Archive of SID

بهبود وضعیت ترافیک، با افزایش عملکرد خدمات حمل ونقل

کیوان شاهقلیان [۱]
علیرضا شهرکی [۲]
مصطفی حسین‌زاده سلجوقی [۳]

تاریخ دریافت : ۱۳۸۹/۰۸/۲۸
تاریخ پذیرش : ۱۳۸۹/۱۱/۰۵

چکیده

جایگاه مهم حمل ونقل در جابه‌جایی، توزیع، و مبادلات رو به افزایش مربوط به فعالیت‌های مختلف مشخص است و سبب می‌شود تا سهم بیشتر رفت و آمد در معابر را به خود اختصاص دهد. این نیاز منجر به شکل‌گیری مؤسساتی تخصصی در این زمینه شده که امکان ساماندهی فعالیت‌های پراکنده را فراهم می‌کند. پژوهش حاضر، روشی برای مسیریابی وسایل به شکل بهینه ارائه می‌کند تا از طریق افزایش عملکرد این‌گونه مؤسسات خدماتی در بخش حمل ونقل، به بهبود وضعیت ترافیک، منجر می‌شود. تسهیل شرایط مربوط به مسیرهای اولیه، و پیاده‌سازی ضوابط در ضمن مراحل مرتبط با یکدیگر، مشخصه‌های عمده روش می‌باشند. برای بررسی عملکرد روش در این زمینه، به جای یک مورد، از چندین مورد مطالعاتی، به شکل مسائلی آزمایشی که توسط پژوهش‌گران، و بعضاً با نمونه‌برداری از موارد واقعی ارائه شده‌اند، استفاده می‌شود. نزدیک‌بودن نتایج حاصل از روش به مقادیر بهینه و بهبود وضع ترافیک حاصل از بهینه‌شدن مسیر و وسایل، نشان‌دهنده عملکرد و کارآیی قابل قبول روش است.

کلیدواژه‌ها: *بهبود وضع ترافیک، مسیریابی وسایل نقلیه، مراحل مرتبط، بهینه‌سازی وسایل، افزایش عملکرد*

۱ استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زاهدان
۲ استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان
۳ کارشناسی ارشد صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زاهدان، hossenzad@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

افزایش توزیع و جابه‌جایی کالا، خدمات و افراد، در اثر میزان بالای تولید، افزایش مصرف و جمعیت؛ سبب بروز مسائلی چون ترافیک و مشکلات مربوط به آن شده است. مؤسسات خدماتی موجود حمل ونقل جهت پاسخ‌گوئی به این نیاز رو به رشد و با هدف جلب رضایت مشتریان، تعداد وسایل نقلیه و همچنین دفعات سرویس‌دهی به ازای اضافه‌شدن متقاضیان را افزایش می‌دهند، که این خود وضعیت را پیچیده‌تر می‌سازد و مشکلات تازه‌ای ایجاد می‌کند. اما باید توجه داشت که این موضوع اساساً به‌خاطر مشکل‌زا بودن این بنگاه‌ها نیست، بلکه بیشتر به‌دلیل عدم برنامه‌ریزی مناسب و رویکردی جست‌وجوگرانه در این زمینه بوده و بنابراین قابل رفع است. حمل ونقل‌های پراکنده توسط افراد و سایر مراکز به‌دلیل تعدّد و نبود هماهنگی بین آنها کمتر قابل شکل‌دهی است، در حالی‌که مؤسسات خدماتی حمل ونقل، در همان ابتدا، به‌دلیل متمرکزکردن این درخواست‌ها از بی‌نظمی حاصل از مجزابودن آنها می‌کاهند و همچنین به سبب گردآوری آنها در قالب یک مرکز، قابلیت لازم برای افزایش عملکرد را نیز فراهم می‌کنند. این هر دو عامل، یعنی کاهش بی‌نظمی و افزایش عملکرد، تأثیر به‌سزایی در بهبود وضعیت ترافیک و آثار آن خواهند داشت. معمولاً خدمات ارائه‌شده توسط مجموعه‌ای از وسایل که در یک یا چند ایستگاه مرکزی قرار دارند، انجام می‌شود. بهبود عملکرد، از طریق تعیین مجموعه مسیرهایی است که به‌وسیله حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه[1] صورت می‌گیرد. در هر مسیر، یکی از وسایل نقلیه از مبدأ یا محل استقرار وسایل، حرکت را آغاز کرده و پس از برآوردن نیازهای همه یا حداکثر مشتریان، ضمن ارضای قیود یا ضوابط عملیاتی به مبدأ برمی‌گردد، به ترتیبی‌که هزینه یا طول مسیر کل و یا تعداد وسایل لازم بهبود یابد (که درمواردی بین ۵ تا ۲۰ درصد بوده است)(تات و ویگو، ۲۰۰۲).

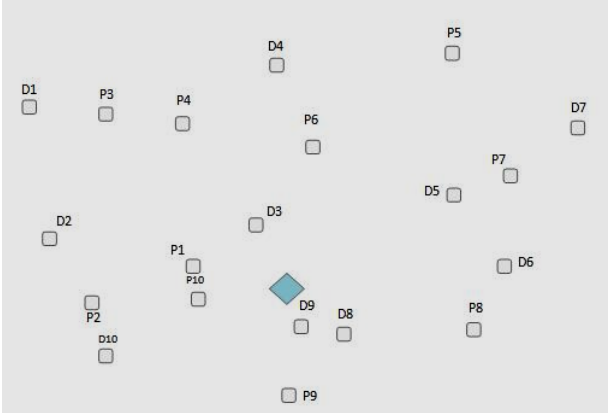
درخواست‌های حمل و نقل و تأثیر آن بر ترافیک می‌تواند اشکال متفاوتی داشته باشد. شکل ساده و اصلی آن فقط شامل جمع‌آوری یا تحویل کالا به مشتریان است. اما اگر بتوان، سرویس‌های مربوط به برداشت و همچنین تحویل را در قالب یک مسیر به انجام رساند، صرفه‌جویی‌های عمده‌ای در مسیر و تعداد تردّدها صورت می‌گیرد.

1 Vehicle routing problem (VRP)

www.SID.ir

Archive of SID

برای مثال، مؤسسه‌ای ابتدا متقاضی بارگیری و رساندن محصولات خود به مشتریان است، سپس درخواست حمل مواد اولیه موردنیاز خود را دارد که تحت عنوان مسیریابی وسایل نقلیه با حمل در بازگشت[1] شناخته می‌شود یا آن‌که سرویس مربوطه می تواند کالاهایی (مانند بطری‌ها) را به نقاط موردنظر برساند، و درعین‌حال جمع‌آوری اقلامی (مانند بطری‌های خالی برای بازیافت) را نیز از همان نقاط انجام دهد، عملی که برداشت و تحویل هم‌زمان[2] نامیده می‌شود. این‌کار در مواردی که مسیرهای ارتباطی به شکل یک‌طرفه یا بزرگراه باشند، ترافیک مربوط به انجام خدمات را به میزان زیادی تقلیل می‌دهد. در مواردی مشتریانی فقط درخواست دریافت یک کالا و مشتریان دیگر تقاضای حمل و ارسال همان کالا را دارند. درصورتی‌که ظرفیت وسیله نقلیه اجازه دهد، همه این موارد را می‌توان در یک سرویس و به‌صورت مسئله برداشت و تحویل[3] و با کمترین تردد و تعداد وسایل برنامه‌ریزی نمود. یکی از موارد بسیار پرکاربرد، به تقاضای دریافت کالایی از یک نقطه و رساندن آن به نقطه‌ای دیگر است. در این صورت کالاها ممکن است متفاوت هم باشند. این حالت که باید با رعایت قید اولویت انجام شود، مسیریابی با برداشت و تحویل[4] نامیده می‌شود. (مطابق شکل یک کالای برداشتی از P_i باید به D_i تحویل داده شود).



