الگوریتم دومرحله‌ای برای مسئله تاکسی تلفنی در حالت پویا

محمدرضا امین‌ناصری*، دانشیار، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، بخش مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
احسان منصوری، دانشجوی دکترا، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، بخش مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
E-mail: amin_nas@modares.ac.ir
دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۱۷- پذیرش: ۱۳۹۱/۰۳/۲۰

چکیده

حمل و نقل عمومی یکی از عوامل اساسی در توسعه اقتصادی ـ اجتماعی می‌باشد و برنامه‌ریزی حمل و نقل به‌ویژه در بخش تاکسی با پیچیدگی‌های زیادی همراه است. تعداد زیاد ناوگان تاکسی در مقایسه با سایر وسایل حمل و نقل، تنوع زیاد مسیرها و نیز پویایی درخواست مسافران نمونه‌هایی از این پیچیدگی می‌باشد. در حوزه تاکسی نیز مطالعه، برنامه‌ریزی و جمع‌آوری اطلاعات در خصوص تاکسی‌های تلفنی امکان‌پذیرتر است. به گونه‌ای که در ادبیات موضوع به آن پرداخته شده است. در حالت پویای مسئله تاکسی تلفنی، درخواست‌های جدید در هر لحظه از زمان ارایه می‌شوند و مرکز کنترل باید در خصوص پذیرش یا رد این درخواست‌ها تصمیم‌گیری کند. در این مقاله یک الگوریتم دو مرحله‌ای برای حل این مسئله ارایه شده است. مرحله اول این الگوریتم، به پذیرش یا رد درخواست‌های جدید می‌انجامد و خروجی مرحله دوم، شامل مسیرهای بهبود یافته وسایل نقلیه است. هدف اساسی در این مقاله پذیرش حداکثر درخواست‌های جدید، به‌گونه‌ای است که سطح نارضایتی مسافران به حداقل ممکن برسد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با الگوریتم پیشنهادی، بیش از ۹۰ درصد از درخواست‌های جدید مورد پذیرش قرار گرفته است و با افزایش درجه پویایی، سطح نارضایتی مسافران افزایش می‌یابد. همچنین زمان اجرای الگوریتم نشان داد که الگوریتم پیشنهادی با سرعت زیادی قادر به حل مسئله مورد نظر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مسئله تاکسی تلفنی پویا، حمل و نقل عمومی، الگوریتم دو مرحله‌ای، DARP

۱- مقدمه

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه[۱] یکی از مسایل مشهور در حوزه تحقیق در عملیات و حمل و نقل می‌باشد که نخستین بار توسط دنزیگ و رَمسِر معرفی گردیده است (Dantzig and Ramser, 1959). یکی از حالت‌های خاص این مسئله، مسیریابی با دریافت و تحویل[۲] است که دارای سه زیر مجموعه شامل چند به چند[۳]، یک ـ چند ـ یک[۴] و یک به یک[۵] می‌باشد (Berbeglia et al., 2009). در حالت یک به یک، هر درخواست (کالا یا مسافر) دارای یک گره مبدأ و یک گره مقصد مختص به خود می‌باشد (شکل ۱). همچنین با توجه به زمان ورود اطلاعات (مشخص شدن نقاط مبدأ و مقصد و زمان مناسب برای ارایه سرویس)، دو حالت ایستا و پویا[۶] در نظر گرفته شده است. در حالت ایستا تمامی درخواست‌ها قبل از انجام برنامه‌ریزی و در حالت پویا همه یا بخشی از درخواست‌ها در طول دوره برنامه‌ریزی مشخص می‌شود. بیشتر مطالعات در زمینه مسئله دریافت و تحویل بر حالت ایستا تمرکز داشته و حالت پویا کمتر مورد توجه قرار گرفته است (Berbeglia et al., 2009).

زمانی‌که در مسئله دریافت و تحویل هدف، جابه‌جایی مسافر باشد محدودیت‌هایی برای کنترل راحتی مسافر مورد توجه قرار می‌گیرد. این مسئله در ادبیات موضوع به مسئله تاکسی تلفنی[۷] مشهور شده

* نویسنده مسئول

Archive of SID
www.SID.ir

است. نمونه‌ای از تفاوت‌هایی که در جابه‌جایی مسافر نسبت به کالا وجود دارد، محدودیت‌هایی است که به عنوان راحتی مسافر در نظر گرفته می‌شود که شامل پنجره زمانی سخت‌گیرانه و در نظر گرفتن حداکثر زمان حضور مسافر در وسیله نقلیه[۸] است. یکی از مهم‌ترین کاربردهای این مسئله، حمل و نقل افراد معلول و سالخورده در شهرها می‌باشد (Cordeau and Laporte, 2007). هدف از حل مسئله تاکسی تلفنی، مسیریابی و زمان‌بندی ناوگان حمل و نقل به‌گونه‌ای است که با حداقل کردن هزینه‌های عملیاتی (کل مسافت طی شده یا زمان‌های صرف شده، تعداد وسایل نقلیه مورد استفاده و ...)، کیفیت خدمات ارایه شده حداکثر شود. در ادامه ساختار مقاله شامل بخش‌های زیر است: در بخش ۲ مرور ادبیات و پیشینه تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش ۳ تعریف و فرمول‌بندی مسئله ارایه شده و الگوریتم پیشنهادی تشریح شده است. در بخش ٤ نتایج محاسبات عددی ارایه شده و در بخش ٥ نیز اعتبارسنجی مدل آمده است. در بخش ٦ مطالعه موردی برای درک بهتر مدل و الگوریتم صورت گرفته است و در بخش ۷ نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی ارایه شده است.

۲- مرور ادبیات موضوع

همان‌طور که بیان شد بیشتر مطالعات در زمینه مسئله دریافت و تحویل، بر حالت ایستا تمرکز داشته است. در زمینه مسئله تاکسی تلفنی نیز بیشتر تحقیقاتی که صورت گرفته مربوط به حالت ایستا می‌باشد. در حالت ایستا تمامی درخواست‌ها قبل از دوره برنامه‌ریزی مشخص هستند. اما از آن‌جایی که در عمل ممکن است برخی از درخواست‌ها لغو شده و یا درخواست‌های جدیدی ارایه شود، بنابراین، حالت پویای این مسئله نیز مورد توجه خواهد بود. بر این اساس طیفی از مسایل تاکسی تلفنی خواهیم داشت که از کاملاً ایستا شروع شده و به کاملاً پویا ختم می‌شود. گیانی و همکارانش بیان کردند که برای تعیین میزان درجه پویایی می‌توان از رابطه (۱) استفاده کرد که در آن δ درجه پویایی، n_s تعداد درخواست‌های ایستا و n_d تعداد درخواست‌های پویا می‌باشد (Ghiani et al., 2004).

$$\delta = \frac{n_d}{n_s + n_d} \qquad (۱)$$

بنابراین، بر اساس رابطه (۱) اگر در مسئله‌ای $\delta = 0$ باشد، آن مسئله کاملاً ایستا و اگر $\delta = 1$ باشد، کاملاً پویا خواهد بود. روش‌های مختلف و متنوعی برای حل مسایل ایستا و پویا در ادبیات موضوع ارایه شده است. از آن‌جایی که مسایل تاکسی تلفنی NP-Hard هستند، بنابراین، بیشتر روش‌ها مبتنی بر روش‌های ابتکاری و فراابتکاری می‌باشد (Beaudry et al., 2010). مهم‌ترین تفاوتی که بین روش‌های حل برای مسایل ایستا و پویا وجود دارد، زمان اجرای الگوریتم است؛ زیرا در مسایل پویا باید زمان اجرای الگوریتم بسیار پایین باشد.

