	۱۱۵.۵	۴۵.۵	۸۱.۵	۷۹.۵	۴۲.۵	۳۸.۵	۶۵.۵	۲۲.۵	۰	۶۰.۵	۵۹.۵	۹۵	۳۴.۵	۳۱.۵
۱۲	۱۳۶.۵	۱۵۱.۵	۹۹.۵	۱۵۵.۵	۱۰۰.۵	۱۰۱.۵	۷۵.۵	۷۸.۵	۵۸.۵	۷۵	۶۰.۵	۰	۲۵.۵	۲۰.۵	۸۸.۵	۹۵.۵
۱۳	۱۴۰	۱۰۶.۵	۱۵۸	۱۰۹.۵	۱۶۰.۵	۱۵۹	۶۵.۵	۶۲.۵	۸۰.۵	۶۶.۵	۵۹.۵	۲۵.۵	۰	۲۵.۵	۹۰.۵	۹۳.۵
۱۴	۱۳۷.۵	۱۵۶.۵	۱۱۱.۵	۱۵۷	۱۰۷.۵	۱۰۶.۵	۹۸.۵	۱۰۰	۵۶.۵	۹۷.۵	۹۵	۲۲۰.۵	۲۵.۵	۰	۸۵	۹۶.۵
۱۵	۵۳	۲۵.۵	۲۰	۲۱	۲۳.۵	۲۱.۵	۳۰.۵	۳۴	۳۵.۵	۳۸	۳۴.۵	۸۸.۵	۹۰.۵	۸۵	۰	۹۷
۱۶	۴۹.۵	۲۰.۵	۲۶.۵	۱۸.۵	۲۱.۵	۲۴	۳۴.۵	۳۳.۵	۳۶	۳۲.۵	۳۱.۵	۹۵.۵	۹۳.۵	۹۶.۵	۹۷	۰

جدول ۳. فاصله‌ی بین دو گروه

مثال ذکر شده با داده‌های فوق با استفاده از مدل ریاضی حل شد. نتایج مسیرهای بدست آمده از انبار به سایر فروشگاه‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. از این شکل، موارد زیر قابل مشاهده است.

- سه وسیله نقلیه (یکی از نوع ۱، دو عدد از نوع ۲) استفاده شده است.
- وسیله نقلیه نوع ۱ از گره ۱ شروع می‌شود و محصول را قبل از بازگشت به گره ۱ به ترتیب به گره‌های ۱۶، ۱۱، ۱۵، ۹، ۱۲ و ۱۴ تحویل می‌دهد. این وسیله نقلیه از ۹۷.۵٪ ظرفیت خود را استفاده می‌کند.
- ابتدا، وسیله نقلیه نوع ۲ از گره ۱ به گره ۳ و سپس به گره‌های ۲، ۶، ۴ و ۱۳ به ترتیب می‌رود، و سپس به گره ۱ باز می‌گردد. ظرفیت آن به طور کامل استفاده شده است.
- وسیله نقلیه دوم از نوع ۲ از گره ۱ به گره ۵ حرکت می‌کند، و سپس به ترتیب به گره‌های ۷، ۸ و ۱۰ می‌رود قبل از بازگشت به گره ۱. این وسیله نقلیه از ۹۳.۷۵٪ ظرفیت خود را استفاده می‌کند.



شکل ۳. مسیرهای بهینه (مسئله اصلی)

جدول ۴ زمان ورود و کیفیت محصولاتی را که در فروشگاه‌های خرده‌فروشی وارد می‌شوند نشان می‌دهد. تمام گره‌ها قبل از آخرین زمان، بازدید می‌شوند. با این حال، گره‌های ۹، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ پس از گذشت زمان بدون جریمه خدمت داده می‌شوند. جدول ۵ مقادیر نتیجه‌ای برای عناصر هزینه‌ای مختلف را نشان می‌دهد.