شکل یک: مجموعه سفارش‌ها و موقعیت ایستگاه مرکزی
P نقاط برداشت و D نقاط تحویل می باشند.
کالای برداشتی از P_i باید به D_i تحویل داده شود.

1 Vehicle routing problem with backhaul
2 Vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery
3 Pickup and delivery vehicle routing problem
4 Vehicle routing problem with pickup and delivery

www.SID.ir

Archive of SID

هر درخواستی مربوط به یک برداشت و تحویل است و بنابراین میزان تردد بسیار بالا است. هنگامی‌که راه‌های ارتباطی متعددی بین نقاط مختلف وجود داشته باشد می‌توان به جست‌وجوی راه حل‌هایی پرداخت که بار ترافیکی را به میزان زیادی کاهش می‌دهد. همچنین می‌توان وسایل نقلیه را مقید کرد، تا (برای رفاه حال مشتریان، افراد یا مسافران)، زودتر از یک زمان معین[1] ودیرتر از یک زمان معین[2] در محل حاضر نشود و زمان مشخصی را نیز به تخلیه یا بارگیری اختصاص دهد. این‌کار به‌منظور ممانعت از توقف‌های غیرضروری منجر به ازدحام در معابر، و سرعت تردّد بالا به‌منظور جبران تأخیرها، بسیار مؤثر است. به‌منظور کاهش بار ترافیکی در نقاط و زمان‌های مخصوص، می‌توان هر درخواست را در مواقع مناسب (یا محدوده پنجره زمانی) به انجام رساند که این موضوع به‌صورت برداشت و تحویل با پنجره زمانی[3] مطرح می‌شود. اهمیت این مورد به‌لحاظ مواجهه زیاد با آن و تأثیر زیادی که بر کاهش ترافیک دارد، عامل بررسی آن در این پژوهش بوده است. پنجره‌های زمانی می‌توانند نرم یا سخت درنظر گرفته شوند که در مورد اول بازه‌های زمانی قابل تغییر بوده و البته این انعطاف در عمل نیز رایج‌تر است.

این مسائل ازنوع NP-hard[4] هستند. لذا برای یافتن جواب در یک بازه زمانی مناسب، به‌جای روش‌های معمول، از بهینه‌سازی ترکیبی استفاده می‌شود. عمده آنها شامل روش‌های: دقیق[5]، ابتکاری[6]، و فراابتکاری[7] می‌باشند (شکل دو نمونه حل برای شکل یک را نشان می‌دهد که در هر مسیر، کالاهای برداشتی از چند نقطه برداشت و در طی مسیر به چند نقطه مرتبط تحویل داده می‌شوند).

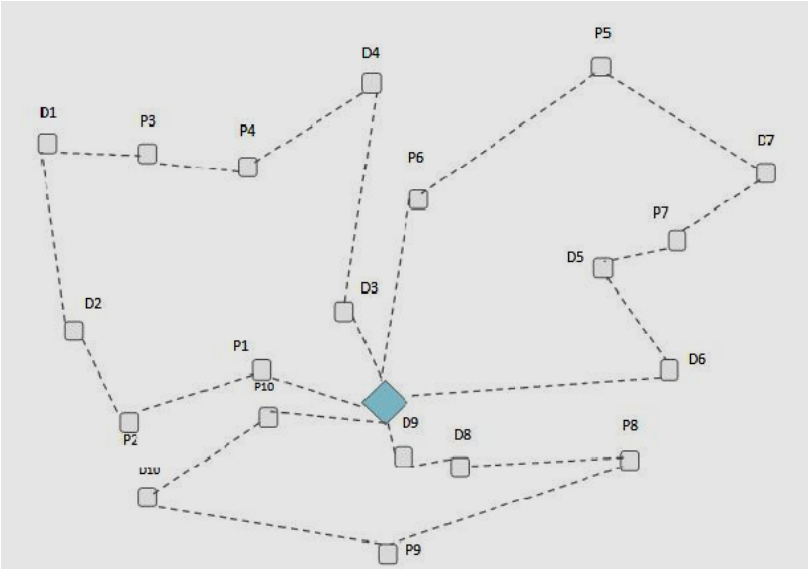
روش حل این مسائل از جنبه دیگری نیز قابل بررسی است. بدین ترتیب که در ابتدا مسیری شامل همه درخواست‌ها شکل گرفته و سپس زیرمسیرهای فرعی از آن منتج شوند، یا آنکه ابتدا همه تقاضاها دسته‌بندی و سپس مسیر بهینه برای هر دسته

1 Earliest time
2 Latest time
3 Vehicle routing problem with pick up and delivery and time windows
4 Non-polynomial hard
5 Exact method
6 Heuristic
7 Met heuristic

www.SID.ir

Archive of SID

مشخص شود. که شیوه اخیر، در کنار ارائه روشی فرا ابتکاری برای آن در این پژوهش به‌کار می‌رود.



شکل دو: یک جواب ممکن، جهت مسیریابی نمونه سفارش‌های ارائه شده در شکل یک.

مروری بر مطالعات انجام شده

این دسته از مسائل در واقع تعمیمی از مسئله شناخته‌شده فروشنده سیار[1] (TSP) است. اما لاکین (۱۹۷۸) نخستین کسی بود که واردکردن قیود اولویت لازم برای فرمول‌بندی مسئله برداشت و تحویل را درTSP مرسوم مورد بحث قرار داد. همچنین تلاش اولیه برای تعمیم مسئله به شکل یک نمادگذاری یکسان در کار ساولبرگ و سول (۱۹۹۵) پیشنهاد شد و همه نسخه‌های ممکن از PDP[2] شامل مسئله DARP[3] را نیز پوشش می‌داد. البته دسروچرز و همکارانش (۱۹۸۸) مسائل مسیریابی وسائل نقلیه که PDP را نیز شامل می شد به انجام رساندند. بررسی PDP با پنجره‌های زمانی توسط میتروریک و مینیک (۱۹۹۸) صورت گرفت. کردئو و همکارانش حمل ونقل پاسخگو به تقاضا را مرور نمودند که هم PDP و هم DARP را پوشش می‌داد.

1 Travelling salesman problem
2 Pick up and delivery problem
3 Dial-A-Ride problem

www.SID.ir

Archive of SID

در زمینه روش‌های دقیق ارائه‌شده رولاند و رودین (۱۹۹۷)، یک الگوریتم شاخه وبرش برای برداشت و تحویل تک‌وسیله مطرح کردند. ازلحاظ تاریخی نخستین روش حل دقیق قابل اعمال هم برای تک‌وسیله و هم چندوسیله‌ای به کار کلانتری(۱۹۸۵) برمی‌گردد که الگوریتم شاخه وبرش مطرح‌شده در آن تعمیمی از مورد توسعه‌یافته توسط لیتل و همکارانش (۱۹۶۳) است. دوماس و همکارانش (۱۹۹۱) یک شیوه تولید ستونی را برای مسئله‌ای با وسیله‌های غیرهمسان، پنجره‌های زمانی و چندین ایستگاه مرکزی، به‌کار بردند. یک الگوریتم شاخه و هزینه‌یابی به همراه نامساوی‌های معتبر اضافی توسط کردئو و راپکه (۲۰۰۶) مطرح شد. همچنین یک الگوریتم شاخه وبرش که از دو فرمول‌بندی دواندیسی متفاوت برای مسئله دارای پنجره زمانی ناشی شده، در کار راپکه و همکارانش (۲۰۰۷) مطالعه شده است.