سارافتیس (Psaraftis, 1980) یکی از اولین مطالعات را در زمینه مسئله تاکسی تلفنی در حالت پویا انجام داده است. این مطالعه با هدف حداقل کردن زمان سرویس و نارضایتی مسافر با استفاده از یک وسیله نقلیه شکل گرفت. نارضایتی مسافر نیز یک تابع خطی از انتظار مسافر و زمان حضور مسافر در وسیله نقلیه در نظر گرفته شده است. سارافتیس دو حالت ایستا و پویا را مد نظر قرار داد که در حالت ایستا از الگوریتم برنامه‌ریزی پویا و برای حالت پویا که ورود درخواست‌های جدید را در نظر می‌گرفت، از بهینه‌سازی مجدد و رویکرد برنامه‌ریزی پویا استفاده می‌کرد. به‌دلیل پیچیدگی محاسباتی الگوریتم، وی تنها موفق شد مسایلی با اندازه کوچک حل کند. مادسن و همکارانش الگوریتمی برای یک مسئله دنیای واقعی در کپنهاگ ارایه دادند که در آن ۲٤ وسیله نقلیه به بیش از ۳۰۰ درخواست خدمات‌رسانی می‌کردند (Madsen et al., 1995). این مسئله دارای محدودیت‌های مختلفی شامل پنجره زمانی، در نظر گرفتن اولویت برای مسافران و وسایل نقلیه چند ظرفیتی بود. همچنین اهداف این مسئله در ارتباط با رضایت‌مندی مسافر و هزینه‌های خدمات در نظر گرفته شد. تئودروویچ و رادیوجویچ (Teodorovic and Radivojevic, 2000) با به‌کارگیری منطق فازی رویکرد متفاوتی برای حل مسئله DAR در حالت پویا ارایه دادند. در این رویکرد، از دو الگوریتم استدلال تقریبی استفاده شده است که الگوریتم اول به‌منظور تصمیم‌گیری درخصوص پذیرش یا رد درخواست‌ها و سپس حداقل کردن کل مسافت‌های طی شده توسط وسیله نقلیه و الگوریتم دوم به منظور طراحی مسیرها و زمان‌بندی جدید برای وسیله نقلیه انتخاب شده برای درخواست جدید به‌کار گرفته شد.

Archive of SID
www.SID.ir

هورن (Horn, 2002) نرم‌افزاری برای مدیریت خدمات به مسافران در حوزه تاکسی و اتوبوس ارایه داد. مسئله مورد مطالعه وی برای یک شرکت حمل مسافر در استرالیا انجام گرفت که دارای حدود ٤٢٠٠ درخواست و ٢٢٠ تاکسی در هر ٢٤ ساعت و شامل پنجره زمانی برای درخواست‌ها، محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه و لغو درخواست‌ها در حالت پویا بود. هورن یک روش ابتکاری ارایه داد که با استفاده از آن امکان هدایت وسایل نقلیه بدون مسافر با توجه به الگوی درخواست‌های آینده میسر می‌شد.

آتانشیو و همکارانش یک الگوریتم موازی[9] برای مسئله DAR پویا ارایه دادند (Attanasio et al., 2004). در این الگوریتم، از شروع دوره برنامه‌ریزی[10] یک جواب برای مسئله ایستا (بر مبنای درخواست‌هایی که از قبل از دوره برنامه‌ریزی مشخص شده است) با استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوع[11] به‌دست می‌آید و با ورود یک درخواست جدید، این درخواست به صورت تصادفی به جواب موجود اضافه شده و الگوریتم تا به‌دست آمدن یک جواب موجه اجرا می‌شود. چنان‌چه یک جواب موجه به‌دست آمد، درخواست پذیرفته شده و الگوریتم وارد فاز بهینه‌سازی می‌شود. نتایج به‌دست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که این الگوریتم برای بیش از ١٤٤ درخواست توجیه‌پذیر است. کاسلوویچ و همکارانش الگوریتمی برای مسئله DAR در حالت پویا ارایه دادند (Coslovich et al., 2006). در مسئله مورد مطالعه آنها، هر راننده به‌صورت غیرمنتظره درخواستی دریافت می‌کند و باید به سرعت در خصوص پذیرش یا رد آن تصمیم بگیرد. الگوریتم، مخزنی[12] از جواب‌های موجه را نگهداری می‌کند و زمانی که یک درخواست جدید وارد شد، سعی می‌کند که آن را حداقل به یکی از جواب‌های مخزن اضافه کند. نتایج این مطالعه برای یک مثال فرضی و ٥٠ درخواست گزارش شده است.

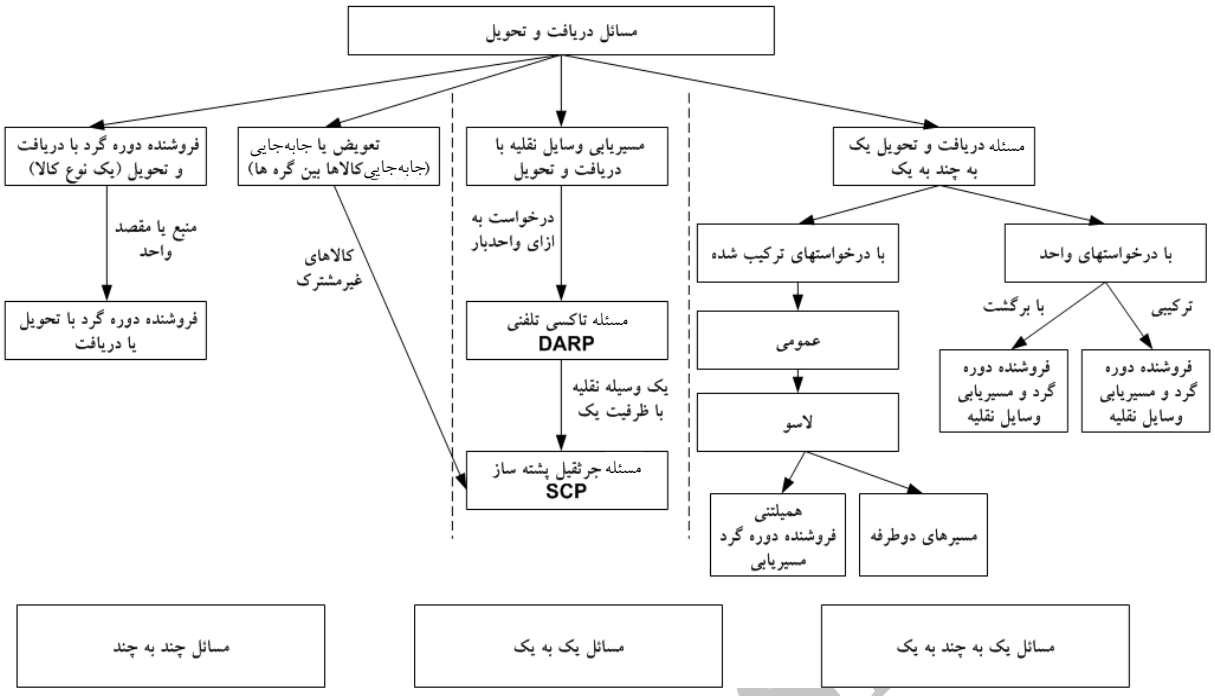
ژیانگ و همکارانش مطالعه‌ای روی یک مسئله DAR پیچیده انجام دادند که علاوه بر ناهمگن بودن وسایل نقلیه (هر وسیله نقلیه می‌تواند از نظر ظرفیت و داشتن امکاناتی مانند ویلچر و ... با بقیه متفاوت باشد)، حالت خرابی وسیله نقلیه و ترافیک را نیز در نظر می‌گرفت (Xiang et al., 2008). در الگوریتم ارایه شده، درخواست‌های جدید با استفاده از فرآیند جستجوی محلی به مسیرها اضافه شده و با استفاده از یک هدف ثانویه که اندازه‌گیری زمان‌های تلف شده وسایل نقلیه بود، بهبود داده شد. این الگوریتم برای چند مثال شبیه‌سازی و برای بیش از ٦١٠ درخواست مورد استفاده قرار گرفت.