گره	زمان ورود محصول	کیفیت محصول (%)
۲	۱.۱۲	۹۷.۷۶
۳	۰.۹۴	۹۸.۱۲
۴	۲.۴۲	۹۵.۱۶
۵	۰.۹۶	۹۸.۰۸
۶	۱.۸۹	۹۶.۲۲
۷	۲.۴۲	۹۵.۱۶
۸	۳.۰۱	۹۳.۹۸
۹	۵.۰۳	۸۹.۹۴
۱۰	۳.۶۴	۹۲.۷۲
۱۱	۲.۷۰	۹۴.۶۰
۱۲	۶.۹۸	۸۶.۰۴
۱۳	۵.۱۶	۸۹.۶۸
۱۴	۷.۶۷	۸۴.۶۶
۱۵	۳.۸۵	۹۲.۳۰
۱۶	۱.۶۵	۹۶.۷۰

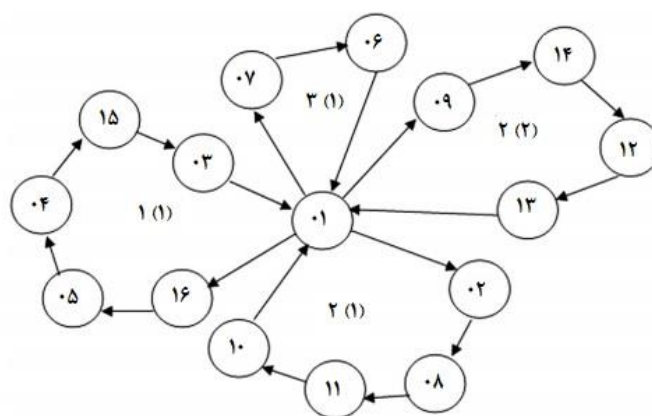
جدول ۴. زمان ورود و کیفیت محصولات

مقدار (\$)	عناصر هزینه
۳۰۰۰	هزینه اجاره وسیله نقلیه
۱۲۰۰	هزینه استخدام راننده
۷۳۱	هزینه حمل و نقل
۱۰۱۸	هزینه کاهش کیفیت
۶۷۲	هزینه جریمه
۶۶۲۱	هزینه کل

جدول ۵. نتایج مقدار هزینه

۲.۵. اعتبارسنجی مدل پیشنهادی

در این بخش، برخی از پارامترهای مسئله مانند حداقل سطح کیفیت قابل قبول، آخرین زمان و نرخ تضعیف کیفیت تغییر داده می‌شوند تا تأثیر آن‌ها را بررسی کرده و ببینیم آیا با درک عمومی همخوانی دارد یا خیر. راه‌حل مسیریابی باید تضعیف کیفیت نسبتاً کمتری داشته باشد تا نیاز به سطح کیفیت مطلوب را برآورده کند که ممکن است نیاز به تعداد بیشتری از وسایل نقلیه برای تأمین



سریع محصول به فروشگاه‌های خرده‌فروشی داشته باشد. این ویژگی از مدل با استفاده از مثالی که قبل تر ذکر شد توضیح داده شده است. کیفیت محصولی که به گره‌های ۹، ۱۲ و ۱۴ ارائه می‌شود کمتر از ۹۰٪ است. با افزایش حداقل سطح کیفیت قابل قبول از ۸۰٪ به ۹۰٪ و حل دوباره مسئله نمونه، یک راه‌حل مسیریابی که در شکل ۴ نشان داده شده است، به دست می‌آید. از این شکل مشخص است که گره‌های ۹، ۱۲ و ۱۴ اکنون با استفاده از وسیله نقلیه نوع ۲ به جای نوع ۱ خدمت داده می‌شوند. در همان زمان، یک وسیله نقلیه از نوع ۳ نیز همراه با یک وسیله نقلیه از نوع ۱ و دو وسیله نقلیه از نوع ۲ برای تطابق با محدودیت کیفیت استفاده می‌شود. جدول ۶ زمان و کیفیت محصولات وارد شده به فروشگاه‌های خرده‌فروشی مختلف را نشان می‌دهد، در حالی که جدول ۷ مقادیر بهینه برای عناصر هزینه‌ای مختلف را نشان می‌دهد. از این دو جدول، می‌توان مشاهدات زیر را انجام داد.