روش‌های ابتکاری برای مسئله برداشت و تحویل نخستین بار دردهه ۱۹۸۰م پیشنهاد شدند. حل مسئله از نوع تک‌وسیله توسط سکستون و چوی (۱۹۸۶) با استفاده از فرایند تجزیه بِندر[1] و همچنین توسط وَندر بروگِن و همکاران (۱۹۹۳) و ریناود و همکاران (۱۹۹۶و ۲۰۰۰) با یک الگوریتم ساخت-بهبود مورد بحث قرار گرفت. آنها همچنین (ریناود و همکاران، ۲۰۰۰) هفت روش بی‌نظمی ابتکاری جهت رسیدن به جوابی نزدیک به بهینه، برای این مسئله ارائه نمودند. در زمینه مسائلی از نوع چندوسیله‌ای زو و همکارانش (۲۰۰۳) یک الگوریتم ابتکاری مبتنی بر تولید ستونی ارائه دادند. لو و دسوکی (۲۰۰۶) به دقت برروی یک روش ابتکاری ساخت کار کردند که علاوه بر معیار ارزیابی فاصله، پنجره‌های زمانی را نیز دخالت می‌داد. لین (۲۰۰۸) روشی ابتکاری برای استفاده چندگانه از وسایل نقلیه به‌منظور صرفه‌جویی بیشتر در هزینه‌ها ارائه داد.

در دهه اخیر روش‌های فراابتکاری به‌دلیل مقادیر بهینه بهتر مورد توجه بیشتری قرار گرفتند. تعمیمی از مسئله تک‌وسیله با یک جست‌وجوی همسایگی متغیر توسط کارابز و همکارانش (۲۰۰۷) مورد بحث قرار گرفت. در مسئله مربوطه، بارگیری از عقب با یک قید بیشتر در نظر گرفته شده و اقلام باید به‌صورت LIFO [2] تحویل داده

1. Bender
2. Latest input final output

www.SID.ir

Archive of SID

شوند. کارگذاری روش ممنوع[1] (TS) در بازپخت شبیه‌سازی‌شده[2] (SA)، شیوه‌ای است که لی و لیم (۲۰۰۱) برای مسئله‌ای با چند وسیله گسترش دادند که مبتنی بر انتقال، مبادله و مرتب‌سازی دوباره بود. پانکراتز(۲۰۰۵) یک الگوریتم ژنتیک[3] (GA) گروه‌بندی برای مسئله پیشنهاد داد و به‌دلیل استفاده از کدگذاری ژنتیک منظم، متفاوت از روش‌های ژنتیک مرسوم بود. یک الگوریتم جست‌وجوی همسایگی وسیع تطابقی[4] برای مسئله دارای پنجره زمانی توسط راپکه و پیسینگر (۲۰۰۶a) ارائه شد که ایستگاه‌های مرکزی چندگانه و زمان سرویس را لحاظ می‌نمود. آنها همچنین انواع VRP و VRPB را نیز با تبدیل به یک مسئله برداشت و تحویل غنی حل نمودند (راپکه و پیسینگر، ۲۰۰۶b). دریگس و دوهمر (۲۰۰۸) نیز جستجوی تکاملی[5] (EA) محلی غیرمستقیم را برای مسئله مشابهی به‌کار بردند. در کارهای اخیر علاوه بر بهینه‌سازی مسیر و هزینه، ابعاد کالاها و اقلام و نحوه بارگیری آنها نیز مورد توجه قرار گرفته است. چنان‌که فوالرر و همکارانش (۲۰۰۹) در این زمینه، یک روش ACO[6] مبتنی بر صرفه‌جویی ارائه دادند.

تعاریف و نمادگذاری

تقاضاهای حمل و نقلی که به مؤسسات ارجاع داده می‌شود در کنار امکانات و وسایلی که در اختیار دارند ضوابطی را ایجاد می‌کند که لازم است در فرمول‌بندی و مدل مسئله و از طریق نمادگذاری مناسب مورد ملاحظه قرار گیرد.

الف- ضوابط و اهداف

مواردی‌که با توجه به نوع خدمات در مدل این مسئله رعایت می‌شوند، از این قرار است:

۱- هر درخواستی یک‌بار و فقط توسط یک وسیله انجام می‌شود؛

۲- هر وسیله از ایستگاه مرکزی شروع نموده و به آن باز می‌گردد؛

1 Tabu search
2 Simulated annealing
3 Genetic algorithm
4 Adaptive large neighborhood search
5 Evolution algorithm (search)
6 Ant colony optimization

www.SID.ir

Archive of SID

۳- در طول مسیر میزان بارگیری نباید از ظرفیت وسیله فراتر رود؛

۴- تقاضای برداشت در هر سفارش قبل از تحویل صورت می‌گیرد؛

۵- پنجره‌های زمانی درانجام سفارش‌ها رعایت می‌شوند؛

۶- مدت زمان هر جابه‌جایی و کل سفر از حد مشخصی بیشتر نمی‌شود.

ب- تعریف و نمادها

مسائل مسیریابی با شرایط گفته‌شده برروی یک گراف کامل $G=(V,A)$ مدل می‌شوند که V مجموعه همه رئوس یا نقاط تقاضا و مبدأ بوده و A مجموعه کمان‌ها (یا مسیرهای موجود بین رئوس) است. نمادهای به‌کاررفته به شرح زیر هستند:

n : تعداد سفارش‌ها

P : مجموعه رئوس برداشت، $P=\{1,\ldots,n\}$

D : مجموعه رئوس تحویل، $D=\{n+1,\ldots,2n\}$

K : مجموعه وسایل حمل ونقل

q_i : میزان کالای برداشتی یا تحویلی در رأس i

e_i : زودترین زمان شروع سرویس در رأس i

l_i : دیرترین زمان شروع سرویس در رأسi

d_i : مدت سرویس در رأس i

L_i : بیشترین زمان طی مسیرکاربر i

C^k_{ij}: هزینه پیمودن کمان یا یال (i,j) با وسیله k

t^k_{ij}: زمان سفر از i به رأس j با وسیله k

C^k : ظرفیت وسیله k

T^k : بیشترین بازه زمانی مربوط به مسیر یا وسیله k

Q_{ik}: بار وسیله k هنگام ترک رأس i

B_{ki}: شروع سرویس وسیله k در رأس i

اگر مسیرهای بین نقاط از نوع یک‌طرفه باشند، $t^k_{ij} \neq t^k_{ji}$ و $C^k_{ij} \neq C^k_{ji}$ اما درصورتی‌که مسیرها دوطرفه بوده و به عبارتی امکان رفت و آمد بین نقاط i وj از یک

www.SID.ir

Archive of SID

مسیر امکان‌پذیر باشد، $t^k_{ij}= t^k_{ji}$ و $C^k_{ij}= C^k_{ji}$ و بنابراین تعداد کمان‌ها یا مسیرهای لازم تعدیل می‌شوند. چون جابه‌جایی بین نقاطی متفاوت انجام می‌شود، $i\neq j$ می‌باشد. جواب مسئله شامل تعیین متغیرهای تصمیمی بدین صورت است:

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{اگر کمان } (i,j) \text{ توسط وسیله } k \text{ پیموده شود،} \\ 0 & \text{در غیر این‌صورت،} \end{cases}$$

