فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
| JOURNAL OF TRAFFIC ENGINEERING |

ارائه یک الگوریتم ژنتیک توسعه‌یافته در توزیع انواع کالاها در سطح شهر با در نظرگرفتن برداشت و تحویل همزمان

وحید برادران[۱]، امیر حسین حسینیان[۲]، رضا درخشانی[۳]، امیر گلاب زایی[۴]

۱- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

۲- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

۳ - دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

۴- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

چکیده

در زمان حاضر، حجم گسترده‌ای از ترافیک شهری ناشی از تردد وسایل‌نقلیه شرکت‌های توزیع است که به حمل کالاهای مورد نیاز مشتریان می‌پردازند. برخی از مشتریان علاوه بر دریافت کالاهای مورد نیاز، مقداری کالای برگشتی نیز دارند که باید به انبار بازگردانده شوند. در چنین حالتی، مراکز توزیع وسایل حمل جداگانه‌ای برای برداشت این کالاهای بازگشتی اعزام می‌نمایند. این امر منجر به افزایش تعداد وسایل حمل، افزایش حجم ترافیک و افزایش هزینه‌های حمل و نقل خواهد شد. در این نوشتار، مدلی از مسئله مسیریابی وسایل نقلیه پیشنهاد می‌گردد که ضمن در نظرگرفتن برداشت و تحویل همزمان، مسیرهای توزیع کالاها را با حداقل تعداد وسایل حمل ارائه می‌نماید. به منظور حل مدل، یک الگوریتم ژنتیک بهبودیافته پیشنهاد شده است. جواب‌های اولیه با استفاده از روش ابتکاری نزدیکترین همسایگی بدست می‌آیند و در ادامه، روند حل توسط الگوریتم ژنتیک ادامه می‌یابد. کارایی الگوریتم پیشنهادی نسبت به دو الگوریتم ژنتیک کلاسیک و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید از طریق انجام آزمایش‌های عددی مورد سنجش قرار گرفته است. با انجام آزمون آماری مشخص شد که سطح کیفی جواب‌های الگوریتم پیشنهادی از جواب‌های سایر الگوریتم‌ها اختلاف معناداری دارد.

واژگان کلیدی: مسیریابی وسایل نقلیه، بهینه‌سازی، الگوریتم‌های فراابتکاری، برنامه‌ریزی حمل و نقل

۱- مقدمه

هزینه‌های حمل و نقل شامل هزینه‌های ثابت و متغیر وسایل نقلیه می‌شود. با توجه به گزاف بودن این هزینه‌ها، t بسیاری از محققان تلاش داشته‌اند تا با بکارگیری تکنیک‌های مدیریتی و بهینه‌سازی، این هزینه‌ها را کمینه نمایند. اوک و سارجس در مطالعه خود نشان دادند که ۱۱ تا ۱۳ درصد از هزینه کل محصولات، شامل هزینه‌های مرتبط با حمل و نقل آن‌ها می‌شود [۱]. توث و ویگو نیز در تحقیقی دریافتند که استفاده از روش‌های نوین می‌توانند به اندازه ۵ تا ۲۰ درصد در کل هزینه‌های تولید کاهش ایجاد کند[۲]. توزیع و تحویل کالاها میان مشتریان از جمله شاخه‌های حائز اهمیت در حمل‌ونقل است که بسیاری از شرکت‌های توزیع و پخش با آن سروکار دارند. در نتیجه، یافتن مجموعه مسیرهایی که بتوان به کمک آن‌ها عملیات سرویس‌دهی را در کوتاه‌ترین زمان ممکن و با طی حداقل مسافت و با حداقل تعداد وسیله حمل انجام داد، همواره امری چالش برانگیز برای شرکت‌های پخش و توزیع بوده است[۲].

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه[۱] از جمله مسائل مهم در این حوزه از حمل و نقل است که می‌تواند با طراحی یک سیستم توزیع کارا، تأثیر به سزایی در بهینه‌سازی سیستم حمل و مسیریابی کالاها داشته باشد. نوع خاصی از مسئله VRP که امروزه کاربرد فراوانی در حوزه لجستیک معکوس زنجیره تأمین پیدا

1. Vehicle Routing Problem (VRP)

کرده است، در نظرگرفتن دریافت و تحویل کالا[1] می‌باشد[۱].

در این نوع مسائل فرض می‌کنیم که هر مشتری علاوه بر دریافت کالا، مقداری کالای بازگشتی نیز دارد که می‌بایست توسط وسایل نقلیه جمع‌آوری شده و مستقیماً به انبار بازگردنده شوند. تحویل انواع کالاهای مصرفی به خرده‌فروشان و برداشت سبدها یا پالت‌های خالی قابل مصرف و یا کالاهای تاریخ گذشته و غیرقابل فروش از جمله مواردی است که مسئله مذکور می‌تواند در آن کاربرد داشته باشد. توزیع کالاهای دارویی، شیمیایی و جمع‌آوری بازمانده مصرف شده این کالاها جهت انهدام و جلوگیری از آسیب رسیدن به محیط زیست از دیگر موارد کاربرد مدل ذکر شده است[۳]. فرآیند تحویل و برداشت در این دسته مسائل به شکل‌های زیر می‌تواند صورت پذیرد[۳]:

۱. مسئله VRPPD در حالتی که اول دریافت انجام شود و بعد از آن برداشت[2]

۲. مسئله VRPPD در حالتی که دریافت‌ها و برداشت‌ها درهم آمیخته[3] باشند.

۳. مسئله VRP با نقاط عرضه[4] که ویژگی‌های دو نوع ۱ و ۲ را دارد.