- هزینه استخدام وسایل نقلیه و رانندگان افزایش یافته است زیرا وسیله نقلیه نوع ۳ اکنون استخدام شده است.
- هزینه جریمه به دلیل کمتر شدن زمانی که وسایل نقلیه برای خدمت دادن به گره‌ها نیاز داشتند، کاهش یافته است.
- همچنین هزینه تضعیف کیفیت کاهش یافته است زیرا محصول با کیفیت بالاتر در زمان کمتری ارائه شده است.
- هزینه کل از ۶۶۲۱ دلار به ۶۷۳۴ دلار افزایش یافته است.

گره	زمان ورود محصول	کیفیت محصول (%)
۲	۰.۹۷	۹۸.۰۶
۳	۴.۲۵	۹۱.۵۰
۴	۲.۸۸	۹۴.۲۴
۵	۲.۳۷	۹۵.۲۶
۶	۲.۶۳	۹۴.۷۴
۷	۱.۷۳	۹۶.۸۰
۸	۲.۱۹	۹۵.۶۲
۹	۲.۱۶	۹۵.۶۸
۱۰	۳.۷۱	۹۲.۵۸
۱۱	۳.۱۵	۹۳.۷۰
۱۲	۴.۰۹	۹۱.۸۲
۱۳	۴.۷۲	۹۰.۵۶
۱۴	۳.۵۸	۹۲.۸۴
۱۵	۳.۵۸	۹۲.۸۴
۱۶	۱.۶۵	۹۶.۷۰

جدول ۶. زمان ورود و کیفیت محصولات

عناصر هزینه	مقدار (\$)
هزینه اجاره وسیله نقلیه	۳۶۰۰
هزینه استخدام راننده	۱۶۰۰
هزینه حمل و نقل	۵۸۸
هزینه کاهش کیفیت	۸۵۵
هزینه جریمه	۹۱
هزینه کل	۶۷۳۴

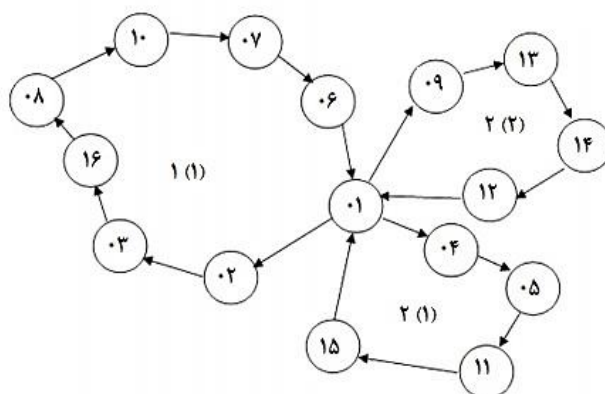
جدول ۷. نتایج مقدار هزینه

تأثیر کاهش نرخ تضعیف کیفیت

وقتی نرخ تضعیف کیفیت پایین است، نسبت به زمانی که نرخ تضعیف کیفیت بالا است محصولی که به یک گره می‌رسد، مشکل کم‌تری ایجاد می‌کند. زیرا احتمال اینکه محصول اول کیفیت بهتری داشته باشد زیاد است، حتی اگر هر دو نیاز به همان مقدار زمان برای رسیدن داشته باشند. به عبارت دیگر، تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز ممکن است کاهش یابد و هر وسیله نقلیه ممکن است از ظرفیت بیشتری استفاده کند. این ویژگی از مدل با کاهش نرخ تضعیف کیفیت از ۲٪ در ساعت به ۱٪ در ساعت با استفاده از همان مسئله نمونه توضیح داده شده است. برای این حالت، مسیر بهینه وسیله نقلیه به دست آمده در شکل ۵ نشان داده شده است. اگرچه وسایل نقلیه استفاده شده همان است، اما فروشگاه‌هایی که توسط آن‌ها پوشش داده شده‌اند متفاوت است. قابل فهم است که هزینه تضعیف کیفیت به شدت کاهش یافته است. جدول ۸ زمان ورود و کیفیت محصولات وارد شده به فروشگاه‌های خرده‌فروشی را نشان می‌دهد، در حالی که جدول ۹ مقادیر بهینه برای عناصر هزینه‌ای مختلف را نشان می‌دهد. از این دو جدول، می‌توان مشاهدات زیر را انجام داد.