فرمول‌بندی مسئله

در اینجا، فرمول‌بندی مسئله مسیریابی وسیله نقلیه سه‌اندیسی انطباق‌یافته با مورد پیشنهادی کردئو و همکارانش (تات و ویگو، ۲۰۰۲) به‌کار گرفته می‌شود. این مدل و تشریح آن بدین صورت است:

$$\min \quad \sum_{k\in K}\sum_{(i,j)\in A} C_{ij}^k x_{ij}^k \qquad (۱)$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{j\in(i,j)\in A} x_{ij}^k = 1 \qquad \forall i \in P \cup D \qquad (۲)$$

$$\sum_{j:(0,j)\in A} x_{0j}^k = 1 \qquad \forall k \in K \qquad (۳)$$

$$\sum_{i\in(i,2n+1)\in A} x_{i,2n+1}^k = 1 \qquad \forall k \in K \qquad (۴)$$

$$\sum_{i:(i,j)\in A} x_{ij}^k - \sum_{i:(i,j)\in A} x_{ji}^k = 0 \qquad \forall j \in P \cup D, k \in K \qquad (۵)$$

$$x_{ij}^k = 1 \Rightarrow B_j^k \geq B_i^k + d_i + t_{ij}^k \qquad \forall (i,j) \in A, k \in K \qquad (۶)$$

$$x_{ij}^k = 1 \Rightarrow Q_j^k \geq Q_i^k + q_j \qquad \forall (i,j) \in A, k \in K \qquad (۷)$$

$$\max\{0, q_i\} \leq Q_i^k \leq \min\{C^k, C^k + q_i\} \qquad \forall i \in V, k \in K \qquad (۸)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \qquad \forall (i,j) \in A, k \in K \qquad (۹)$$

$$\sum_{j:(i,j)\in A} x_{ij}^k - \sum_{i:(n+i,j)\in A} x_{n+i,j}^k = 0 \qquad \forall i \in P, k \in K \qquad (۱۰)$$

$$B_i^k \leq B_{n+i}^k \qquad \forall i \in V, k \in K \qquad (۱۱)$$

$$B_{n+i}^k - (B_i^k + d_i) \leq L_i \qquad \forall i \in P, k \in K \qquad (۱۲)$$

$$e_i \leq B_i^k \leq L_i \qquad \forall i \in V, k \in K \qquad (۱۳)$$

$$B_{2n+1}^k - B_0 \leq T^k \qquad \forall k \in K \qquad (۱۴)$$

www.SID.ir

Archive of SID

تابع هدف به شکل هزینه یا طول کل مسیرهاست، که در طی حل کمینه‌شده و به شکل رابطه (۱) است. قیود (۲) نشان می‌دهد که هر رأسی باید فقط یک‌بار سرویس‌دهی شود. قیود (۳) و (۴) تضمین می‌کنند که هر وسیله‌ای باید از ایستگاه مرکزی شروع کرده و در پایان مسیر به آن برگردد. قیود (۵) تضمین می‌کنند که پیوستگی مسیر حفظ شود. برای حذف گردش‌های داخلی (زیرتورها) قیود (۶) اضافه می‌شود. این‌که بار وسیله از ظرفیت آن بیشتر نشود توسط قیود (۷) و (۸) رعایت می‌شود. رابطه (۹) مقادیر ممکن متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهد. این‌که هر درخواستی از مبدأ تا مقصد توسط یک وسیله انجام شود در رابطه (۱۰) و این‌که تحویل باید پس از برداشت انجام شود در رابطه (۱۱) آمده است. از آنجا که زمان انجام هر تقاضایی مشخص است، رابطه (۱۲) بدین منظور اضافه شده است. قیود (۱۳) پنجره‌های زمانی را معین می‌کنند. بیشترین زمان سفر برای هر وسیله در طول مسیر مربوط توسط (۱۴) در نظر گرفته شده است.

روش پیشنهادی

ساخت یک جواب‌شدنی اولیه و سپس انجام مراحل بهینه‌سازی به‌منظور تعیین تعداد وسایل موردنیاز و طول مسیرها، شیوه‌ای است که در اکثر روش‌ها به‌کار گرفته می‌شود. در این پژوهش، این مراحل چندان از هم مجزا نبوده و با هماهنگی هم صورت می‌گیرند که در ادامه تشریح می‌شود.

الف- تشکیل مسیرها

در اینجا ابتدا درخواست‌ها یا مشتریان به‌طورموقتی به یک مسیر اختصاص یافته و با رعایت اولویت و توجه به هزینه و زمان بهتر، جایابی و مرتب می‌شوند. این مسئله سبب

$$CR = \sum_{i=1}^{n} (C_{0i} + C_{i,i+n} + C_{i+n,0}) \qquad (۱۵)$$

می‌شود سرعت کار نسبت به سایر روش‌ها افزایش یابد، اما جواب‌های حاصل لزوماً شدنی نباشند. ابتدا یک ظرفیت مسیرکل CR بدین صورت در نظر گرفته می‌شود:

www.SID.ir

Archive of SID

بدین ترتیب مجموع مسیرهای لازم برای خدمات‌رسانی به هر تقاضا به‌طور مستقل تعیین می‌شود. سپس ظرفیت مجاز هر مسیر، cr_k از این رابطه به‌دست می‌آید:

که درآن K، تعداد وسایل بوده و باتوجه به مسیرهای لازم یا وسایل قابل دسترس

$$cr_k = CR / K \qquad (۱۶)$$

تعیین می‌شود. در صورتی‌که بازه‌های زمانی یا مسافتی مجاز (L_i) برای وسایل درنظر گرفته شده باشد، تعداد وسایل را می‌توان با توجه به این مقدار و همچنین ظرفیت مسیر کل CR تعیین کرد. این کار به ایجاد تعادل در مسیرها و رعایت زمان کاری وسایل کمک می‌کند. در صورت رعایت‌نشدن زمان‌بندی در انجام تقاضاهای هر مسیر، جریمه‌ای متناسب با آن درنظر گرفته می‌شود. در مراحل بعد این جریمه به حداقل رسیده و تعداد وسایل نیز بهینه می‌شوند. مراحل مربوط به ایجاد مسیرها در جدول یک ارائه گردیده است.

جدول یک: مراحل ایجاد مسیرهای اولیه بین مجموعه درخواست‌ها

مراحل	عملیات
۱:	تعیین مجموعه درخواست‌های لازم (یا باقیمانده)، R
۲:	قراردادن درخواستی با بیشترین هزینه اولیه درمسیرkام، S_k
۳:	استفاده از مسیر کمکی S' برابر با S_k
۴:	رفتن به مرحله۹، اگر ظرفیت مسیر، بیش ازظرفیت مجاز است.
۵:	یافتن درخواستی که درکنارسایر اعضاء S' شرایط بهتری دارد.
۶:	قراردادن درخواست مربوطه در S'، و حذف آن از مجموعه R.
۷:	برابر قراردادن S_k با S'.
۸:	بازگشت به مرحله ۴.
۹:	درصورت نیاز و تهی نبودن R افزودنK و رفتن به مرحله۲

در این الگوریتم و دیگر موارد به‌دنبال‌آمده، k شماره مسیر، R مجموعه تقاضاهای موردنظر جهت تخصیص، S' مجموعه جوابی کمکی تا رسیدن به مجموعه جواب اصلی یعنی S_k مربوط به مسیر kام می‌باشد. در قسمت‌های بعد مراحل۳ تا ۸ از الگوریتم، تحت عنوان «تخصیص بهینه» و مراحل ۲ تا ۹، تحت عنوان «بازسازی مسیر» و در واقع به شکل مراحلی مرتبط با یکدیگر در تعیین مسیرها به‌کار می‌روند.

www.SID.ir

Archive of SID

ب- بهینه سازی جواب‌ها

به‌منظور آن‌که هزینه یا مسافت مربوط به هر مسیر بهینه شود، و وضعیت شدنی‌بودن نیز حفظ‌شده یا بهبود یابد، یک بهینه‌سازی چندمنظوره صورت می‌پذیرد. بنابراین درهر یک از مراحل مرتبط، هم تغییرات مسافت کل و هم کاهش جریمه‌های تعلق گرفته مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱- بهینه‌سازی اولیه

در این مرحله وضعیت هر یک ازمسیرها تحت بررسی و بهبود ممکن قرار می‌گیرد. بنابراین تمام نقاط مسیر مجدداً و با رعایت قیود اولویت، جاگذاری و مرتب می‌شوند به ترتیبی‌که تا جای ممکن طول مسیر و جریمه‌ها وضعیت مناسب‌تری پیدا کنند. روند مربوطه در جدول دو ارائه شده است.