۴. مسئله VRPPD با دریافت‌ها و برداشت‌های همزمان[5]

در دنیای واقعی، تعداد قابل توجهی از مراکز توزیع از وسایل حمل جداگانه‌ای برای انجام تحویل و برداشت استفاده می‌نمایند. این امر منجر به افزایش تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز، میزان مسافت طی شده، بارترافیکی در مناطق توزیع و کل هزینه‌های حمل و نقل مراکز توزیع خواهد شد. در نتیجه استفاده از مدل مسئله VRPSPD موجب می‌گردد که فرایند تحویل و برداشت، بطور همزمان و با تعداد وسایل نقلیه کمتری صورت پذیرد و همچنین اثر بهبود وضعیت ترافیکی مسیرهای حمل، بر ترافیک کلی مناطق توزیع نمود پیدا کند.

ساختار مقاله، در ادامه به این ترتیب است؛ به منظور شناخت و آشنایی بیشتر با کاربردهای مسئله VRPSPD، در بخش دوم به مرور تحقیقات مرتبط می‌پردازیم. بخش سوم به ارائه مدل ریاضی مسئله تخصیص داده شده است. بخش چهارم در ارتباط با معرفی الگوریتم پیشنهادی است. در بخش پنجم، عملکرد الگوریتم پیشنهادی مورد سنجش قرار گرفته است. بخش ششم نیز به جمع‌بندی مطالب گفته شده و ارائه پیشنهادات آتی اختصاص داده شده است.

۲- پیشینه تحقیق

مسئله VRPSPD نخستین‌بار توسط مین در سال ۱۹۸۹ مطرح گردید [۴]. این محقق، کاربرد مسئله مذکور را در حمل و نقل کتاب‌ها بین کتابخانه‌های عمومی مورد مطالعه قرار داده است.هالس [۵] نیز در مطالعه خود استراتژی نوینی را ارائه نمود. طبق این استراتژی، در ابتدا مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با بازگشت حل می‌گردد و سپس از یک الگوریتم بهبوددهنده سه‌گانه[6] برای بهبود جواب‌ها استفاده می‌شود.

وورال[۶] برای نخستین‌بار الگوریتم ژنتیک را برای حل ابعاد بزرگ این مسئله مورد استفاده قرار داد. به این ترتیب، با توجه به کارایی بالای الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری در حل این مسئله، استفاده از چنین روش‌هایی بیشتر مورد توجه قرار گرفت. نگی و همکارش [۷] در سال ۲۰۰۵ یک رویکرد ابتکاری ترکیبی را برای مسائل VRPSPD چندانباره و VRPMPD توسعه دادند. این رویکرد ترکیبی، چهار روش متفاوت را به شکلی سازمان‌یافته با یکدیگر ترکیب می‌کند. براندئو و همکارش [۸] نیز رویکردی فراابتکاری برای حل مسئله VRPSPD ارائه دادند. این رویکرد، الگوریتمی ترکیبی مبتنی بر جستجوی ممنوع[7] و همسایگی نزولی متغیر[8] می‌باشد. بیانچسی و همکارش [۹] چند روش ابتکاری جستجوی محلی ارائه نمودند. همچنین، این محققان یک الگوریتم جستجوی ممنوع با استفاده از ساختار همسایگی متغیر معرفی کردند. گجپال و همکارش [۱۰] نیز یک رویکرد ابتکاری مبتنی بر بهینه‌سازی کلونی مورچگان[9] توسعه دادند.

کاتای [۱۱]، سوبرامانیان و همکارانش[۱۲] و نیز زاچاریادیس و همکارانش[۱۳-۱۴] از رویکردهای فراابتکاری برای حل این مسئله بهره برده‌اند. این روش‌ها شامل رویکردهایی مبتنی بر الگوریتم ACO، الگوریتم ترکیبی ادغام شده با جستجوی محلی تکراری و نیز الگوریتم ترکیبی TS با روش‌های جستجوی محلی می‌شود. بنابراین، با توجه به نتیجه بررسی

1. Vehicle Routing Problem With Pickup and Delivery (VRPPD)
2. Delivery–first, pickup–second VRPPD
3. Mixed pickups and deliveries VRPPD (VRPMDP)
4. Vehicle Routing Problem with Backhauls (VRPB)
5. VRP With Simultaneous pickups and deliveries (VRPSPD)
6. 3-Opt Algorithm
7. Tabu Search (TS)
8. Variable Neighborhood Descent (VND)
9. Ant Colony Optimization (ACO)

تحقیقات پیشین می‌توان دریافت که تاکنون تلاش‌های اندکی در زمینه حل مسئله VRPSPD با رویکردهایی که مبتنی بر جمعیتی از جواب‌ها هستند، انجام شده است.

یکی از الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت که عملکرد خوبی را در حل انواع مسائل VRP از خود نشان داده است، الگوریتم ژنتیک است. این الگوریتم اخیراً در برخی از مطالعات برای حل مسئله VRPSPD بکار گرفته شده است. از جمله این پژوهش‌ها، می‌توان به مطالعه تاسان و همکارش [۱۵] اشاره کرد. در این مطالعه نیز یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی برای حل مسئله VRPSPD پیشنهاد شده است.

۳- مدل ریاضی مسئله VRPSPD

فرض می‌نماییم که گراف $G = (J_0, A)$، شبکه کامل مسیرها است که در آن $J_0 = \{0\} \cup J$ نشان‌دهنده رئوس می‌باشد. $\{0\}$ نمایانگر انبار مرکزی و J مجموعه همه مشتریان است. $A = \{(i, j) \mid i, j \in J_0, i \neq j\}$ نشان‌دهنده کل مجموعه مسیرها است. در مدل ریاضی مسئله، این فرضیات در نظر گرفته می‌شود[۴]:

۱. v دوره برنامه‌ریزی، یک روز در نظر گرفته شده است.

۲. زمان اعزام همه وسایل نقلیه از انبار با هم برابر و در زمان صفر می‌باشد.

۳. تنها یک انبار مرکزی وجود دارد و کالاهای مرجوعی نیز به همان انبار بازگردانده می‌شوند.

۴. مشتریان هیچگونه تبادل کالایی با یکدیگر ندارند.