- هزینه استخدام خودروها و رانندگان مثل حالت اول و ثابت است.

- هزینه تضعیف کیفیت کاهش یافته است، که نشان می‌دهد محصولی که به فروشگاه‌های خوراک تحویل داده شده است از کیفیت بالاتری برخوردار است.
- نرخ پایین کاهش کیفیت نشان می‌دهد که محصول با نرخ کاهش کمتری فاسد می‌شود و به مدت زمان بیشتری نیاز دارد تا به سطح خاصی پایین بیاید.
- هزینه حمل و نقل و هزینه جریمه کاهش یافته‌اند.
- کل هزینه از ۶۶۲۲ دلار به ۵۸۳۲ دلار کاهش یافته است.
- هزینه کرایه وسایل نقلیه و رانندگان برابر است و وسیله نقلیه اضافی اجاره شده است.
- از آنجایی که هزینه افت کیفیت کاهش یافته است، کیفیت محصول ارائه شده به خرده‌فروشی‌ها بالاتر بود.



شکل ۵. مسیرهای بهینه (نسخه اصلاح شده B)

گره	زمان ورود محصول	کیفیت محصول (%)
۲	۱.۳۰	۹۸.۷۰
۳	۱.۵۵	۹۸.۴۵
۴	۰.۹۸	۹۹.۰۲
۵	۱.۳۸	۹۵.۶۲
۶	۷.۳۰	۹۲.۷۰
۷	۵.۸۰	۹۴.۲۰
۸	۳.۵۵	۹۶.۴۵
۹	۲.۱۶	۹۷.۸۴
۱۰	۴.۳۸	۹۵.۶۲
۱۱	۳.۴۱	۹۶.۵۹
۱۲	۵.۳۲	۹۴.۶۸
۱۳	۴.۱۷	۹۵.۸۳
۱۴	۴.۸۱	۹۵.۱۹

۹۵.۷۳	۴.۲۷	۱۵
۹۷.۵۷	۲.۴۳	۱۶

جدول ۸. زمان ورود و کیفیت محصول (نسخه اصلاح شده B)

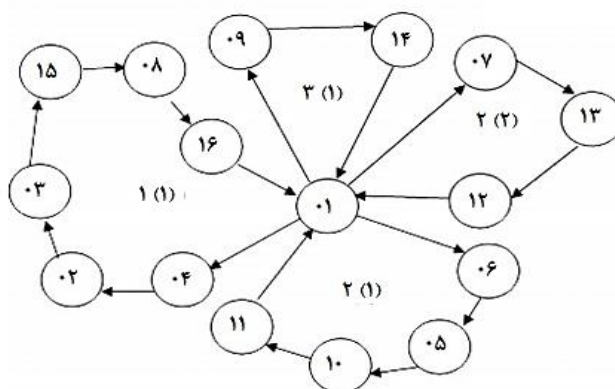
مقدار (\$)	عناصر هزینه
۳۰۰۰	هزینه اجاره وسیله نقلیه
۱۲۰۰	هزینه استخدام راننده
۶۱۷	هزینه حمل و نقل
۵۱۳	هزینه کاهش کیفیت
۵۰۲	هزینه جریمه
۵۸۳۲	هزینه کل