بیودری و همکارانش برای حل یک مسئله پیچیده DAR در حالت پویا الگوریتمی دو فازی ارایه دادند (Beaudry et al., 2010). این مسئله برای جابه‌جایی بیماران در یکی از بیمارستان‌های آلمان مورد بررسی قرار گرفت و محدودیت‌های آن شامل درخواست‌هایی با درجه اورژانسی و تجهیزات مورد نیاز متفاوت و پنجره زمانی نرم بود. در فاز اول این الگوریتم، در خصوص پذیرش یا رد درخواست جدید تصمیم‌گیری شده و در صورت پذیرش درخواست، یک جواب اولیه ایجاد می‌شود. در فاز دوم نیز با استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوع، جواب‌های موجود بهبود داده می‌شود. در جدول ١ خلاصه‌ای از این پژوهش‌ها به‌صورت دسته‌بندی شده ارایه گردیده است.

مرور ادبیات مسئله DAR در حالت پویا نشان می‌دهد که مطالعات پراکنده و محدودی در این زمینه صورت گرفته است (Beaudry et al., 2010). نتایج به‌دست آمده از مطالعات به شرح زیر است:

- به جز سارافتیس تمامی نویسندگان اندازه ناوگان را بیش از یک وسیله نقلیه در نظر گرفته‌اند.
- بیشتر مطالعات انجام گرفته مسئله را به‌صورت چندهدفه فرمول‌بندی کرده‌اند.
- تمرکز روش‌های حل بر روش‌های ابتکاری بوده و در بین روش‌های ابتکاری روش دو مرحله‌ای یا دو فازی بیشتر مورد توجه محققان بوده است. دلیل به‌کارگیری روش دو مرحله‌ای، پاسخ‌گویی سریع به درخواست‌های ارایه شده است؛ به طوری که هدف اولیه در این روش، تصمیم‌گیری در خصوص پذیرش یا رد درخواست است (مرحله اول) و هدف ثانویه بهبود جواب‌ها می‌باشد (مرحله دوم). پس از اتمام مرحله اول تا ورود درخواست بعدی سعی می‌شود تا جای ممکن جواب‌ها بهبود داده شود.
- به جز سارافتیس تمامی نویسندگان برای درخواست‌ها پنجره زمانی در نظر گرفته‌اند.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱. طبقه‌بندی مسایل مسیریابی وسایل نقلیه با دریافت و تحویل (Berbeglia et al., 2007)

جدول ۱. دسته‌بندی مقالات تاکسی تلفنی در حالت پویا طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰

نویسنده/ نویسندگان	سال	تعداد وسایل نقلیه	ترکیب وسایل نقلیه	چند هدفه	روش حل				پنجره زمانی (درخواست‌ها)	تعداد درخواست‌ها	نوع داده‌ها
					دقیق	ابتکاری	فراابتکاری	سایر			
سارافتیس	۱۹۸۰	یک	-	✓	✓					کمتر از ۱۰	آزمایشگاهی
مادسن و همکاران	۱۹۹۵	چند	ناهمگن	✓		✓			✓	۳۰۰	ترکیبی
تئودروویچ و رادیوجویچ	۲۰۰۰	چند	همگن					فازی	✓	۹۰۰	آزمایشگاهی
هورن	۲۰۰۲	چند	همگن	✓		✓			✓	٤٢٨٢	ترکیبی
آتانشیو و همکاران	۲۰۰٤	چند	همگن				✓		✓	١٤٤	ترکیبی
کاسلوویچ و همکاران	۲۰۰٦	چند	همگن	✓		✓			✓	٥٠	آزمایشگاهی
ژیانگ و همکاران	۲۰۰۸	چند	ناهمگن	✓		✓			✓	٦١٠	آزمایشگاهی
بیودری و همکاران	۲۰۱۰	چند	ناهمگن	✓		✓			✓	۲٥٠	واقعی

www.SID.ir

۳- تعریف و فرمول‌بندی مسئله

گراف کامل جهت دار $G = (V, E)$ به عنوان شبکه حمل و نقل در نظر گرفته می‌شود که در آن $V = \{v_0, v_1, v_2, \dots, v_{2n}\}$ مجموعه تمامی نقاط ممکن برای توقف وسایل نقلیه (شامل پایانه، نقاط سوار و پیاده شدن مسافر) و $E = \{(o,d): o,d \in V, o \neq d\}$ مجموعه یال‌ها و $t(o,d)$ کوتاه‌ترین زمان حرکت از نقطه o به نقطه d می‌باشد که فرض می‌شود $t(o,d) \neq t(d,o)$؛ زیرا در مسیرهای یک‌طرفه امکان بازگشت وجود ندارد. همچنین مجموعه R مجموعه تمام مسافران در نظر گرفته می‌شود که به دو زیر مجموعه تقسیم می‌گردد. از آن‌جایی که ممکن است درخواست‌های مسافران قبل از دوره برنامه‌ریزی (رزرو) و یا در حین برنامه‌ریزی ارایه شود، بنابراین باید برای درخواست‌های رزرو و جدید برنامه‌ریزی صورت پذیرد و از آن‌جایی که در هر لحظه درخواست‌های جدیدی ارایه خواهد شد در نتیجه R^r مجموعه درخواست‌های برنامه‌ریزی شده و R^n مجموعه درخواست‌های جدید می‌باشد که از این نظر حالت پویا محسوب می‌شود.

بر این اساس برای مسافر iام خواهیم داشت:

p_i و d_i نقاط سوار و پیاده شدن مسافر $(\forall i \in R)$

a_i^p و a_i^d زمان واقعی سوار و پیاده شدن مسافر $(\forall i \in R)$

$[a_i^{p-}, a_i^{p+}]$ و $[a_i^{d-}, a_i^{d+}]$ پنجره زمانی در محل‌های سوار و پیاده شدن مسافر $(\forall i \in R^r)$

در حالت پویای مسئله DAR، پاسخ‌گویی به حداکثر درخواست‌ها با ناوگان حمل و نقل موجود مدنظر می‌باشد (Attanasio et al., 2004). علاوه بر این، حداقل کردن میزان نارضایتی یا ناراحتی[۱۳] مسافر نیز از اهدافی است که همواره در ادبیات موضوع مسئله DAR مورد توجه قرار گرفته است؛ به‌طوری که یکی از تفاوت‌های اساسی مسئله DAR با مسایل دریافت و تحویل، در نظر گرفتن کیفیت خدمات ارایه شده به مسافران است. بر این اساس، معیارهای مختلفی مانند حداکثر زمان حضور مسافر در وسیله نقلیه و زمان انتظار مسافر برای اندازه‌گیری سطح کیفیت خدمات مدنظر قرار گرفته است (Paquette et al., 2008). بنابراین، مسئله حاضر عبارت است از پاسخ‌گویی به حداکثر درخواست‌ها با استفاده از وسایل نقلیه موجود با هدف حداقل کردن نارضایتی مسافران به‌طوری که محدودیت‌های پیش رو مدنظر قرار گیرد. کاسلوویچ و همکارانش به منظور اندازه‌گیری سطح نارضایتی مسافران از روابط (۲) و (۳) استفاده کردند (Coslovich et al., 2006).