۵. عدم قطعیت در مسئله وجود ندارد.

۶. نوع کالاها و نوع وسایل حمل همگن بوده و هیچگونه اولویتی در ارسال کالاها وجود ندارد.

۷. ظرفیت همه وسایل حمل با هم برابر است.

۳-۱- نمادها

n تعداد مشتریان

K تعداد وسایل نقلیه

$DC=CC=0$ مرکز توزیع که همان مرکز جمع‌آوری کالای برگشتی به انبار می‌باشد.

۳-۲- مجموعه‌ها

$J = 1,2,...,n$ مجموعه همه مشتریان J

$J_0 = \{0\} \cup J$ مجموعه همه رئوس (شامل انبار) J_0

$V = 1,2,...,k$ مجموعه همه وسایل نقلیه V

۳-۳- پارامترها

qv نشان‌دهنده حداکثر ظرفیت وسیله نقلیه v

gv هزینه اعزام وسیله نقلیه v (هزینه ثابت استفاده از وسایل حمل)

cv هزینه طی مسیر بین دو مشتری i و j بطوریکه $i \neq j$

dj مقدار کالایی که باید به مشتری تحویل داده شود.

pj مقدار برداشت مشتری j

M یک مقدار ثابت بزرگ

α پارامتر نشان‌دهنده توازن بین هزینه‌های اعزام و هزینه‌های سفر $\alpha \in [0,1]$

۳-۴- متغیرهای تصمیم

L_{0v} مقدار بار وسیله نقلیه $v \in V$ موقع ترک انبار مرکزی

Lj مقدار باری که بعد از ملاقات مشتری j در وسیله وجود دارد.

$xijv$ اگر وسیله نقلیه v از رأس i به رأس سفر کند، مقدار $xijv$ برابر ۱ است و در غیر این صورت، $xijv = 0$ می‌باشد.

۳-۵- مدل مسئله

۱) $$\text{Minimize} Z = \alpha \sum_{v=1}^{k} \sum_{j=1}^{n} x_{0jv} g_v + (1-\alpha) \sum_{v=1}^{k} \sum_{j=0}^{n} \sum_{i=0}^{n} x_{0jv} c_{ij}$$

۲) $$\sum_{i=0}^{n} \sum_{v=1}^{k} xijv = 1 \quad j = 1,2,...,n$$

۳) $$\sum_{i=0}^{n} xijv = \sum_{i=0}^{n} xjiv \quad v = 1,2,...,k \;,\; j = 1,2,...,n$$

۴) $$\sum_{i=0}^{n} x_{0iv} << 1 \quad v = 1,2,...,k$$

۵) $$\sum_{i=0}^{n} x_{i0v} << 1 \quad v = 1,2,...,k$$

$$\sum_{i=s}^{n}\sum_{j=s}^{n} xijv \le |s| - ۱ \quad s \subseteq J \qquad (v = ۱,۲,...,k \;\; ۶$$

$$l_{۰}v = \sum_{i=۱}^{n}\sum_{j=۱}^{n} dj.xijv \quad v = ۱,۲,...,k \quad (۷$$

$$v = ۱,۲,...,k \;\; , \;\; j = ۱,۲,...,n \quad (۸$$

$$lj >> l_{۰}v - dj + pj - M(۱ - x_{۰}jv)$$

$$i = ۱,۲,...,n \;\; , \;\; j = ۱,۲,...,n \quad (۹$$

$$lj >> li - dj + pj - M\left(۱ - \sum_{v=۱}^{k} xijv\right)$$

$$l_{۰}v << qv \quad v = ۱,۲,...,k \quad (۱۰$$

$$v = ۱,۲,...,k \;\; , \;\; j = ۱,۲,...,n \quad (۱۱$$

$$lj << qv + M\left(۱ - \sum_{i=۰}^{n} xijv\right)$$

$$xijv \in \{۰,۱\} \qquad v = ۱,۲,...,k \;\; , \;\; i,j = ۱,۲,...,n \quad (۱۲$$

معادله ۱، تابع هدف است که شامل کمینه‌کردن کل هزینه‌های اعزام (وابسته به تعداد وسایل نقلیه) و کل هزینه‌های سفر (وابسته به مقدار مسافت طی شده) می‌باشد. á ضریبی است که وزن هزینه‌های ثابت و متغیر را نشان می‌دهد. محدودیت ۲، تضمین می‌کند که به همه مشتریان دقیقاً یکبار سرویس داده می‌شود. محدودیت ۳ نشان‌دهنده آن است که تحویل و برداشت برای هر مشتری با یک وسیله یکسان صورت می‌پذیرد. به این محدودیت "معادله جریان" نیز گفته می‌شود. زیرا شرط تعادل جریان و تداوم در مسیر را تضمین می‌سازد. این بدان معنی است که ورود و خروج به راس هر مشتری با یک وسیله یکسان صورت می‌گیرد و هر مشتری توسط یک ماشین سرویس‌دهی می‌شود. محدودیت‌های ۴ و ۵ بیانگر این هستند که وسایل نقلیه که از مرکز توزیع اعزام می‌شوند، باید نهایتاً به آن بازگردند. همه وسایل نقلیه از انبار شروع به حرکت کرده و پس از طی مسیر به آن باز می‌گردند. به عبارت دیگر استفاده از هر وسیله نقلیه در یک مسیر محدود شده و هر ماشین تنها یکبار استفاده می‌شود. محدودیت ۶ برای جلوگیری از ایجاد گراف ناهمبند و زیرمسیرهای جداگانه در نظر گرفته شده است و آن‌ها را حذف می‌کند. قید ۷، نشان‌دهنده مقدار بار اولیه وسیله نقلیه است. محدودیت ۸، شدنی بودن مقدار بار وسیله نقلیه را بعد از ملاقات اولین مشتری نشان می‌دهد. محدودیت ۹ نیز شدنی بودن مقدار بار وسیله نقلیه در طی مسیر را تضمین می‌کند. به عبارت دیگر ترتیب سرویس‌دهی به مشتریان را بگونه‌ای مشخص می‌نماید که حداکثر ظرفیت ماشین در زمان ملاقات هیچ یک از مشتریان نقض نشود. محدودیت‌های ۱۰ و ۱۱، بیانگر حداکثر مقدار بار وسیله نقلیه بعد از ترک انبار و بعد از ترک هر مشتری است. محدودیت ۱۲، صفر-یک بودن متغیر تصمیم را نشان می‌دهد.