جدول ۹. نتایج مقدار هزینه

تأثیر کاهش زمان آخرین دریافت محصول

اگر آخرین زمان دریافت محصول در فروشگاه‌های خرده‌فروشی کمی کاهش یابد، ممکن است نیاز به استفاده از خودروهای بیشتری برای اجرای عملیات باشد. این ویژگی از مدل با استفاده از همان مثال نمونه توضیح داده می‌شود. این زمان (Lk) را از ۸ ساعت به ۵ ساعت کاهش می‌دهیم. در حل این مثال، مسیر ایده‌آل خودروی حاصل شده در شکل ۶ نشان داده شده است. از این شکل، مشخص است که چهار خودرو در مقایسه با موارد قبلی استفاده می‌شوند. جدول ۱۰ زمان و کیفیت محصولات وارد شده به فروشگاه‌های مختلف را نشان می‌دهد، در حالی که جدول ۱۱، مقادیر بهینه برای عناصر مختلف هزینه را نشان می‌دهد. از دو جدول، موارد زیر قابل مشاهده هستند. در ابتدا، زمان ورود محصولات به گره‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴ بیشتر از ۵ ساعت بود. وقتی که آخرین زمان از ۸ ساعت به ۵ ساعت کاهش یافت، گره ۱۲ با نوع خودرو ۲ پاسخ داده شده و گره ۱۴ با نوع خودرو ۳ به جای نوع ۱ پاسخ داده شد. هزینه استخدام خودرو و رانندگان افزایش یافت، زیرا یک خودرو جداگانه از نوع ۳ استخدام شد. اکنون هزینه جریمه تأخیر در تأمین محصول به دلیل کوتاه شدن زمان آخرین تأمین، کاهش یافته است، که باعث کوتاه شدن دوره جریمه می‌شود. هزینه تضعیف کیفیت کاهش یافت زیرا محصول به دلیل کوتاه شدن آخرین زمان مجاز برای دریافت محصول، دیگر نمی‌توانست دیرتر تأمین شود.

• هزینه کل از ۶۶۲۱ دلار به ۶۸۱۰ دلار افزایش یافت.





شکل ۶. مسیرهای بهینه (نسخه اصلاح شده c)

گره	زمان ورود محصول	کیفیت محصول (%)
۲	۱.۷۵	۹۶.۵۰
۳	۲	۹۶
۴	۱.۳۲	۹۷.۳۶
۵	۱.۳۶	۹۷.۲۸
۶	۱	۹۸
۷	۲	۹۶
۸	۳.۸۰	۹۲.۴۰
۹	۱.۷۳	۹۶.۵۴
۱۰	۳.۴۶	۹۳.۰۸
۱۱	۴.۰۲	۹۱.۹۶
۱۲	۴.۲۷	۹۱.۴۶
۱۳	۳.۶۴	۹۲.۷۲
۱۴	۲.۸۶	۹۴.۲۸
۱۵	۲.۶۷	۹۴.۶۶
۱۶	۴.۹۲	۹۰.۱۶

جدول ۱۰. زمان ورود و کیفیت محصول (نسخه اصلاح شده c)

عناصر هزینه	مقدار (\$)
هزینه اجاره وسیله نقلیه	۳۶۰۰
هزینه استخدام راننده	۱۶۰۰
هزینه حمل و نقل	۶۵۹
هزینه کاهش کیفیت	۸۳۷
هزینه جریمه	۱۱۴
هزینه کل	۶۸۱۰

جدول ۱۱. نتایج مقدار هزینه

تحلیل‌های حساسیتی که در بالا انجام شده است اعتبار مدل را اثبات می‌کند زیرا تغییرات اعمال شده در مقادیر پارامترهای مسئله باعث تغییر تصمیم مسیریابی بهینه می‌شود، همانطور که مطابق انتظار بود. حل مدل مسیریابی خودرویی پیشنهاد شده در بخش ۲ دشوار است و مشخص شد که زمانی که مثال‌های بخش ۵.۱ با استفاده از نرم‌افزار LINGO حل شد تا راه‌حل بهینه را پیدا کند، ساعت‌ها زمان می‌برد بنابراین، یک الگوریتم ژنتیک (GA) برای یافتن راه‌حل‌ها به صورت محاسباتی کارآمد پیشنهاد شده است.