$$LOD_i = \alpha \times DV + \beta \times ERT \quad \forall i \in R^r \qquad (۲)$$

$$LOD_i = \beta \times ERT \qquad \forall i \in R^n \qquad (۳)$$

در روابط فوق LOD سطح نارضایتی مسافر[۱۴]، DV میزان انحراف زمان واقعی از زمان مطلوب انجام سرویس[۱۵] و ERT میزان حضور مسافر در وسیله نقلیه بیش از حد متعارف[۱۶] می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود رابطه (۲) برای درخواست‌های برنامه‌ریزی شده (R^r) و رابطه (۳) برای درخواست‌های جدید (R^n) استفاده شده است. برای محاسبه ERT، ابتدا کوتاه‌ترین زمان لازم برای انتقال مسافر از محل سوار شدن (p_i) تا محل پیاده شدن (d_i) محاسبه شده $t(p_i, d_i)$ و پس از انجام سرویس، این زمان از زمان واقعی $(a_i^d - a_i^p)$ کسر می‌شود. همچنین α و β ضرایب وزنی هستند که توسط مرکز کنترل، تعیین می‌شود.

در روابط (۲) و (۳) زمان انتظار مسافر به واسطه دیر رسیدن وسیله نقلیه لحاظ نشده است، در حالی که این عامل می‌تواند بر میزان نارضایتی مسافران مؤثر باشد. از سوی دیگر به‌دست آوردن زمان مطلوب سوار یا پیاده شدن مسافران با پرسش از آنها و فقط برای درخواست‌های برنامه‌ریزی شده (R^r) میسر است و در صورتی که این اطلاعات در دسترس نباشد، مقادیر به‌دست آمده برای LOD غیر واقعی خواهد بود. همچنین برای مسافران، اعلام یک فاصله زمانی (پنجره زمانی) بسیار راحت‌تر از اعلام یک زمان مشخص (زمان مطلوب) است. بنابراین، با جایگزین نمودن پنجره زمانی به جای زمان مطلوب، تغییراتی در روابط فوق ایجاد خواهد شد.

$$LOD_i = \alpha_w(WT_i) + \beta(ERT_i) + \alpha_l(LT_i) = \alpha_w\left(a_i^p - a_i^{p+}\right) + \beta(a_i^d - a_i^p - t(p_i, d_i)) + \alpha_l\left(a_i^d - a_i^{d+}\right) \quad \forall i \in R \qquad (٤)$$

در رابطه (٤)، α_w، α_l و β ضرایب وزنی هستند که نشان‌دهنده میزان اهمیت هر عبارت می‌باشد. همچنین WT زمان انتظار مسافر[۱۷] به دلیل دیر رسیدن وسیله نقلیه به محل سوار شدن وی، ERT میزان حضور مسافر در وسیله نقلیه بیش از حد متعارف و LT میزان دیر رسیدن مسافر به مقصد[۱۸] می‌باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

۳-۱-مفروضات و محدودیت‌های مسئله

همان‌طور که بیان شد هدف مسئله، پاسخ‌گویی به حداکثر درخواست‌ها با وسایل نقلیه موجود به‌گونه‌ای است که میزان نارضایتی مسافران حداقل شود. بر این اساس مفروضات زیر در نظر گرفته می‌شود:

- سیاست حق تقدم (FCFS) مدنظر قرار می‌گیرد، به‌طوری که هر درخواستی که زودتر ارایه شود، زودتر خدمت‌رسانی خواهد شد.
- هر وسیله نقلیه دارای پایانه منحصر به فرد می‌باشد و ناوگان همگن است.
- هر مسافر فقط با یک وسیله نقلیه حمل می‌شود و پیاده کردن یک مسافر با هدف سوار کردن مسافر دیگر مجاز نیست.
- حداقل کردن میزان نارضایتی مسافران درخواست‌های برنامه‌ریزی شده بر مسافران درخواست‌های جدید اولویت دارد.
- شاخص $\overline{\mathrm{WT_i}}$ به عنوان حداکثر زمان انتظار مسافر iام در نظر گرفته شده و زمان انتظار هر مسافر نباید از این شاخص بیشتر باشد.
- شاخص $\overline{\mathrm{ERT_i}}$ به عنوان حداکثر زمان حضور مسافر iام در وسیله نقلیه در نظر گرفته شده و زمان حضور هر مسافر نباید از این شاخص بیشتر باشد.
- شاخص $\overline{\mathrm{LT_i}}$ به عنوان حداکثر زمان دیر رسیدن مسافر iام به مقصد در نظر گرفته شده و زمان دیر رسیدن هر مسافر نباید از این شاخص بیشتر باشد.

۳-۲-مدل‌سازی مسئله

با توجه به اولویت حداقل نمودن نارضایتی مسافران درخواست‌های برنامه‌ریزی شده نسبت به درخواست‌های جدید و با توجه به این‌که به‌ازای ورود هر درخواست جدید در خصوص پذیرش یا رد آن تصمیم‌گیری می‌شود. بنابراین، مدل مسئله به‌صورت زیر خواهد بود:

$$Min \sum_{R^r} LOD_i \qquad (۵)$$

$$s.t.: WT_i \le \overline{WT_i} \ , \quad \forall i \in R^r, \qquad (۶)$$

$$ERT_i \le \overline{ERT_i} \ , \quad \forall i \in R^r, \qquad (۷)$$

$$LT_i \le \overline{LT_i} \ , \quad \forall i \in R^r, \qquad (۸)$$

$$WT_j \le \overline{WT_j} \ , \quad \forall j \in R^n, \qquad (۹)$$

اگر درخواست مسافر jام مورد پذیرش قرار گیرد، شرایط زیر اعمال خواهد شد:

$$R^r = R^r \cup \{j\}, \qquad (۱۰)$$

$$R^n = R^n \backslash \{j\}. \qquad (۱۱)$$

رابطه (۵) تابع هدف مسئله، که کمینه‌سازی نارضایتی مسافران درخواست‌های رزرو است را نشان می‌دهد. بر اساس رابطه (٤)، نارضایتی مسافران از طریق زمان انتظار آنها، میزان حضور آنها در وسیله نقلیه و میزان دیر رسیدن آنها به مقصد محاسبه می‌شود. مجموعه محدودیت‌های (٦) و (۷) و (۸) بیان می‌کند که زمان انتظار، حداکثر زمان حضور مسافر در وسیله نقلیه و حداکثر زمان دیر رسیدن مسافر به مقصد نباید از یک مقدار مشخص بیشتر باشد. محدودیت (۹) متضمن کمتر بودن زمان انتظار مسافران درخواست‌های جدید از یک حد معین است. محدودیت‌های (۱۰) و (۱۱) نیز در صورت پذیرش درخواست جدید فعال می‌شود، به‌گونه‌ای که در هر مرحله پس از پذیرش درخواست جدید، آن را به مجموعه درخواست‌های رزرو اضافه می‌کند.