این مدل به دلیل پیچیدگی بالا، جز دسته مسائل NP-Hard قرار می‌گیرد[۴]. از این رو استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری می‌تواند در بدست آوردن جواب‌های با کیفیت مناسب و نزدیک به بهینه در مدت زمانی معقول راهگشا باشد. در بخش بعد، الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای حل این مدل تشریح گردیده است.

۴- الگوریتم حل پیشنهادی

الگوریتم ژنتیک، یک روش محاسباتی بهینه‌سازی الهام گرفته از روند تکامل در طبیعت است. این الگوریتم، تصادفی و مبتنی بر جمعیت است و روندی تکراری را طی می‌نماید. بدین معنا که در هر تکرار، چند نقطه از فضای جستجو را بطور تصادفی در نظر می‌گیرد. از این رو احتمال همگرا شدن آن به بهینه محلی کاهش می‌یابد[۱۵]. مشخصه‌های الگوریتم ژنتیک پیشنهادی در این مطالعه به شرح زیر می‌باشد.

۴-۱- ساختار نمایش جواب و کدگشایی آن

در این الگوریتم به منظور نمایش هر نقطه از فضای جواب، از ساختار نمایش جایگشتی استفاده می‌شود[۱۵]. در اینصورت هر کروموزوم[1] بصورت رشته‌ای از اعداد طبیعی نشان داده می‌شود که هر کدام از اعداد، نشانگر شماره یکی از مشتریان می‌باشد. ترتیب قرارگیری این اعداد در طول رشته، نشان‌دهنده ترتیب سرویس‌دهی به مشتریان و طول رشته برابر تعداد مشتریان می‌باشد. به منظور رمزگشایی و تشکیل مسیرها در هر کروموزوم، از ابتدای آن شروع کرده و مشتریان را به ترتیب در مسیر جدید قرار می‌دهیم تا زمانی که مجموع برداشت‌ها و یا مجموع دریافت‌ها از حداکثر ظرفیت وسیله نقلیه تجاوز نماید. همچنین محدودیت مقدار بار وسیله نقلیه پس از ملاقات هر مشتری نقض گردد[۱۵]. نمونه‌ای از یک جواب شدنی در این مسئله در شکل ۱ نمایش داده شده است.

[۹ ۷ ۵ ۱۰ ۲ ۸ ۳۱ ۶ ۴]

شکل ۱: نمونه‌ای از یک جواب شدنی

1. Chromosome

رشته باینری	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰
والد ۱	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
والد ۲	۳	۵	۱	۸	۴	۷	۲	۶

فرزند ۱	۲	۵	۱	۳	۴	۷	۶	۸
فرزند ۲	۱	۳	۵	۴	۲	۶	۷	۸

شکل ۲: نحوه ایجاد جواب جدید توسط عملگر تقاطع[۱۸]

۴-۲- جمعیت اولیه

در الگوریتم پیشنهادی برای ایجاد جمعیت اولیه از الگوریتم ابتکاری نزدیکترین همسایگی[1] (NNH) ارائه شده در [۱۶] استفاده شده است. درصدی از جمعیت اولیه به وسیله الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی تولید شده‌اند و بخش دیگر نیز بصورت کاملاً تصادفی ایجاد می‌گردند. روند ایجاد جمعیت مذکور باعث می‌گردد که جواب‌های گوناگون که در نقاط مختلفی از فضا حضور دارند، به روند حل الگوریتم جهت دهند.

کروموزوم اول مبتنی بر الگوریتم NNH به وجود می‌آید. بر طبق این الگوریتم، اولین مشتری در کروموزوم، نزدیک‌ترین مشتری به انبار می‌باشد. دومین مشتری، نزدیک‌ترین مشتری به آخرین مشتری در کروموزوم بوده و این روند تا قرارگیری کل مشتریان در مسیر ادامه می‌یابد. در دومین کروموزوم، مشتریان بر اساس سیر صعودی اختلاف دریافت‌ها و برداشت‌هایشان مرتب شده‌اند. به صورتی که مشتریانی که دریافت بیشتر و برداشت کمتر دارند، در ابتدای کروموزوم واقع شده‌اند. این امر سبب می‌شود که احتمال نقض شدن محدودیت شدنی بودن بار وسیله پس از ملاقات هر مشتری، کاهش یابد و مشتریان بیشتری در یک مسیر قرار بگیرند[۱۶]. بطور کلی ۶۰ درصد از اندازه جمعیت اولیه به این شکل و سایر اعضا به شکل کاملاً تصادفی ایجاد می‌شوند.

۴-۳- تابع برازندگی[2]

در این مطالعه تابع برازندگی، همان تابع هدف می‌باشد که برابر است با مجموع کل هزینه‌های ثابت و متغیر حمل و نقل. هزینه‌های ثابت متناسب با تعداد وسایل حمل بکار گرفته شده و هزینه‌های متغیر متناسب با کل مسافت طی شده می‌باشد.