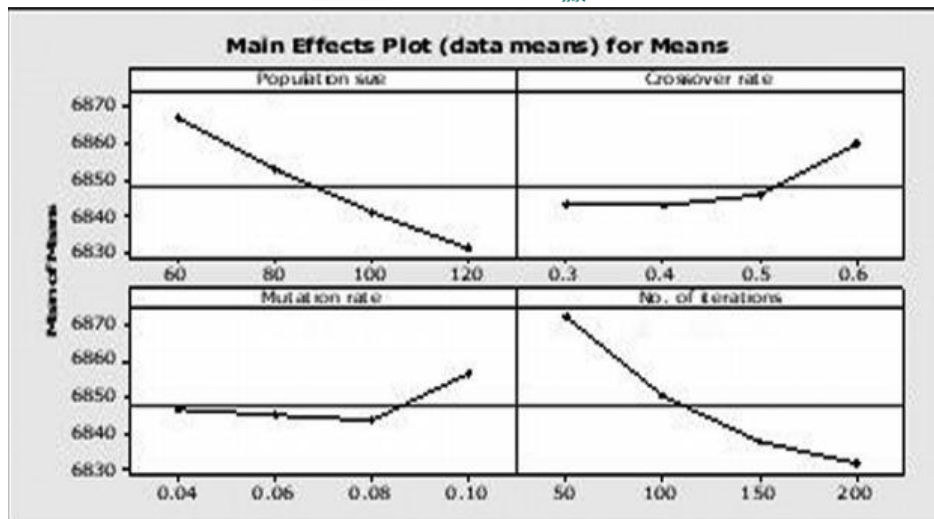
۳.۵. تعیین پارامترهای استوار الگوریتم ژنتیک بر پایه روش هیوریستیک

برای یافتن مقادیر استوار پارامترها برای هیوریستیک پیشنهادی، تجزیه و تحلیل اثر انجام شد. به این منظور، ترکیب‌های L16 که در جدول ۱۲ نشان داده شده است، استفاده شد. نتیجه به صورت کلی برای مسئله مثال بخش ۴ هم نشان داده شده است. با استفاده از داده‌های جدول ۱۲، تجزیه و تحلیل اثر اصلی انجام شده است و نتایج در شکل ۷ نمایش داده شده است.

شکل ۷ نشان می‌دهد که بهترین نتایج برای اندازه جمعیت ۱۲۰، نرخ کراس اور ۰.۴، نرخ جهش ۰.۰۸ و تعداد نسل‌ها (تکرارها) ۲۰۰ به دست آمده است.

اندازه جمعیت	نرخ تقاطع	نرخ جهش	تعداد تکرار	هزینه کل
۱۲۰	۰.۴	۰.۰۴	۵۰	۶۸۴۰
۱۲۰	۰.۵	۰.۰۶	۱۰۰	۶۸۳۵
۱۲۰	۰.۶	۰.۰۸	۱۵۰	۶۸۲۹
۱۲۰	۰.۳	۰.۱۰	۲۰۰	۶۸۲۰
۶۰	۰.۴	۰.۰۶	۱۵۰	۶۸۵۰
۶۰	۰.۵	۰.۰۴	۲۰۰	۶۸۴۸
۶۰	۰.۶	۰.۱۰	۵۰	۶۹۱۸
۶۰	۰.۳	۰.۰۸	۱۰۰	۶۸۵۱
۸۰	۰.۴	۰.۰۸	۲۰۰	۶۸۳۴
۸۰	۰.۵	۰.۱۰	۱۵۰	۶۸۴۰
۸۰	۰.۶	۰.۰۴	۱۰۰	۶۸۶۷
۸۰	۰.۳	۰.۰۶	۵۰	۶۸۷۰
۱۰۰	۰.۴	۰.۱۰	۱۰۰	۶۸۴۸
۱۰۰	۰.۵	۰.۰۸	۵۰	۶۸۶۰
۱۰۰	۰.۶	۰.۰۶	۲۰۰	۶۸۲۵
۱۰۰	۰.۳	۰.۰۴	۱۵۰	۶۸۳۲

جدول ۱۲. ترکیب‌های L16 تاگوچی



شکل ۷. نتایج آزمون‌های تاکوچی

۴.۵. ارزیابی عملکرد هیوریستیک دائمی پیشنهادی

در این بخش، تلاش می‌شود کارایی محاسباتی هیوریستیک پیشنهادی را پیدا کرد. به این منظور، مسائل مثال نمونه با یک نرم افزار دقیق مانند LINGO حل شده و این راه حل‌ها با هیوریستیک مقایسه می‌شوند. نتایج برای مسائل مثال بخش ۴ در جدول ۱۳ ثبت شده است. از این جدول مشخص است که الگوریتم ژنتیک پیشنهادی با موفقیت در زمان کمتری نسبت به استفاده از LINGO، یک راه حل پیدا می‌کند. لازم به ذکر است که نیاز به زمان پردازشی یاد شده برای یک کامپیوتر با مایکروپروسسور Intel i7 با فرکانس ۳.۴ گیگاهرتز است.