جدول دو: الگوریتم بهینه‌سازی اولیه

مرحله ۱: قرار دادن مرتب همه تقاضاهای مسیرKام درR.
" ۲: در نظر گرفتن مسیر کمکی و تهی 'S .
" ۳: «تخصیص بهینه»*
" ۴: برابر قرار دادن S_k با 'S.

*به قسمت تشکیل مسیرها مراجعه شود

این‌کار، برای همه مسیرها و تا رسیدن یه یک بهینه نسبی تکرار می‌شود (شکل سه.الف).

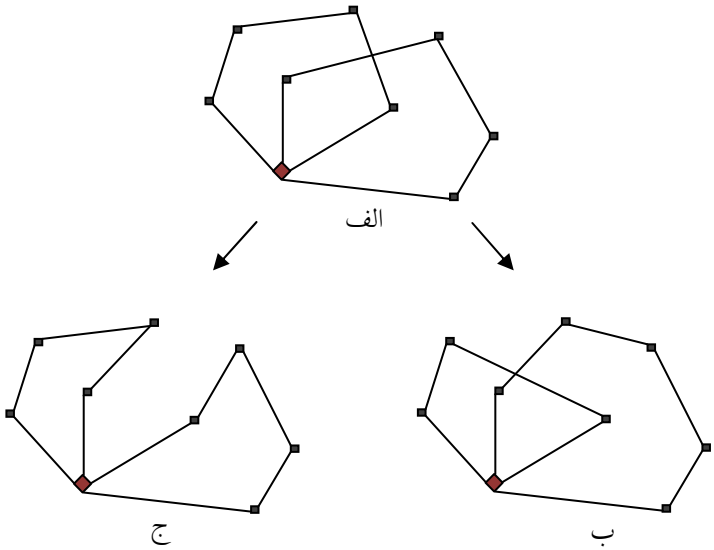
۲- اصلاح و بهینه‌سازی مسیرها

از آنجاکه درخواست‌های اختصاص داده‌شده به یک مسیر، در صورت قرارگرفتن در مسیرترافیکی دیگر، ممکن است منجر به بهبود مسافت یا زمان‌بندی شوند، در این مرحله دو نوع بهینه‌سازی به شکل متوالی انجام می‌شود. در حالت اول، درخواستی از یک مسیر با درخواستی از مسیری دیگر در نواحی مشخص مبادله می‌شود، شکل(۵.ج).

www.SID.ir

Archive of SID

این‌کار، با کنار هم قراردادن درخواست‌های متناسب، ضمن ایجاد بهبود، در جهت شدنی‌بودن مسیر نیز پیش می‌رود.



شکل سه: (الف) بهینه اولیه، (ب) واگذاری، (ج) مبادله

در حالت بعدی انجام درخواست قرارگرفته در مسیر یک وسیله به مسیر تردّدی وسیله دیگر واگذار شده و در صورت ایجاد بهبود بدان افزوده می‌شود، (شکل سه.ب). اهمیت این کار در ایجاد حالت تراز و متعادل‌سازی مسیرهاست. و البته نتیجه مهم‌تر، حذف مسیرهای اضافی و بهینه‌سازی در تعداد وسایل به‌کارگرفته شده است. در نتیجه عملکرد به میزان زیادی افزایش یافته و این به معنای کاهش میزان تردّد است.

۳- بررسی بهینگی

علت انتخاب یک نقطه به عنوان بهینه، وضعیت بهتر آن نسبت به نقاط نزدیک مجاور است. بنابراین در مورد اکثر روش‌های بهینه‌سازی(به‌خصوص ابتکاری) امکان توقف در یک بهینه نسبی وجود دارد. در این وضعیت، روش‌های فراابتکاری به‌دنبال امکان بهبود بیشتر شیوه‌های مختلفی در پیش می‌گیرند.

الگوریتم به نمایش درآمده در جدول سه، شیوه‌ای‌است که در اینجا به‌کاررفته است.

www.SID.ir

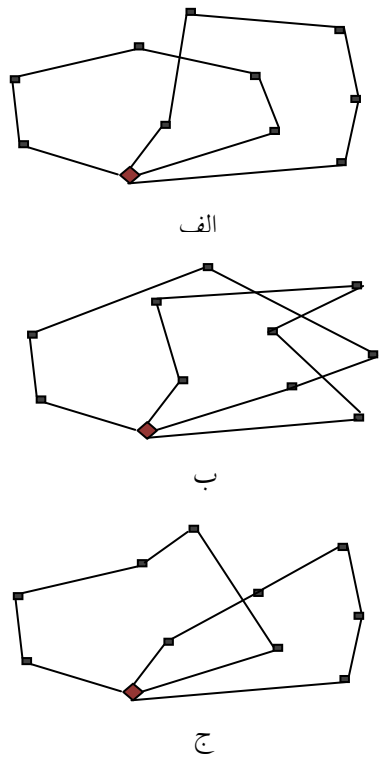
Archive of SID

جدول سه: روند بازسازی مسیرها

مرحله۱: قرار دادن K انتخاب ترتیبی ازمسیرها در R *
" ۲: «بازسازی مسیر»**
" ۳: بازگشت به مرحله۱ به تعداد مسیرها

* K در اینجا کوچکتر یا مساوی تعداد مسیرها است.
**به قسمت تشکیل مسیر مراجعه شود.

بدین ترتیب که تعدادی از جواب‌های بهینه تا این مرحله، به ترتیب انتخاب و ترکیب می‌شوند (شکل چهار. الف).



شکل چهار: (الف) بهینه، (ب) بازسازی، (ج) بهینه سازی مجدد

باید توجه داشت بی‌نظمی نسبی که از این کار ایجاد می‌شود، تماماً تصادفی نیست بلکه تحت شرایطی صورت می‌گیرد تا روند همگرایی به سمت جوابی قابل قبول باشد. سپس

www.SID.ir

Archive of SID

یک بازسازی مسیر جدید، با درنظرداشتن قیود اولویت، زمان و مسافت، انجام شده (شکل چهار. ب) و مرحله بهینه‌سازی، مجدداً و تا تشکیل مسیرهای جدید در مورد آنها به اجرا درمی‌آید (شکل چهار. ج).

البته این امکان وجود دارد که در مواردی، جواب تغییر چندانی نکند، اما نتایج اجرای آن در اکثر موارد چنان‌که در قسمت‌های بعد ارائه‌شده باعث افزایش بهینگی مسیرهاست.

عملکرد روش

هر یک از بخش‌های خدمات مربوط به بنگاه‌ها، و یا مؤسساتی که به شکل تخصصی در زمینه حمل و نقل کالا یا افراد فعالیت می‌نمایند، می‌توانند به عنوان مورد مطالعاتی درنظرگرفته شوند. هر یک از این مؤسسات، برحسب نیاز، ممکن است جنبه‌ها یا ضوابطی از مسئله را حذف و یا بر آن تأکید ورزند. لذا به‌منظور اجرای روش در بیش از یک مورد و بررسی کارآیی روش با درنظرداشتن همه ضوابط و داشتن معیاری برای مقایسه روش‌های مختلف، دسته «مسایل آزمایشی» در این زمینه مطرح گردیده که بعضاً از موارد واقعی نمونه‌برداری شده‌اند.