۴-۴- نحوه انتخاب والدین جهت تولید جواب‌های جدید

فرآیند انتخاب والدین جهت تولید فرزندان در این مطالعه از طریق انتخاب مسابقه‌ای[3] صورت می‌پذیرد. انتخاب مسابقه‌ای روشی برای انتخاب یک جواب از میان جمعیتی از جواب‌ها در الگوریتم ژنتیک است. در روش انتخاب مسابقه‌ای، چندین مسابقه میان تعدادی از جواب‌ها که بصورت تصادفی از جامعه برگزیده شده‌اند، اجرا می‌گردد. جوابی که بهترین مقدار برازندگی را داشته باشد، به عنوان برنده هر مسابقه در نظر گرفته شده و عملگر تولید فرزندان بر روی آن اعمال می‌شود. هرچه اندازه مسابقه بزرگتر باشد، جواب‌های ضعیف شانس کمتری برای انتخاب شدن دارند [۱۷].

۴-۵- عملگر تقاطع[4]

عملگر تقاطع مورد استفاده در این مطالعه، عملگر تقاطع یکنواخت[5] [۱۸] است. عملگر تقاطع یکنواخت، روند زیر را برای ایجاد جواب‌های جدید طی می‌نماید:

۱. یک رشته تصادفی باینری[6] که طول آن هم اندازه کروموزوم‌های والد است، تشکیل می‌گردد.

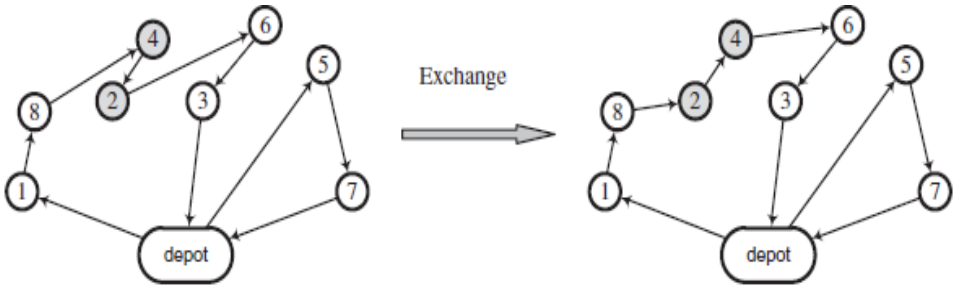
۲. فرزند شماره ۱، گره‌هایی از والد ۲ را که عدد متناظر آن‌ها در رشته باینری "۱" است، در برمی‌گیرد.

۳. فرزند شماره ۲، گره‌هایی از والد ۱ را که عدد متناظر آن‌ها در رشته باینری "صفر" است، در برمی‌گیرد.

۴. فرزند شماره ۱، گره‌هایی را که تاکنون دربرنگرفته است را به ترتیب از والد شماره ۱ برمی‌دارد.

۵. فرزند شماره ۲، گره‌هایی را که تاکنون دربرنگرفته است را به ترتیب از والد شماره ۲ برمی‌دارد.

1. Nearest Neighbourhood Heuristic (NNH)
2. Fitness Function
3. Tournament Selection
4. Crossover
5. Uniform Crossover
6. Binary String



شکل ۳: عملگر جهش، تعویض جای دو مشتری [۱۸]

در شکل ۲، نمونه ای از نحوه ایجاد جواب‌های جدید توسط این عملگر به تصویر کشیده شده است.

۴-۶- جهش[1]

به منظور اجرای عملگر جهش و ایجاد تغییرات تصادفی در کروموزوم‌ها برای جستجوی نقاط کشف نشده فضا، از روش جهش تعویض[2] استفاده شده است[۱۸]. این عملگر دو ژن را به تصادف در طول کروموزوم انتخاب کرده و جای آن‌ها را با یکدیگر عوض می‌کند. نحوه کارکرد این عملگر در شکل ۳ نشان داده شده‌اند.

۴-۷- جایگزینی

پس از ترکیب جمعیت اولیه و جمعیت جواب‌های حاصل شده از عملگرهای تقاطع و جهش، رتبه‌بندی جواب‌ها صورت می‌پذیرد و بهترین اعضا به عنوان نسل جدید در نظر گرفته می‌شوند.

۴-۸- معیار اختتام

معیار اختتام در این الگوریتم، حداکثر تعداد تکرارهای معین است. چنانچه این مقدار حاصل گردد، الگوریتم متوقف خواهد شد.

۵- حل نمونه‌های عددی

در این تحقیق به منظور ارزیابی عملکرد رویکرد پیشنهادی، چندین آزمایش محاسباتی بر داده‌های نمونه معرفی شده توسط نگی و همکارش [۷] صورت گرفته است. داده‌های نمونه شامل ۵ مجموعه داده با نام‌های X، H، Q، T و Y با ۱۴ نمونه در هر مجموعه می‌باشند که به طور کلی منجر به ایجاد ۷۰ مسئله نمونه می‌گردد. برای هر مجموعه، مسائل به شکل CMT (نام مجموعه داده) نامگذاری شده‌اند. تعداد مسائل در تمامی مجموعه‌ها برابر است. همچنین تعداد مشتریان، مکان آن‌ها و ظرفیت وسایل نقلیه نیز برابر در نظر گرفته شده است. اما نکته قابل توجه این است که میزان تقاضای تحویل و برداشت مشتریان متفاوت می‌باشد. در هر نمونه فاصله مشتریان بصورت اقلیدسی محاسبه شده است. نمونه‌های ذکر شده علاوه بر حل توسط الگوریتم ژنتیک ترکیبی پیشنهادی، توسط الگوریتم ژنتیک استاندارد و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید نیز حل شده‌اند تا کارایی الگوریتم پیشنهادی سنجیده شود. برنامه‌نویسی مسئله در محیط Matlab انجام شده و اجرای برنامه نیز توسط یک کامپیوتر شخصی با مشخصات (QuadCore۸۲۰۰,CPU۲,۰۰GHz,RAM۴GB) صورت گرفته است.