LINGO به طور کلی نتایج بهتری ارائه می‌دهد. با این حال، به نظر می‌رسد تفاوت بسیار زیاد نیست. آزمون من ویتنی با استفاده از نرم افزار MINITAB انجام شد تا اهمیت تفاوت را ارزیابی کند. نتایج آزمون نشان می‌دهد که تفاوت‌ها به طور آماری اهمیتی ندارند. این تحلیل نشان می‌دهد که باید به هیوریستیک دائمی مبتنی بر GA در حل مشکلات مرتبط ترجیح داده شود تا نتایج را بسیار سریعتر و بدون از دست دادن قابلیت حل راه حل به دست آورد. زیرا GA نیاز کمتری به زمان CPU دارد و راه حل‌هایی نزدیک به بهینه را ارائه می‌دهد، پیشنهاد می‌شود از GA پیشنهادی برای یافتن بالاترین مرز بهینه برای تابع هدف استفاده کرد و آن‌ها را در حل مشکل با استفاده از نرم افزار LINGO استفاده کرد.

مثال های توضیحی		حل در lingo		حل GA		[[A-B)/A]*100		رویکرد ترکیبی	
هزینه حاصل	زمان cpu	هزینه حاصل	زمان cpu	هزینه حاصل	زمان cpu	هزینه حاصل	زمان cpu	هزینه حاصل	زمان cpu
۶۶۲۲	۲۸۸۰۰	۶۷۲۰	۰.۸۴	۱.۴۷	۶۶.۲۲	۲۳.۳۰	مسئله اصلی		
۶۷۳۵	۲۴۶۰۰	۶۸۴۹	۰.۸۲	۱.۶۸	۶۷.۳۵	۲۱.۴۰	A نسخه اصلاح شده		
۵۸۳۲	۲۴۳۰۰	۵۹۶۰	۰.۸۰	۲.۱۹	۵۸.۳۲	۲۰.۳۵	B نسخه اصلاح شده		
۶۸۱۰	۲۵۵۰۰	۶۹۵۰	۰.۸۲	۲.۰۳	۶۸.۱۱	۲۱.۹۵	B نسخه اصلاح شده		

جدول ۱۳. مقایسه نتایج lingo و GA

۶. نتیجه گیری:

در این مقاله، مسئله توزیع یک محصول فاسد از یک انبار به فروشگاه‌های مختلف با کمک یک ناوگان متنوع از وسایل نقلیه با محدودیتی بر تأمین در طول پنجره زمانی مشخص شده توسط مشتری و همچنین حداقل کیفیت مشخص شده مورد بررسی قرار گرفته است. مسئله به عنوان یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی فرموله شده است. این مدل می‌تواند مسائل توزیع مربوط به محصولات را حل کند، حتی آن‌هایی که عمر کوتاهی دارند مانند شیر، میوه‌ها، سبزیجات و غیره. تحلیل‌های حساسیت انجام شده است تا اعتبار مدل پیشنهادی را اثبات کند. چه افزایش در الزامات سطح کیفیت، کاهش زمان آخرین تأمین یا افزایش نرخ فاسد شدن باشد، انتظار می‌رود که تعداد بیشتری از وسایل نقلیه برای عملیات توزیع مورد نیاز باشد. نتایج به دست آمده از مدل پیشنهادی دقیقاً در همین خط بودند، که در صورت تشدید شرایط بر روی کیفیت و زمان یا با افزایش نرخ خرابی، درخواست بیشتری از وسایل نقلیه می‌کردند. یک روش مبتنی بر الگوریتم ژنتیک ارائه شد تا مجموعه بهینه از مسیرها را به صورت محاسباتی کارآمد پیدا کند. خروجی آن می‌تواند به عنوان یک حد بالایی برای مقدار تابع هدف استفاده شود تا به صورت بسیار کارآمد مقدار بهینه را فراهم کند. به عنوان تحقیقات آتی می‌توان از ترافیک شلوغ و تغییرات در تقاضا برای فروشگاه‌های خرده‌فروشی برای تبدیل به مسئله واقع‌گرایانه‌تر استفاده کرد. ممکن است محصولات برداشته شده نیاز به ذخیره در انبار داشته باشند یا ممکن است توسط فروشگاه‌های دیگر درخواست شوند.