۳-۳- تشریح الگوریتم

هدف این الگوریتم، ایجاد شرایطی برای پذیرش حداکثر درخواست‌های غیرمنتظره و نیز حداقل کردن سطح نارضایتی مسافران می‌باشد. از آن‌جایی که درخواست‌های مسافران به‌صورت غیرمنتظره و پویا ارایه می‌شود و نیز زمان پاسخ‌گویی به درخواست‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، بنابراین، الگوریتم سعی می‌کند ابتدا هر درخواست را در برنامه یکی از وسایل نقلیه قرار دهد. این اقدام در شرایطی صورت می‌گیرد که حداقل نگه داشتن سطح نارضایتی مسافران موجود در اولویت است. هنگامی که یک درخواست پذیرفته شد و به وسیله نقلیه‌ای تخصیص یافت، مسیر آن وسیله نقلیه بروز می‌شود به طوری که سطح نارضایتی مسافران به حداقل ممکن برسد.

بنابراین، الگوریتم پیشنهادی به شیوه زیر عمل می‌کند:

- مرحله اول: پذیرش یا رد درخواست‌های ارایه شده ($\mathrm{R^n}$)
- مرحله دوم: بروز شدن مسیرهای وسایل نقلیه با توجه به پذیرش درخواست‌های جدید، به‌طوری که بهترین مسیر

Archive of SID

www.SID.ir

ممکن انتخاب شود. در ادامه هریک از مراحل به تفکیک تشریح می‌گردند.

۳-۳-۱- الگوریتم پذیرش یا رد درخواست

همان‌طور که مطرح شد، پاسخ‌گویی سریع به درخواست‌های مسافران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و به‌عنوان معیاری برای عملکرد سیستم مدنظر قرار می‌گیرد (Paquette et al., 2008). بر این اساس درخواست مسافر مورد بررسی قرار می‌گیرد و در صورت امکان به یکی از وسایل نقلیه تخصیص می‌یابد. اما نکته قابل توجه در تخصیص درخواست به وسایل نقلیه آن است که هر تخصیص ممکن است موجب تأخیر در ارایه سرویس به مسافران موجود شود. چنان‌چه این تأخیرها بیش از پنجره زمانی باشد، هزینه‌هایی را به سیستم تحمیل خواهد کرد؛ بنابراین، پیش از تخصیص، باید اتفاقاتی که به‌واسطه تخصیص رخ می‌دهد مورد بررسی قرار گیرد.

فرض می‌کنیم که تخصیص درخواستی به وسیله نقلیه kام مدنظر باشد. این تخصیص موجب تغییر مسیر وسیله نقلیه خواهد شد. اگر قرار باشد ارایه سرویس به درخواست جدید (سوار شدن مسافر) پس از عبور وسیله نقلیه از گره p و پیش از رسیدن آن به گره q صورت گیرد، بنابراین، باید اتفاقات ناشی از این تخصیص مورد ارزیابی قرار گیرد.

- برای هر گره q که قرار است وسیله نقلیه پس از سوار شدن مسافر جدید به آن‌جا مراجعه کند، حداکثر تأخیر مجاز (MD)، با توجه به پنجره زمانی آن گره محاسبه می‌شود. از آن‌جایی که پنجره زمانی هم برای نقطه سوار شدن و هم برای نقطه پیاده شدن در نظر گرفته شده است، در نتیجه این محاسبات برای هر دو انجام می‌گیرد.

(۱۲) حداکثر تأخیر مجاز برای نقطه سوار شدن برای مسافر iام

$$MD_q = \left(a_i^{p+} - a_i^{p}\right) \qquad \forall i \in R^r$$

(۱۳) حداکثر تأخیر مجاز برای نقطه پیاده شدن برای مسافر iام

$$MD_q = \left(a_i^{d+} - a_i^{d}\right) \qquad \forall i \in R^r$$

در روابط (۱۲) و (۱۳)، MD_q حداکثر تأخیر مجاز برای گره q (برای نقاط سوار و پیاده شدن)، a_i^{p+} حداکثر زمان مجاز برای سوار شدن با توجه به پنجره زمانی، a_i^{p} زمان واقعی سوار شدن، a_i^{d+} حداکثر زمان مجاز برای پیاده شدن با توجه به پنجره زمانی و a_i^{d} زمان واقعی پیاده شدن می‌باشد.

- برای هر گره q که قرار است وسیله نقلیه پس از سوار شدن مسافر جدید به آن‌جا مراجعه کند، حداکثر تأخیر مجاز تجمعی (TMD)، با توجه به پنجره زمانی آن گره محاسبه می‌شود. از آن‌جایی که تأخیر در هر گره می‌تواند بر گره‌های دیگر مؤثر باشد، بنابراین، این ارزیابی صورت می‌گیرد. برای محاسبه حداکثر تأخیر مجاز تجمعی، اگر l گره پایانی مسیر فرض شود آنگاه $MD_l = TMD_l$ خواهد شد. برای هر گره ماقبل l نیز داریم:

$$TMD_m = \min\{MD_m, TMD_{m+1}\} \qquad (۱۴)$$

همان‌طور که در رابطه فوق مشاهده می‌شود، مقدار TMD از گره پایانی به گره اول به صورت نزولی می‌باشد، به‌طوری که حداکثر تأخیر مجاز در گره پایانی با حداکثر تأخیر تجمعی برابر خواهد شد. با توجه به توضیحات ارایه شده مشخص می‌شود که رویکردی که در این الگوریتم مدنظر قرار گرفته است، کم کردن نارضایتی مسافران درخواست‌های برنامه‌ریزی شده (مسافران موجود) می‌باشد.

۳-۳-۲- الگوریتم بروزرسانی مسیرهای وسایل نقلیه

هنگامی که یک درخواست به برنامه یکی از وسایل نقلیه تخصیص یافت این الگوریتم فعال خواهد شد. هدف این الگوریتم، دست‌یابی به جواب‌های بهتر نسبت به جواب موجود است. برای تشریح این الگوریتم، ابتدا فرض می‌شود که مسیر a، مسیر جاری وسیله نقلیه kام باشد و گره m آخرین گره‌ای است که این وسیله در لحظه ورود درخواست جدید، از آن عبور کرده است. این الگوریتم فرصت دارد تا پذیرش درخواست دیگر، عملیات بروزرسانی را انجام دهد، در نتیجه بین مسیرهایی که در همسایگی مسیر a قرار دارند به جستجو می‌پردازد. مسیرهای همسایه مسیر a، مسیرهای جدیدی هستند که با اضافه شدن یک یا چند گره جدید به مسیر قبلی ایجاد می‌شوند. اگر هر یک از مسیرهای همسایه دارای وضعیت بهتری نسبت به مسیر a باشند، جایگزینی انجام شده و در غیراین‌صورت هیچ بهبودی ایجاد نخواهد شد. نکته قابل تأمل در انتخاب مسیرهای همسایه آن است که مسیرهای همسایه مسیر a، از مجموعه مسیرهای امکان‌پذیر انتخاب می‌شوند، بنابراین، مسیرهای غیرمنطقی مورد

Archive of SID

www.SID.ir

بررسی قرار نمی‌گیرند. همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود وسیله نقلیه نمی‌تواند مسافری را که هنوز سوار نکرده است پیاده کند، در نتیجه این مسیر غیرموجه است. این عامل موجب خواهد شد که الگوریتم بین مسیرهای امکان‌پذیر جستجو کرده و به جواب بهینه دست یابد (شکل). به‌منظور تفکیک مسیرهای موجه و غیرموجه به‌منظور تسریع در تصمیم‌گیری، از الگوریتم هیلی و مول استفاده شده است (Healy and Moll, 1995). بر اساس این الگوریتم که میزان پیچیدگی محاسباتی آن برای جایگشت‌های مختلف دوتایی، O(n) اندازه‌گیری شده است، اگر یک یال حذف شود به‌صورت تقریبی مشخص می‌گردد که حذف یال بعدی در کدام قسمت خواهد بود، بنابراین، اگر مسیری از قواعد این الگوریتم تبعیت نکند، غیرموجه شناخته می‌شود.