۵-۱- تنظیم پارامترهای الگوریتم

پارامترهای ورودی هر الگوریتم اثرگذاری ویژه‌ای بر نتایج دارند. بنابراین تنظیم پارامترها را می‌توان گامی مهم در بدست آوردن جواب‌های با کیفیت دانست. در این مطالعه، به منظور تعیین سطح مطلوب پارامترهای الگوریتم ژنتیک شامل حداکثر تعداد تکرارها، احتمال جهش، احتمال تقاطع و اندازه جمعیت از روش تاگوچی[3] [۱۹] استفاده شده است. سطح مطلوب پارامترها پس از انجام آزمایشات و تحلیل نتایج در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

جدول ۱: سطوح بهینه پارامترهای الگوریتم ژنتیک پیشنهادی

حداکثر تعداد تکرار	نرخ تقاطع	نرخ جهش	اندازه جمعیت
۲۵۰	۰,۸	۰,۵	۱۰۰

۵-۲- تجزیه و تحلیل مسائل نمونه

در این بخش به منظور مقایسه عملکرد الگوریتم ژنتیک پیشنهادی(HGA) [4] و دو الگوریتم ژنتیک کلاسیک [5](BGA)

1. Mutation
2. Exchange
3. Taguchi
4. Hybrid Genetic Algorithm (HGA)
5. Basic Genetic Algorithm (BGA)

جدول ۲: مقایسه نتایج برای چند نمونه

مسئله	تعداد مشتری	ظرفیت وسیله	مجموع کل هزینه‌ها			تعداد وسایل حمل، NV			کل مسافت طی شده، TD		
			BGA	HGA	SA	BGA	HGA	SA	BGA	HGA	SA
CMT۱T	۵۰	۱۶۰	۲۰۰۸۷۸	۲۰۰۶۰۴	۲۰۱۰۰۴	۵	۴	۷	۸۷۸	۶۰۴	۹۲۵
CMT۲T	۷۵	۱۴۰	۳۶۲۹۰۸	۳۶۰۹۳۸	۳۶۳۰۴۵	۹	۹	۹	۱۹۰۸	۹۳۸	۲۰۶۵
CMT۳T	۱۰۰	۲۰۰	۲۸۲۴۶۵	۲۸۰۹۳۹	۲۸۲۶۶۲	۷	۷	۷	۲۴۶۵	۹۳۹	۲۵۰۱
CMT۱X	۵۰	۱۶۰	۱۲۰۷۶۰	۱۲۰۵۱۰	۱۲۰۸۵۳	۳	۳	۳	۷۶۰	۵۱۰	۸۳۰
CMT۲X	۷۵	۱۴۰	۲۴۱۷۹۵	۲۴۰۸۳۲	۲۴۳۹۵۰	۶	۵	۶	۱۷۹۵	۸۳۴	۱۸۶۲
CMT۳X	۱۰۰	۲۰۰	۲۰۲۱۳۱	۲۰۰۸۸۳	۲۰۶۵۹۸	۵	۴	۶	۲۱۳۱	۸۸۳	۲۲۳۵
CMT۱Y	۵۰	۱۶۰	۱۲۰۸۸۸	۱۲۰۵۲۲	۱۲۰۸۴۷	۳	۳	۳	۸۸۸	۵۲۲	۸۹۵
CMT۲Y	۷۵	۱۴۰	۲۴۱۷۶۸	۲۴۰۸۲۹	۲۴۲۳۶۵	۶	۶	۶	۱۷۶۸	۸۲۹	۱۸۹۰
CMT۳Y	۱۰۰	۲۰۰	۲۰۲۱۰۰	۲۰۰۸۸۷	۲۲۱۰۴۰	۵	۵	۵	۲۱۰۰	۸۸۷	۲۲۰۶
CMT۱Q	۵۰	۱۶۰	۱۶۰۸۶۳	۱۶۰۵۵۶	۱۶۵۲۳۷	۴	۴	۶	۸۶۳	۵۵۶	۹۳۲
CMT۲Q	۷۵	۱۴۰	۳۲۱۵۳۷	۳۲۰۸۶۰	۳۲۳۴۵۷	۸	۸	۸	۱۵۳۷	۸۶۰	۱۶۶۵
CMT۳Q	۱۰۰	۲۰۰	۲۴۲۲۸۰	۲۴۰۸۹۱	۲۴۱۰۵۶	۶	۵	۶	۲۲۸۰	۸۹۱	۲۳۴۸
CMT۱H	۵۰	۱۶۰	۱۲۰۷۳۷	۱۲۰۵۶۴	۱۲۴۵۰۳	۳	۳	۳	۷۳۷	۵۶۴	۱۰۲۵
CMT۲H	۷۵	۱۴۰	۲۴۱۵۳۸	۲۴۰۸۱۲	۲۴۶۵۹۸	۶	۶	۶	۱۵۳۸	۸۱۲	۱۶۳۹
CMT۳H	۱۰۰	۲۰۰	۱۶۲۳۴۰	۱۶۰۹۱۰	۱۶۳۰۵۴	۴	۲	۴	۲۳۴۰	۹۱۰	۲۲۹۵

و شبیه‌سازی تبرید(SA) [1]، نمونه‌های مختلفی حل شده‌اند. به منظور مقایسه نتایج، علاوه بر در نظر گرفتن مقدار تابع برازندگی، دو معیار کل مسافت طی شده (TV) و تعداد وسایل حمل بکار رفته (NV) نیز در نظرگرفته شده‌اند.