مشخصات موارد مطالعاتی

مجموعه مسایل متعددی در این زمینه پیشنهاد شده‌اند. در اینجا، مجموعه مسایل پیشنهادی توسط لی و لیم (۲۰۰۱) که انطباقی از مسائل پیشنهادی سالامون (۱۹۸۷) می باشند، مورد بررسی قرار گرفته است. وی با اضافه‌کردن قیود پنجره زمانی به VRP مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی را مطرح نموده و مسائلی آزمایشی الگوبرداری‌شده از موارد واقعی را در این زمینه پیشنهاد داد. این مسائل شامل تعدادی نقاط تقاضا برای حمل و نقل بوده که در محدوده‌ای مشخص پراکنده شده‌اند و موقعیت هر کدام نسبت به ایستگاه مرکزی، همچنین مقدار تقاضا و پنجره زمانی برای هر کدام نیز مشخص‌شده و راه‌حل‌های مختلفی برای آنها ارائه شده است. تعمیم و انطباقی از این مسائل برای انواع کاربردها از جمله موارد بررسی‌شده در این اینجا پیشنهاد شده است. مشخصه‌های متفاوت مسائل، از لحاظ تعداد، پراکندگی، و فاصله بین برداشت و

www.SID.ir

Archive of SID

تحویل درخواست‌ها و نقاط سرویس، تعداد وسایل قابل دسترس، ظرفیت هر وسیله، پنجره‌های زمانی، زمان مجاز خدمات در هر مسیر و در هر نقطه و غیره، امکان بررسی بهتر روش را فراهم می‌کند. مشخصه حائز اهمیت دیگر، امکان تحلیل حساسیت روش، به‌دلیل تفاوت پارامترهای مسائل مربوط به هر یک از سه مجموعه مسئله در نظر گرفته شده است.

نتایج اجرای روش

اجرای چندباره راه‌حل برای هر مسئله، جواب‌هایی با تفاوت نه چندان زیاد را منجر می‌شود، که به جهت اختصار، جواب‌های با خطای کمتر انتخاب شده‌اند. جواب‌ها شامل طول مسیری است که هر وسیله باید به‌منظور انجام خدمات جابه‌جا شود، و البته کاهش آن، عامل بالقوه‌ای در بهبود ترافیک است. C_b بهترین جواب در بین دیگر روش‌های ارائه‌شده، و C جواب حاصل از روش این پژوهش بوده و درصد تغییر آن از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\Delta C\,\% = \frac{C - C_b}{C_b} \times 100 \qquad (۱۷)$$

دیگر عامل مؤثر در ترافیک، تعداد وسایل درحال تردّد برای خدمات‌رسانی است. از آنجاکه در بعضی جواب‌ها تعداد وسایل نیز تغییر نموده است، جهت بررسی اثر مجموع این عوامل یا تردّدهای لازم، عامل «وسیله- مسیر» به‌صورت تعداد وسایل در مجموع مسیر، درنظر گرفته‌شده که $C_{rb}=C_b\times K_b$ و $C_r=C\times K$ به ترتیب، مقدار آن برای بهترین جواب، و روش ارائه شده است. درصد تغییرات آن از رابطه ذیل بدست می آید:

$$\Delta C_r\,\% = \frac{C_r - C_{rb}}{C_{rb}} \times 100 \qquad (۱۸)$$

در این روابط، K_b و K به ترتیب، تعداد وسایل مربوط به بهترین جواب، و روش به‌کار رفته است. خلاصه نتایج در جدول‌های به‌دنبال‌آمده مرتب شده‌اند. مقادیرستون‌های جداول از چپ به راست به ترتیب: شماره مسئله، تعداد نقاطی که باید خدمات‌رسانی شوند، تعداد وسایل نقلیه در جواب بهینه (Kb)، جواب بهینه (Cb)، تعداد وسایل نقلیه

www.SID.ir

Archive of SID

در جـواب حاصـل از روش(K)، جـواب حاصـل از روش(C)، درصـد تغییـر در جـواب (ΔC%)، درصد تغییر در معیار وسیله– مسیر (ΔCr%) می‌باشند.

جدول چهار: مربوط به مسائلی با نقاط سرویس بیشتر از ۱۰۰ و وسایل با ظرفیت متوسط

درصد تغییر در		نتایج روش		جواب‌های بهینه		مشخصات مسئله	
وسیله در مسیر	مسیر کلی	مسیر کلی	تعداد وسیله	مسیر کلی	تعداد وسیله	نقاط سرویس	شماره مسئله
-۵.۴۹	۱.۷۷	۱۷۳۹.۱۲	۱۲	۱۷۰۸.۸۰	۱۴	۱۰۶	LRC 101
۱.۴۷	۱.۴۷	۱۵۸۱.۰۰	۱۱	۱۵۵۸.۰۷	۱۲	۱۰۶	LRC 102
۳.۱۲	۳.۱۲	۱۲۹۸.۱۰	۱۱	۱۲۵۸.۷۴	۱۱	۱۰۶	LRC 103
۰.۲۲	۰.۲۲	۱۱۳۰.۹۱	۱۰	۱۱۲۸.۴۰	۱۰	۱۰۸	LRC 104
-۷.۴۳	۰.۲۸	۱۶۴۲.۲۱	۱۲	۱۶۳۷.۶۲	۱۳	۱۰۸	LRC 105
-۹.۰۰	۰.۰۸	۱۴۲۶.۰۰	۱۰	۱۴۲۴.۷۳	۱۱	۱۰۶	LRC 106
-۸.۹۴	۰.۱۶	۱۲۳۲.۱۲	۱۰	۱۲۳۰.۱۵	۱۱	۱۰۶	LRC 107
-۹.۸۹	۰.۱۱	۱۱۴۸.۷۳	۹	۱۱۴۷.۴۳	۱۰	۱۰۴	LRC 108

جدول پنج: مربوط به مسائلی با نقاط سرویس بیشتر از ۱۰۰ و وسایل با ظرفیت بالا

درصد تغییر در		نتایج روش		جواب‌های بهینه		مشخصات مسئله	
وسیله در مسیر	مسیر کلی	مسیر کلی	تعداد وسیله	مسیر کلی	تعداد وسیله	نقاط سرویس	شماره مسئله
-۲۲.۶۴	۳.۱۴	۱۴۵۱.۱۲	۳	۱۴۰۶.۹۴	۴	۱۰۲	LRC 201
۲.۰۱	۲.۰۱	۱۴۰۱.۹۳	۳	۱۳۷۴.۲۷	۳	۱۰۲	LRC 202
۱.۱۵	۱.۱۵	۱۱۰۱.۶۱	۳	۱۰۸۹.۰۷	۳	۱۰۲	LRC 203
-۳۰.۵۴	۴.۱۸	۸۵۲.۹۶	۲	۸۱۸.۶۶	۳	۱۰۲	LRC 204
-۲۴.۷۳	۰.۳۴	۱۳۰۶.۷۲	۳	۱۳۰۲.۲۰	۴	۱۰۲	LRC 205
۱.۹۵	۱.۹۵	۱۱۸۱.۷۱	۳	۱۱۵۹.۰۳	۳	۱۰۲	LRC 206
-۰.۲۶	-۰.۲۶	۱۰۵۹.۲۳	۳	۱۰۶۲.۰۵	۳	۱۰۲	LRC 207
۶.۱۶	۶.۱۶	۹۰۵.۳۴	۳	۸۵۲.۷۶	۳	۱۰۲	LRC 208

www.SID.ir

Archive of SID

جدول شش: مربوط به مسائلی با نقاط سرویس بیشتر از ۲۰۰ و وسایل با ظرفیت متوسط

مشخصات مسئله		جواب‌های بهینه		نتایج روش		درصد تغییر در	
شماره مسئله	نقاط سرویس	تعداد وسیله	مسیر کلی	تعداد وسیله	مسیر کلی	مسیر کلی	وسیله در مسیر
LRC 1-2-1	۲۱۲	۱۹	۳۶۰۶.۰۶	۱۸	۳۷۶۳.۹۳	۴.۳۸	-۱.۱۱
LRC 1-2-2	۲۰۶	۱۵	۳۶۷۳.۱۹	۱۵	۳۶۳۵.۸۱	-۱.۰۱	-۵.۶۷
LRC 1-2-3	۲۱۰	۱۳	۳۱۶۱.۷۵	۱۲	۳۱۸۵.۶۷	۰.۷۵	-۶.۹۹
LRC 1-2-4	۲۱۲	۱۰	۲۶۳۱.۸۲	۹	۲۶۵۳.۸۱	۰.۸۳	-۹.۲۴
LRC 1-2-5	۲۱۴	۱۶	۳۷۱۵.۸۱	۱۴	۳۷۳۸.۹۶	۰.۶۲	-۱۱.۹۵
LRC 1-2-6	۲۱۰	۱۷	۳۳۶۸.۶۶	۱۵	۳۳۹۰.۹۵	۰.۶۶	-۱۱.۱۸
LRC 1-2-7	۲۱۲	۱۴	۳۶۶۸.۳۹	۱۳	۳۶۸۵.۱۲	۰.۴۵	-۶.۷۱
LRC 1-2-8	۲۰۸	۱۳	۳۱۷۴.۵۵	۱۲	۳۲۵۰.۴۷	۲.۳۹	-۵.۴۸