در این الگوریتم، برداری با عنوان FD معرفی شده است که بیان می‌کند اگر یک یال قبل از گره iام حذف شود، حذف یال دیگر حداکثر باید قبل از گره FD[i] صورت گیرد و اگر بعد از گره FD[i] یالی حذف شود، مسیر حاصل از آن غیرموجه خواهد بود. این الگوریتم به‌صورت زیر است:

گام اول: تمامی *FD*ها را برابر *2n+1* قرار دهید.

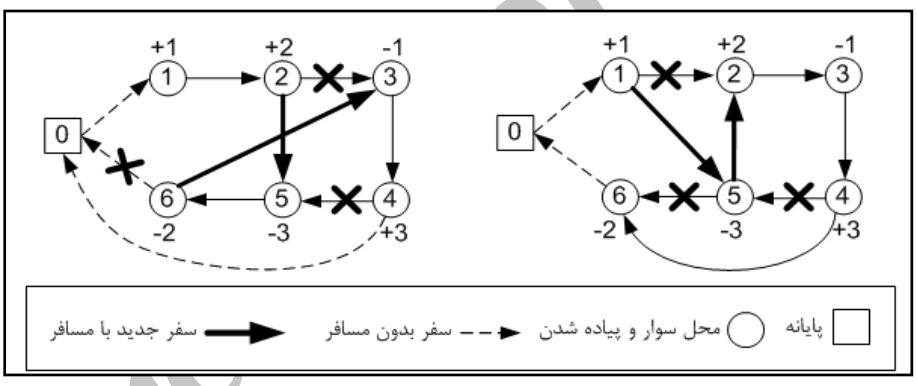
گام دوم: تابع معکوس *I* را برای مسیر *T* تشکیل دهید.

گام سوم: از *i=2* تا *i=2n*، اگر گره نام‌برده محل پیاده شدن مسافر است آنگاه، *r = I [-T(i)]*

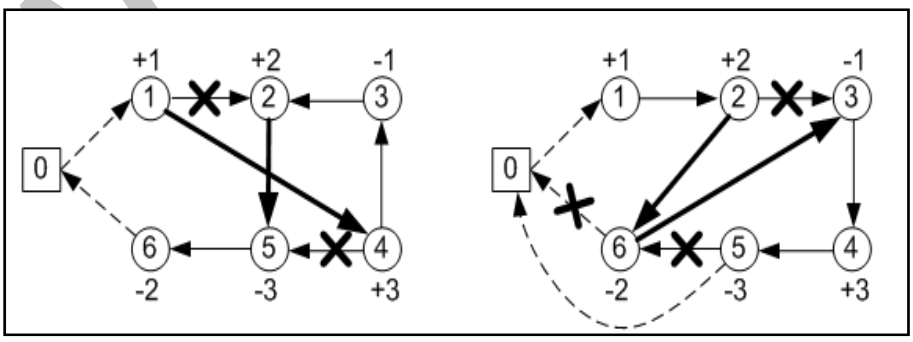
FD [r] = i

گام چهارم: از *j=2n-1* تا *j=0* (به صورت معکوس) اگر *FD [j] > FD [j+1]* آنگاه،

FD [j] = FD [j+1]

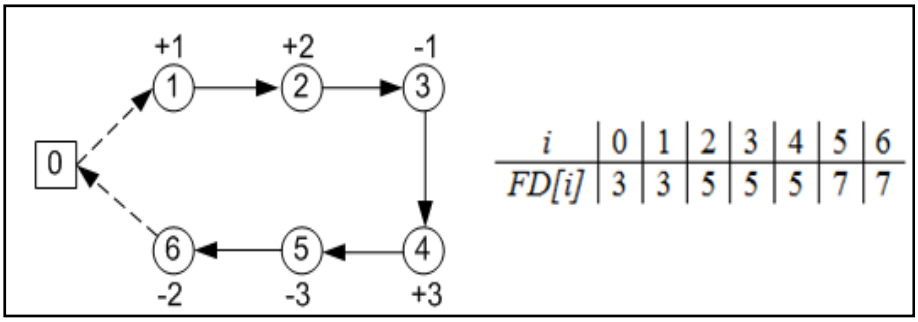


شکل ۲. نمونه‌ای از مسیرهای همسایه غیرمنطقی برای یک مسیر فرضی



شکل ۳. نمونه‌ای از مسیرهای همسایه امکان‌پذیر برای یک مسیر فرضی

www.SID.ir



i	0	1	2	3	4	5	6
$FD[i]$	3	3	5	5	5	7	7

شکل ٤. مثالی از الگوریتم هیلی و مول برای حذف مسیرهای غیرموجه

همان‌طور که در شکل ٤ ملاحظه می‌شود، بر اساس توضیحاتی که در خصوص الگوریتم ارایه شد، اگر یال (۱,۲) حذف گردد، تنها یال‌های (۲,۳)، (۳,٤) و (٤,٥) امکان حذف دارند و سایر مسیرهایی که از حذف شدن یال‌های دیگر به‌وجود می‌آیند، غیرموجه خواهند بود.

با توجه به این‌که هدف مسئله پژوهش، پاسخ‌گویی به حداکثر درخواست‌ها با استفاده از وسایل نقلیه موجود و حداقل کردن نارضایتی مسافران موجود است، این الگوریتم به میزان زیادی دست‌یابی به این هدف را تسهیل خواهد کرد؛ زیرا بروزرسانی مسیرهای وسایل نقلیه می‌تواند علاوه بر تسریع در خدمت‌رسانی به مسافران موجود، به پذیرش درخواست‌های جدید نیز کمک کند.

٤- نتایج محاسبات عددی

برای نشان دادن نحوه عملکرد الگوریتم پیشنهادی، نتایج محاسبات عددی برای مثال‌هایی که به‌صورت تصادفی تولید شده‌اند، ارایه گردیده است. در مجموع ۳٦۰ مثال مختلف برای مسئله تولید شد که ساختار آنها در ادامه تشریح می‌شود.

٤-۱- مسیرها

به‌طور کلی سه نوع مسیر در نظر گرفته شد که به‌صورت تصادفی ایجاد شدند که مشخصات آنها در جدول ۲ آمده است. هر یک از انواع مسیرها دارای مجموعه‌ای از گره‌های مختلف است که بر مبنای تعداد و پراکندگی گره‌ها از یکدیگر متمایز می‌شوند. این تفکیک بر اساس ویژگی‌هایی که مسیرهای دنیای واقعی دارند صورت گرفته است، به طوری که برخی از مسیرها کم ترافیک و برخی پر ترافیک هستند.