همانطور که در جدول ۲ نیز مشخص می‌باشد، الگوریتم پیشنهادی توانسته است از نظر کمینه‌سازی مجموع هزینه‌ها، تعداد وسایل نقلیه و کل مسافت طی شده نسبت به الگوریتم‌های دیگر بهتر عمل کند. حال به منظور سنجش این مسئله که جواب‌های حاصل شده توسط الگوریتم پیشنهادی نشانگر بهبود قابل توجه و معناداری نسبت به جواب‌های سایر الگوریتم‌ها است، از آزمون آماری t استفاده می‌گردد. به این ترتیب می‌توان اطمینان حاصل نمود که میانگین جواب‌های الگوریتم HGA از نظر مجموع هزینه‌های کل تفاوت معناداری با میانگین جواب‌های دو روش دیگر دارد. بدین منظور عملکرد الگوریتم HGA در فاصله اطمینان ۹۵ درصد بصورت دو به دو با سایر الگوریتم‌ها مورد آزمون قرار می‌گیرد. فرض صفر در این آزمون نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنادار میان میانگین جواب‌های دو الگوریتم مورد مقایسه است. آزمون‌ها در نرم‌افزار Minitab انجام شده و نتایج بدست آمده از انجام این آزمون‌های آماری در جدول ۳ آورده شده است.

1. Simulated Annealing (SA)

جدول ۳: نتایج حاصل از آزمون فرض آماری بر عملکرد الگوریتم‌ها

مسئله	مقایسه الگوریتم‌ها	حد پائین	حد بالا	مقدار آماره t	مقدار p-value
CMT۱T	HGA -- BGA	۱,۴۶۹۶	۱,۷۵۳۲	۲۲,۳۶	۰,۰۰۰
	HGA-- SA	۱,۲۱۰۵	۱,۵۳۹۲	۱۶,۴۶	۰,۰۰۰
CMT۲T	HGA -- BGA	۶,۱۰۵	۶,۶۱۱	۴۹,۴۱	۰,۰۰۰
	HGA-- SA	۶,۰۲۵	۶,۷۵۳	۳۴,۵۴	۰,۰۰۰
CMT۳T	HGA -- BGA	۱۱,۴۵۵	۱۲,۴۳۶	۴۷,۸۵	۰,۰۰۰
	HGA-- SA	۱۱,۶۵۰	۱۲,۶۴۲	۴۸,۱۱	۰,۰۰۰
CMT۱X	HGA -- BGA	۶,۹۹۱	۸,۰۲۶	۲۸,۵۱	۰,۰۰۰
	HGA-- SA	۱۰,۰۴۱	۱۱,۱۱۹	۳۸,۵۴	۰,۰۰۰
CMT۲X	HGA -- BGA	۸,۱۶۹	۸,۸۴۴	۴۹,۵۴	۰,۰۰۰
	HGA-- SA	۷,۵۲۸	۸,۲۹۶	۴۰,۵۴	۰,۰۰۰
CMT۳X	HGA -- BGA	۳,۸۸۵	۵,۲۵۹	۱۳,۰۸	۰,۰۰۰
	HGA-- SA	۱۲,۵۳۵	۱۳,۵۹۱	۴۸,۵۹	۰,۰۰۰
CMT۱Y	HGA -- BGA	۸,۷۱۷	۱۰,۱۴۹	۲۵,۸۶	۰,۰۰۰
	HGA—SA	۱۱,۴۲۶	۱۲,۷۷۲	۳۵,۳۰	۰,۰۰۰
CMT۲Y	HGA -- BGA	۱,۵۵۶۶	۱,۶۴۴۲	۷۱,۸۲	۰,۰۰۰
	HGA—SA	۰,۹۲۹۹	۰,۹۹۴۲	۵۸,۸۰	۰,۰۰۰
CMT۳Y	HGA -- BGA	۳,۰۸۲	۳,۱۲۹	۲۶۱,۱۸	۰,۰۰۰
	HGA—SA	۸,۷۸۷۹	۸,۸۲۹۸	۸۲۸,۷۱	۰,۰۰۰
CMT۱Q	HGA -- BGA	۳,۸۶۴۷	۳,۹۰۶۹	۳۶۲,۱۳	۰,۰۰۰
	HGA—SA	۴,۵۶۲۰	۴,۶۲۲۳	۲۹۸,۹۶	۰,۰۰۰
CMT۲Q	HGA -- BGA	۰,۶۰۷۱	۰,۶۶۴۲	۴۳,۷۶	۰,۰۰۰
	HGA—SA	۳,۴۳۱۱	۳,۴۸۹	۲۳۴,۸۷	۰,۰۰۰
CMT۳Q	HGA -- BGA	۲,۶۵۳۳	۲,۶۹۳۲	۲۶۲,۸۲	۰,۰۰۰
	HGA—SA	۴,۱۹۰۲	۴,۲۴۶۵	۲۹۴,۱۷	۰,۰۰۰
CMT۱H	HGA -- BGA	۷,۵۰۲	۹,۶۳۵	۳۶,۲۴	۰,۰۰۰
	HGA—SA	۱۲,۰۴۱	۱۳,۱۲۰	۴۰,۵۲۶	۰,۰۰۰
CMT۲H	HGA -- BGA	۰,۹۶۲۵	۱,۰۳۶	۴۷,۳۶	۰,۰۰۰
	HGA—SA	۴,۳۳۱۱	۴,۸۹۷	۲۵۳,۸۷	۰,۰۰۰
CMT۳H	HGA -- BGA	۳,۹۵۸	۴,۹۲۶	۳۶۵,۱۲	۰,۰۰۰
	HGA—SA	۵,۷۶۲۰	۶,۶۵۲	۳۰۰,۹۶	۰,۰۰۰

با توجه به آنکه برای تمامی آزمون‌ها مقدار p-value کمتر از ۰،۰۵ گزارش شده است، فرض صفر مبنی بر عدم وجود تفاوت معنادار میان میانگین جواب‌ها رد خواهد شد. بنابراین می‌توان اطمینان حاصل نمود که الگوریتم پیشنهادی عملکرد بهتری در یافتن جواب‌های باکیفیت داشته است.