منابع:

1. D. Nakandala, H. Lau, J. Zhang, Cost-optimization modelling for fresh food quality and transportation, Ind. Manage. Data Syst. 116 (3) (2016) 564–583.
2. A. Ghasemkhani, R. Tavakkoli-Moghaddam, Y. Rahimi, S. Shahnejat-Bushehri, H. Tavakkoli-Moghaddam, Integrated production–inventory–routing problem for multi-perishable products under uncertainty by meta-heuristic algorithms, Int. J. Prod. Res. 60 (9) (2022) 2766–2786.
3. S. Yadav, A. Agrawal, M. Vora, A single manufacturer multiple buyers integrated production–inventory model with third-party logistics, Int. J. Bus. Perform. Supply Chain Model. 11 (2) (2020) 91–127. 65–87.
4. L. Qiang, X. Jiuping, A study on vehicle routing problem in the delivery of fresh agricultural products under random fuzzy environment, Int. J. Inf. Manage. Sci. 19 (4) (2008) 673–690.
5. M. Rabbani, M. Ramezankhani, H. Farrokhi-Asl, A. Farshbaf-Geranmayeh, Vehicle routing with time windows and customer selection for perishable goods, Int. J. Supply Oper. Manage. 2 (2) (2015) 700–719.

6. S. Torabi 1, E. Hassini, Multi-site production planning integrating procurement and distribution plans in multi-echelon supply chains: an interactive fuzzy goal programming approach, *Int. J. Prod. Res.* 47 (19) (2009) 5475–5499.

7. R. Shahabi-Shahmiri, S. Asian, R. Tavakkoli-Moghaddam, S. Mousavi, M. Rajabzadeh, A routing and scheduling problem for cross-docking networks with perishable products, heterogeneous vehicles and split delivery, *Comput. Ind. Eng.* 157 (2021) 107299.

8. V. Máximo, J. Cordeau, M. Nascimento, An adaptive iterated local search heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem, *Comput. Oper. Res.* 148 (2022) 105954.

9. M. Küçük, S. Yildiz, Constraint programming-based solution approaches for three-dimensional loading capacitated vehicle routing problems, *Comput. Ind. Eng.* 171 (2022) 108505.

10. Lingo Systems Inc, Formulating and Solving Integer Problems, in: *Lingo the Modelling Language and Optimizer*, 2010, p. 4.



Optimization vehicle routing problems with perishable products using genetic algorithm

Abstract:

The Vehicle Routing Problem (VRP) has recently piqued the interest of researchers seeking to improve the efficiency and efficacy of the transportation system in distributing commodities. Many scholars have proposed using a heterogeneous fleet in vehicle routing to minimize distribution costs further. When perishable items need to be distributed at numerous demand points during specific time intervals, the situation becomes more difficult. This paper discusses this variant of VRP and the restriction on accepting products with a minimum stated quality level. This research aims to create and optimize a mathematical model that incorporates the quality issue of a perishable commodity into the distribution process. The given product's worth is decreasing as its quality deteriorates. This problem is mathematically represented as a Mixed Integer NonLinear Programming Problem (MINLP). A Genetic Algorithm-based heuristic is also recommended due to them computational complexity required in applying the model to solve real-world situations. The proposed approach is used to solve numerical cases and perform sensitivity analysis.