بررسی یافته‌ها

در تحلیل نتایج مربوط به جدول یک، بررسی جواب‌های روش نسبت به جواب‌های بهینه، کاهش چندانی ایجاد نکرده‌اند. با این‌حال نتایج به‌دست‌آمده به مقادیر بهینه نزدیک است به‌طوری‌که میانگین درصد تغییرات فقط ۰/۹ است. اما در شش مورد، تعداد وسایل کمتری برای انجام همان میزان خدمات در نظر گرفته شده و در واقع با استفاده بهینه از منابع یا وسایل، افزایش عملکرد موردنظر حاصل شده است. به ترتیبی‌که عامل وسیله در مسیر به‌عنوان مقدار تردد در پنج مورد از آنها بین ۵ تا ۱۰درصد بهینه شده و بنابراین می‌تواند بهبود وضعیت ترافیکی را به‌دنبال داشته باشد.

بررسی نتایج جدول دو، بهبود طول مسیر را در یک مورد نشان می‌دهد. میانگین درصد تغییرات ۲/۳۹ بوده و در چهارمورد عامل «وسیله در مسیر» بهبود یافته است. اما استفاده از وسایل با ظرفیت بالاتر برای تعداد وسایلی مشابه جدول یک این امکان را می‌دهد که وسایل کمتری به‌کار گرفته شوند، زیرا هر وسیله قابلیت سرویس‌دهی به نقاط بیشتری را دارد. بنابراین، مطابق جدول دو تعداد وسایل کمتری نسبت به جدول یک خدمات مربوط را به انجام می‌رسانند، لذا در اینجا حساسیت به مسیرها و تعداد وسایل بیشتر بوده و کنارگذاشتن هر یک از وسایل، منجر به افزایش زیادی در زمان و

www.SID.ir

Archive of SID

مسافت‌کاری دیگر وسایل می‌شود به‌طوری‌که ممکن است خارج از ضوابط مربوط به آنها و نوع خدمات باشد. نتیجه اجرای روش در اینجا، استفاده از وسایل کمتر در سه مورد نسبت به جواب‌های بهینه در جدول دو بوده است که در هر کدام از آنها درصد بهبود بالاتر از ۲۲درصد برای عامل وسیله- مسیر حاصل شده و افزایش عملکرد حاصل در ارتباط با بهبود ترافیک قابل توجه است.

در موارد مربوط به جدول سه از وسایل با ظرفیت متوسط برای نقاط سرویسی تقریباً دو برابر موارد جداول قبلی استفاده شده است. بهبود طول مسیر در یک مورد انجام گرفته، اما دیگر جواب‌های حاصل نیز به مقادیر بهینه نزدیک بوده به‌طوری‌که میانگین درصد تغییرات ۱/۳۸درصد است. تعداد وسایل در هفت مورد بهبود یافته و در تمامی موارد بهبود عامل «وسیله در مسیر» حاصل شده است. بنابراین با درصد بهبود میانگین ۷/۳درصد که بسته به مورد بین ۱ تا ۱۲درصد صورت پذیرفته، بهبود ترافیک حاصل از افزایش عملکرد قابل ملاحظه است.

به‌نظر می‌رسد نتایج جدول سه، یعنی جایی‌که هم تعداد تقاضاها و هم تعداد وسایل به‌کاررفته بیشتر از جداول یک و دو است، کارآیی بالاتری را نشان می‌دهد. نتیجه قابل توجه در واقع عملکرد بهتر روش در حجم عملیات بالاتر است.

بررسی کلی همه موارد و درصد تغییر نسبت به بهترین جواب‌ها (به‌طور متوسط، حدود ۱.۵۶درصد) نشان‌دهنده کارآیی روش در در تعیین مسیرهای بهینه قابل قبول است. در چند مورد طول مسیر و در موارد به مراتب بیشتری تعداد وسایل به‌کاررفته بهینه شده است. نکته حائز اهمیت مرتبط با تردد و بهبود عامل «وسیله در مسیر» در بیشتر موارد است که می‌تواند در کنار سایر عوامل، باعث بهبود وضعیت ترافیک می‌شود.

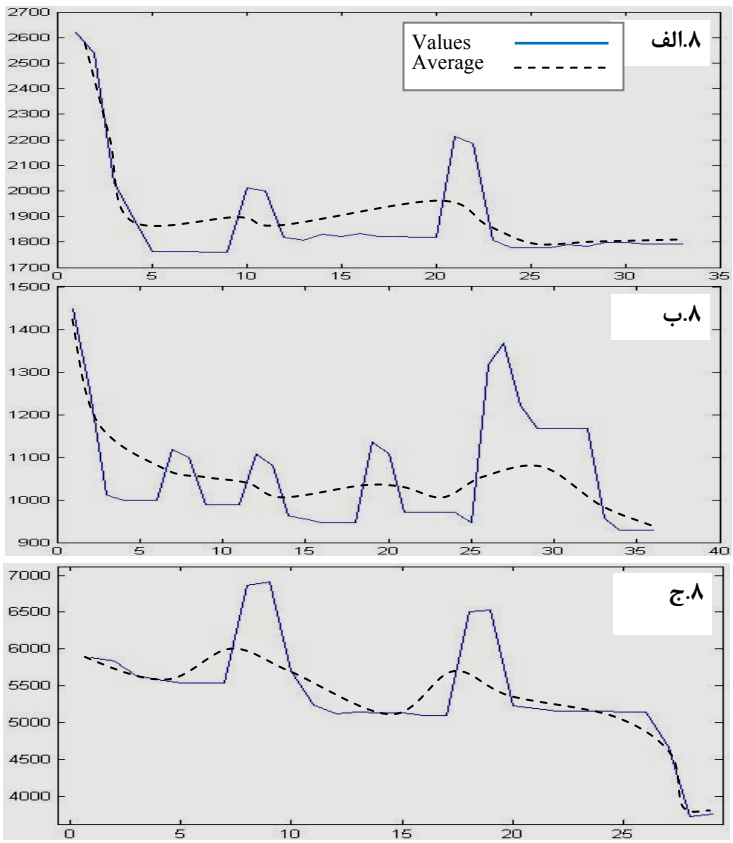
بررسی روند بهینه‌سازی

بررسی تغییرات مقادیر جواب هم در بهینه‌سازی اولیه و هم در مرحله اصلاح و بهینه‌سازی، حاکی از تغییرات نسبتاً ملایمی است. این موضوع بدین دلیل است که تقاضا و مسیرها در این مراحل به شکل تدریجی تغییر می‌کنند و قسمت‌های با شیب ملایم در هر سه نمودار یک بیانگر این موضوع است.

www.SID.ir

Archive of SID

اما زمانی‌که مرحله بازسازی و بهینه‌سازی مجدد به اجرا در می‌آید، مطابق قسمت‌های با شیب تند نمودار یک، تغییرات ناگهانی و به نسبت است. تعداد چنین تغییراتی در نمودار «۱ب» مربوط به جدول دو، نسبت به نمودارهای «۱الف» و «۱ج» مربوط به جداول چهار و شش بیشتر است. این موضوع نشان می‌دهد که در این روش، مرحله بررسی بهینگی در رابطه با وسایل با ظرفیت بالا که به تعداد تقاضای بیشتری در مسیر خود سرویس‌دهی می‌کنند، اهمیت یافته و امکان رسیدن به مسیرهای بهینه‌تر در هربار اجرای آن بیشتر است. ضمن آن‌که مطابق شکل، این تغییرات موقتی بوده و به روند معمول بهینه‌سازی باز می‌شود. با این مزیت که در بیشتر موارد مقادیر بهینه‌تری نیز حاصل می‌شوند.