۶- خلاصه و نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر، مسائل مربوط به تحویل و برداشت همزمان کالا توجه زیادی را به خود جلب نموده است. این مسائل به دلیل کاربرد وسیع خود در دنیای واقعی و کاهش قابل توجه هزینه‌ها، اهمیت زیادی دارند. عدم آشنایی با چنین سیستمی منجر به افزایش تعداد وسایل نقلیه لازم برای انجام فرآیند سرویس‌دهی، افزایش کل مسافت طی شده در کل دوره برنامه‌ریزی و افزایش کل هزینه‌های حمل و نقل می‌شود. از سوی دیگر می‌توان گفت که نبود مسیرهای بهینه از پیش تعیین شده و عدم تخصیص صحیح مشتریان به وسایل حمل منجر به اختلال در انتخاب مسیرهای توزیع می‌گردد که این امر خود باعث افزایش بار ترافیکی در بعضی مسیرها و کاهش ترافیک در بعضی مسیرهای دیگر می‌شود. در این مطالعه، از یک الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با تحویل و برداشت همزمان استفاده گردید. نتایج حاصل نشان داد که روش پیشنهادی، جواب‌هایی با هزینه‌های کمتر ایجاد کرده است. برنامه نوشته شده در این مطالعه می‌تواند بصورت عملی و کاربردی در مراکز توزیع مربوطه بکار گرفته شود.

۷- مراجع

۱- مسئله مسیریابی وسایل نقلیه همراه با پنجره زمانی، ۱۳۸۶، قصیری، ک.، قنادپور، ف.، انتشارات علمی دانشگاه آزاد قزوین.

2- Computers & Industrial Engineering, 2009, The vehicle routing problem: A taxonomic review, Vol.162, No.1, Elsevier, pp.126-141.

3- Proceedings of the Babson conference on software uses in transportation and logistics management, 1984, Extension of the Clarke and Wright algorithm for solving the vehicle routing problem with backhauling In A. Kidder (Ed.).

4- Transportation Research Part A: General, 1989, The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup points, Vol. 23, No.5, Elsevier, pp.377-386.

5- Technical University of Denmark, Denmark, Institute of Mathematical Statistics and Operations Research, PhD thesis, 1992, Modeling and solving complex vehicle routing problems.

6- Sabanci University, Graduate School of Engineering and Natural Sciences, Master's thesis, 2003, A GA based meta-heuristic for capacitated vehicle routing problem with simultaneous pick-up and deliveries.

7- European Journal of Operational Research , 2005, Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries, Vol. 162, No. 1, Elsevier, pp. 126-141.

8- Journal of the Operational Research Society, 2005, Metaheuristics applied to mixed and simultaneous extensions of vehicle routing problems with backhauls, Vol 56, palgrave macmillan, pp. 1296-1302.

9- Computers & Operations Research, 2007, Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery, Vol 34, No.2, Elsevier, pp. 578-594.

10- Computers & Operations Research, 2009, An ant colony system (ACS) for vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup, Vol 36, No.12, Elsevier, pp.3215-3223.

11- Expert Systems with Applications, 2010, A new saving-based ant algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery, Vol 37, No.10, Elsevier, pp. 6809-6817.

12- Computers and Operations Research, 2010, A parallel heuristic for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery, Vol 37, No.11, Elsevier, pp. 1899-1911.

13- European Journal of Operational Research, 2010, an adaptive methodology for the vehicle routing problem with simultaneous pick-ups and deliveries, Vol 202, No.2, Elsevier, pp.401-411.

17- Complex Systems, 1995, Genetic Algorithms, Tournament Selection, and the Effects of Noise. Vol.9, No.1, Complex Systems Publications, Inc., pp.193-212.

18- Baltic J. Modern Computing, 2013, Genetic algorithms and VRP: the behaviour of a crossover operator, Vol.1, No.3, pp.161-185.

19- International Refereed Journal of Engineering and Science, 2012, Application Of Taguchi Method For Optimization Of Process Parameters In Improving The Surface Roughness Of Lathe Facing Operation, Vol.1, No. 3, pp.13-19.

14- Expert Systems with Applications, 2011, a local search metaheuristic algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-ups and deliveries, Vol 38, No.3, Elsevier, pp.2717-2726.

15- Computers & Industrial Engineering, 2012, a genetic algorithm based approach to vehicle routing problem with simultaneous pick-up and deliveries, Vol 62, No.3, Elsevier, pp. 755-761.

16- European Journal of Operational Research, 2013, Heuristic algorithms for a vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup and time windows in home health care, Vol 230, No.3, Elsevier, pp. 475-486.

The Application of a Hybrid Genetic Algorithm in distribution of goods with simultaneous pickup and delivery

Vahid Baradaran1, Amir Hossein Hosseinian2, Reza Derakhshani3, Amir Golabzaei4

1-Assistant Professor, Industrial Engineering Dep., Islamic Azad University Tehran North Branch
2-Ph.D Student, Industrial Engineering Dep., Islamic Azad University Tehran North Branch
3-Ph.D Student, Industrial Engineering Dep., Islamic Azad University Tehran North Branch
4-Ph.D Student, Industrial Engineering Dep., Islamic Azad University Tehran North Branch

Abstract

Nowadays, a large volume of daily traffic is caused by vehicles of distribution centers which are delivering the commodities to the customers. The important point is that some customers, in addition to the delivered goods, have an amount of commodities that has to be collected. However, many distribution centers use separate batches of vehicles to pickup and deliver goods. This leads to increasing transportation costs as well as daily traffic. Therefore, a model is needed to organize the distribution routes with the minimum total costs and number of vehicles. In this study, we've used VRPSPD model to minimize total costs of transportation and to obtain the optimal routes. We have presented a new hybrid meta heuristic algorithm to solve the model. The proposed method consists of genetic algorithm and Nearest Neighborhood Heuristic (NNH). The initial population is generated with the help of NNH method. Thereafter, the genetic algorithm is used to continue the solving procedure. Ultimately, several standard numerical test instances have been solved to evaluate the performance of the proposed method comparing to classical genetic algorithm and Simulated Annealing method. As a result, the proposed algorithm outperformed the other two methods.

Keyword: Vehicle Routing Problem, Optimization, Meta heuristics, Transportation Planning