٤-۲- درخواست‌ها

با توجه به این‌که درخواست‌ها به دو صورت موجود و جدید (پویا) ارایه می‌شود، بنابراین، ترکیب این دو نوع درخواست نیز متغیر در نظر گرفته شده است؛ به طوری که دارای درجه پویایی متنوعی (بین ۰/۱۱ تا ۰/۲۹) باشد (رابطه (۱). بر این اساس عملکرد الگوریتم پیشنهادی با افزایش درجه پویایی مسئله، مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

٤-۳- تنظیم پارامترهای مدل

همان‌طور که در رابطه ٤ مشاهده شد، α_w، α_l و β ضرایب وزنی هستند که در این پژوهش مقادیر مساوی برای آنها در نظر گرفته شده است.

همچنین مقادیر ۱۰ دقیقه برای شاخص $\overline{WT_i}$ (عنوان حداکثر زمان انتظار مسافر iام)، ۳۰ دقیقه برای شاخص $\overline{ERT_i}$ (حداکثر زمان حضور مسافر iام در وسیله نقلیه) و ۱۵ دقیقه برای شاخص $\overline{LT_i}$ (حداکثر زمان دیر رسیدن مسافر iام به مقصد) منظور گردید و پنجره زمانی ۱۰ دقیقه برای تمامی مسافران در نظر گرفته شد. فاصله زمانی بین دو درخواست متوالی نیز ۵ دقیقه فرض شده است. همان‌طور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود، الگوریتم پیشنهادی برای سه دسته از مسیرها اجرا و برای هر دسته ۱۲۰ مثال در نظر گرفته شده است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲. مشخصات مسیرهای تصادفی تولید شده

انواع مسیرها	محدوده	تعداد گره‌ها	حداقل زمان سفر	حداکثر زمان سفر
نوع اول (کم ترافیک)	۵ کیلومتر مربع	۲۰۰	۲ دقیقه	۱۵ دقیقه
نوع دوم (متوسط)	۳ کیلومتر مربع	۱۵۰	٤ دقیقه	۳۰ دقیقه
نوع سوم (پر ترافیک)	۱ کیلومتر مربع	۱۰۰	٦ دقیقه	٤٥ دقیقه

جدول ۳. نتایج محاسبات

نوع مسیر	ت.د.م	ت.د.ج	د.پ	م.س.ن.م.ق	م.س.ن.م.ب	م.س.ن.م.ع	د.پ.د.ج
۱	۳۵	۵	۰/۱٤	۵۲۱/۰۱۳	۵۸۱/۳۱۹	۵۹۵/٤٤۳	۸۰
۱	۳۵	۱۰	۰/۲۹	۵۲۰/۹۰۲	٦۵۷/۱۱۱	٦٦۹/۷۳۱	۷۰
۱	٤۵	۵	۰/۱۱	۵۸۲/۸۹	٦۱۲/۰۳۱	٦٤۷/٦۵۵	۸۰
۱	٤۵	۱۰	۰/۲۲	۵۸۱/۸۰۹	٦۸۱/۵۵۲	۷۱۱/۰۹۹	۷۰
۱	۵۰	۱۰	۰/۲۰	٦۸۵/۰۹۸	۷۹۱/۵٦۹	۸۲۲/۱۱۷	۸۰
۲	۳۵	۵	۰/۱٤	۷٤۸/۱۰٤	۸۰۳/۵۸۱	۸۵٤/۹۷٦	۸۰
۲	۳۵	۱۰	۰/۲۹	۷۵۳/۹٦٤	۹۱۷/۰۷٦	۹٦۹/۳۸۲	۸۰
۲	٤۵	۵	۰/۱۱	۷۸٤/۵۹۱	۸۳۵/۵۹۷	۸۷۱/۷٦۷	۸۰
۲	٤۵	۱۰	۰/۲۲	۷۸۵/٦۳۹	۹٦۲/۲۹۷	۹٦۰/۲۲۵	۱۰۰
۲	۵۰	۱۰	۰/۲۰	۸۱۹/۷۵	۹۰۹/۳۵۱	۹۸۳/۷	۹۰
۳	۳۵	۵	۰/۱٤	۱۰۱۲/۷٦٤	۱۱۹۷/۲۳۱	۱۱۵۷/٤٤۵	۱۰۰
۳	۳۵	۱۰	۰/۲۹	۱۰۱٦/۹۱۳	۱۲٦۱/۸۷٦	۱۳۰۷/٤٦	۹۰
۳	٤۵	۵	۰/۱۱	۱۰۹٤/۸۰٤	۱۱۹۵/۰٤۳	۱۲۱٦/٤٤۹	۸۰
۳	٤۵	۱۰	۰/۲۲	۱۰۹۰/۵٤۹	۱۳۳۹/۵۱۹	۱۳۳۲/۸۹۳	۱۰۰
۳	۵۰	۱۰	۰/۲۰	۱۲۵۵/۲۱۹	۱۵۱۸/۷۷۲	۱۵۰٦/۲٦۳	۱۰۰

ستون اول نوع مسیر، ستون دوم تعداد درخواست‌های موجود (ت.د.م)، ستون سوم تعداد درخواست‌های جدید (ت.د.ج) و ستون چهارم درجه پویایی (د.پ) را نشان می‌دهد. ستون‌های پنجم و ششم به ترتیب میانگین سطح نارضایتی مسافران موجود قبل (م.س.ن.م.ق) و بعد از پذیرش درخواست‌های جدید (م.س.ن.م.ب) و ستون هفتم میانگین سطح نارضایتی مسافران با فرض عدم پذیرش مسافران جدید (م.س.ن.م.ع) می‌باشد. در نهایت نیز ستون هشتم، نشان‌دهنده درصد پذیرش درخواست‌های جدید (د.پ.د.ج) می‌باشد. به‌منظور محاسبه سطح نارضایتی مسافران با فرض عدم پذیرش مسافران جدید از رابطه ۱۵ استفاده شده است.

$$DSRC = DSBA + n\,(AC) \qquad (۱۵)$$

در رابطه (۱۵)، DSRC سطح نارضایتی مسافران با فرض عدم پذیرش درخواست‌های جدید، DSBA سطح نارضایتی مسافران از پذیرش درخواست‌های جدید، n تعداد درخواست‌های جدید و AC میانگین سطح نارضایتی مسافرانی است که درخواست‌های آنها پذیرفته نشده است. به‌منظور برآورد سطح نارضایتی مسافران جدیدی که درخواست‌های آنها پذیرفته نشده است، از اطلاعات موجود استفاده شد؛ به‌طوری که در هر مثال، به‌صورت جداگانه این مقدار به‌دست آمد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از اجرای الگوریتم، مشاهده می‌گردد که میانگین سطح نارضایتی با اضافه شدن درخواست‌های جدید (پویا) افزایش پیدا کرده است، اما با توجه به