نمودار یک: نمودارهای الف، ب، ج، به ترتیب مربوط مسائل جداول ۴، ۵ و۶.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

از آنجاکه بر تعداد مؤسسات خدمات‌رسانی در زمینه حمل و نقل، همچنین تقاضاهای ارجاع‌شده به آنها افزوده می‌شود، ایجاد ارتباط بین درخواست‌ها، مسیرها و وسایل ضروری است. بدون توجه به این قضیه، برای مثال، انجام خدمات مربوط به تقاضاها، مشابه بعضی مسائل مطرح‌شده، به‌طورمجزا نیازمند تعداد وسایل زیاد و مجموع مسیرهای طولانی است. درحالی‌که بررسی کلی نتایج موجود نشان‌دهنده آن است که روش‌های ارائه‌شده و ازجمله این روش، آن را نه در حدود چندین درصد بلکه چندبرابر بهبود بخشیده و نشان‌دهنده اهمیت استفاده از این روش‌هاست. چنان‌که بررسی جزئی‌تر نتایج نشان می‌دهد، مقادیر حاصل از روش به جواب‌های بهینه نزدیک بوده و در مواردی به جواب‌های بهینه‌تری نیز منجر شده است. نکته قابل توجه مربوط به بهینه‌شدن عامل «وسیله در مسیر» در بیشتر موارد است که از طریق افزایش عملکرد، کاهش تردّد و امکان بهبود وضعیت ترافیک را فراهم کرده است. در واقع این روش با تسهیل شرایط مربوط به مسیرهای اولیه، و به اجرا درآوردن ضوابط در ضمن مراحل مرتبط با یکدیگر، چنین نتایجی حاصل کرده است. در بررسی‌های بعدی، می‌توان مواردی مانند اختصاص وسایل با ظرفیت متناسب به هر مسیر، ایستگاه‌های مرکزی متعدد برای زمان خدمات‌رسانی بهتر، استفاده چندگانه از وسایل نقلیه و خصوصیات دیگر را مورد توجه قرار داد.

منابع

1. Carrabs F, Cordeau JF, Laporte G (2007). Variable neighborhood search for the pickup and delivery traveling salesman problem with LIFO loading. INFORMS J Comput 19:618–632.

2. Cordeau JF, Laporte G, Potvin JY, Savelsbergh MWP (2004). Transportation on demand. In: Handbooks in Operations Research and Management Science, Elsevier, North-Holland, Amsterdam. (to appear).

3. Dantzig GB, Ramser JH. The truck dispatching problem. Management Science 1959; 6: 80–91.

www.SID.ir

Archive of SID

4. Derigs U, D¨ohmer T (2008). indirect search for the vehicle routing problem with pickup and delivery and time windows. OR Spectrum 30:149–165.

5. Desrochers M, Lenstra JK, Savelsbergh MWP, Soumis F (1988). Vehicle routing with time windows: Optimization and approximation. In: Golden BL, Assad AA (eds.) Vehicle Routing: Methods and Studies. Elsevier (North-Holland), Amsterdam, 65–84.

6. Dumas Y, Desrosiers J, Soumis F (1991). the pickup and delivery problem with time windows. Eur J Oper Res 54:7–22.

7. Fuellerer G, Doerner K. F, Hartl R. F, Iori M (2009). Metaheuristics for vehicle routing problems with three-dimensional loading constraints.

8. Goetschalckx M, Jacobs c, Blecha, (1998). The vehicle routing problem with backhauls: Properties and Algorithms. Georgia Institute of Technology.

9. Kalantari B, Hill AV, Arora SR (1985). An algorithm for the traveling salesman problem with pickup and delivery customers. Eur J Oper Res 22:377–386.

10. Li H, Lim A (2001). A met heuristic for the pickup and delivery problem with time windows. In: 13th IEEE (ICTAI'01). IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, 333–340.

11. Lin C.K.Y (2008). A cooperative strategy for a vehicle routing problem with pickup and delivery time windows.

12. Little J, Murty K, Sweeney D, Karel C (1963). an algorithm for the traveling salesman problem. Oper Res 11:972–989.

13. Lokin FCJ (1978). Procedures for traveling salesman problems with additional constraints. Eur J Oper Res 3:135–141.

14. Lu Q, Dessouky MM (2006). A new insertion-based construction heuristic for solving the pickup and delivery problem with time windows. Eur J Oper Res 175:672–687.

15. Mitrovi´c-Mini´c S (1998). Pickup and delivery problem with time windows: A survey. Tech. Rep. SFU CMPT TR 1998-12, School of Computing Science, Simon Fraser University, Burnaby, BC, Canada.

16. Pankratz G (2005). A grouping genetic algorithm for the pickup and delivery problem with time windows. OR Spectrum 27:21–41.

www.SID.ir

Archive of SID

17. Renaud J, Boctor FF, Laporte G (1996). A fast composite heuristic for the symmetric traveling salesman problem. INFORMS J Comput 8:134–143.

18. Renaud J, Boctor FF, Laporte G (2002). Perturbation heuristics for the pickup and delivery traveling salesman problem. Comput Oper Res 29:1129–1141.

19. Renaud J, Boctor FF, Ouenniche J (2000). A heuristic for the pickup and delivery traveling salesman problem. Comput Oper Res 27:905–916.

20. Ropke S, Cordeau JF (2006). Branch-and-cut-and-price for the pickup and delivery problem with time windows. Tech. Rep. CRT-2006-21, CRT, Universit´e Montr´eal, Canada.

21. Ropke S, Cordeau JF, Laporte G (2007). Models and branch-and-cut algorithms for pickup and delivery problems with time windows. Networks 49:258–272.

22. Ropke S, Pisinger D (2006a). An adaptive large neighborhood search heuristic for the pickup and delivery problem with time windows. Transport Sci 40:455–472.

23. Ropke S, Pisinger D (2006b). A unified heuristic for a large class of vehicle routing problems with backhauls. Eur J Oper Res 171:750–775.

24. Ruland KS, Rodin EY (1997). The pickup and delivery problem: Faces and branch-and-cut algorithm. Compute Math Appl 33:1–13.

25. Savelsbergh MWP, Sol M (1995) the general pickup and delivery problem. Transport Sci 29:17–29.

26. Sexton TR, Choi YM (1986). Pickup and delivery of partial loads with ”soft” time windows. Is J Math Managing Sci 6:369–398.

27. Solomon M (1987). Algorithms for the vehicle routing problem with time windows. Oper Res 35:254 265.

28. Toth. P and Vigo D. (2002). The Vehicle Routing Problem, volume 9 of SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications. SIAM, Philadelphia.

29. Van der Bruggen LJJ, Lenstra JK, Schuur PC (1993). Variable-depth search for the single vehicle pickup and delivery problem with time windows. Transport Sci 27:298–311.

www.SID.ir

Archive of SID

30. Xu H, Chen ZL, Rajagopal S, Arunapuram S (2003). Solving a practical pickup and delivery problem. Transport Sci 37:347–364.

www.SID.ir