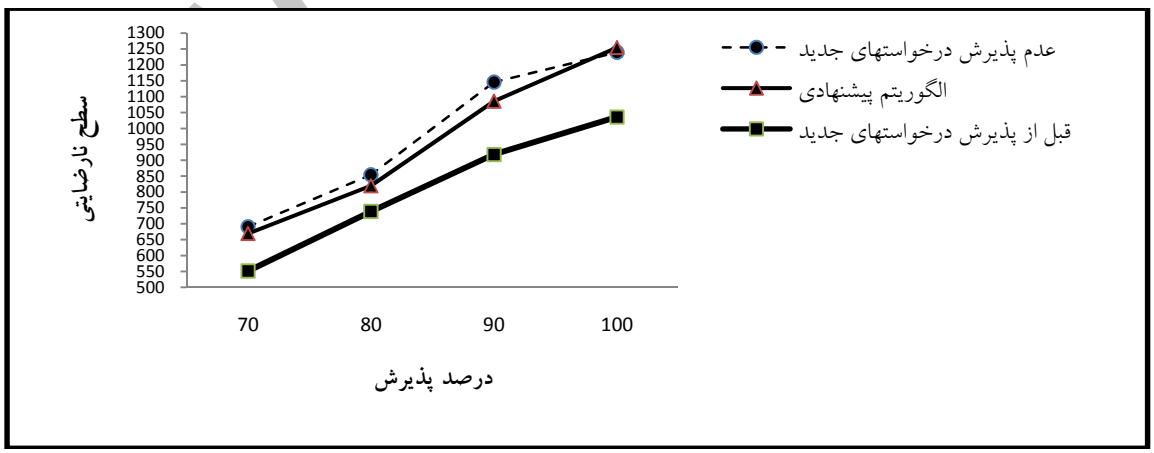
Archive of SID
www.SID.ir

این‌که هدف مسئله پژوهش، پذیرش حداکثر درخواست‌های جدید است، بدون تردید افزایش درصد پذیرش درخواست‌های جدید موجب افزایش هزینه‌ها خواهد شد. همچنین سطح نارضایتی درخواست‌های موجود، قبل از پذیرش درخواست‌های جدید، بدون در نظر گرفتن هزینه‌های عدم پذیرش درخواست‌های جدید است که اگر این هزینه‌ها نیز لحاظ شود، جواب‌های به‌دست آمده از الگوریتم قابل توجه خواهد بود. همان‌طور که در ستون هفتم جدول ملاحظه می‌شود، میانگین سطح نارضایتی مسافران با فرض عدم پذیرش مسافران جدید (م.س.ن.م.ع) با توجه به رابطه (۱۵) به‌دست آمده که خلاصه نتایج آن در نیز آمده است. همان‌طور که در شکل ۵ نیز مشاهده می‌گردد، میزان سطح نارضایتی مسافران پس از پذیرش درخواست‌های جدید افزایش پیدا کرده است و این سطح با افزایش درصد پذیرش بیشتر شده است. اما با در نظر گرفتن حالت عدم پذیرش درخواست‌های مسافران جدید ملاحظه می‌شود که الگوریتم پیشنهادی جواب‌های بهتری به‌دست می‌دهد. مقایسه سطح نارضایتی مسافران در زمانی‌که میزان پذیرش ۱۰۰ درصد است، نشانگر بالا بودن هزینه‌ها در الگوریتم پیشنهادی است. با توجه به درصد پذیرش درخواست‌های جدید که در ستون آخر آمده است، به جز مورد دوم و چهارم که درصد پذیرش آن ۷۰ می‌باشد، بقیه موارد بیش از ۸۰ درصد است. بنابراین، میانگین درصد پذیرش ۸۵/۳۳ می‌باشد که نسبتاً قابل قبول است. نکته قابل توجه در نتایج به‌دست آمده، افزایش درصد انحراف سطح نارضایتی مسافران به‌واسطه افزایش درجه پویایی می‌باشد. همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌گردد در هر سه نوع مسیر، هر جا که درجه پویایی بیشتر است، میزان انحراف سطح نارضایتی مسافران موجود قبل (م.س.ن.م.ق) و بعد از پذیرش درخواست‌های جدید (م.س.ن.م.ب) نیز بیشتر می‌باشد. بنابراین، افزایش درجه پویایی موجب افزایش سطح نارضایتی مسافران موجود می‌گردد. علاوه بر این زمان اجرای الگوریتم با توجه به تعداد درخواست‌ها برای مرحله اول و دوم الگوریتم پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمایش نشان می‌دهد که در دشوارترین حالت، الگوریتم قادر است در کمتر از ۳/۵ دقیقه مسئله مورد نظر را حل نماید و این نشان می‌دهد که با توجه به پارامتر فاصله زمانی بین ورود دو درخواست متوالی که ۵ دقیقه فرض شده بود، نتیجه به‌دست آمده معقول و کاربردی است. همچنین بررسی نتایج نشان می‌دهد، این الگوریتم در مرحله اول، در کمتر از یک دقیقه اقدام به پاسخ‌گویی به درخواست‌های جدید می‌کند (جدول ٤).

۵- اعتبارسنجی مدل

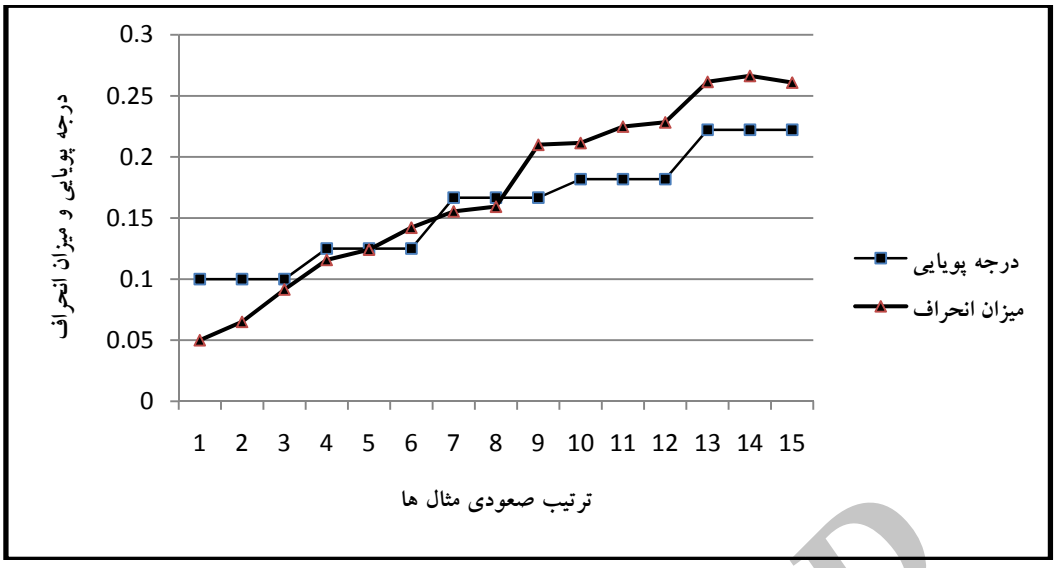
در این بخش نتایج حاصل از مدل ریاضی در بخش ۳-۲ به‌منظور اعتبارسنجی مورد بررسی قرار گرفته است. مدل ریاضی نام برده توسط نرم‌افزار لینگو ۹ و روی رایانه‌ای با پردازنده Intel Core 2 Duo 2.10 GHz و با حافظه داخلی ۲ گیگابایت پیاده‌سازی شد و با ایجاد ارتباط با نرم‌افزار Excel داده‌های پویا برای حل، به لینگو ارسال شد. برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، نتایج محاسباتی ارایه شده در بخش ٤ با نتایج حاصل از نرم‌افزار لینگو برای مسایل نمونه، مقایسه شده که نتایج آن در جدول ۵ آمده است.

همان‌طور که در شکل ۷ ملاحظه می‌گردد با افزایش تعداد درخواست‌ها و درجه پویایی زمان حل با نرم‌افزار لینگو به‌صورت نمایی رشد می‌کند، در حالی‌که زمان حل برای الگوریتم پیشنهادی تقریباً خطی است و تغییرات کمی دارد.



شکل ۵. مقایسه سطح نارضایتی مسافران قبل و بعد از پذیرش و حالت عدم پذیرش

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ٦. افزایش درصد انحراف به‌واسطه افزایش درجه پویایی

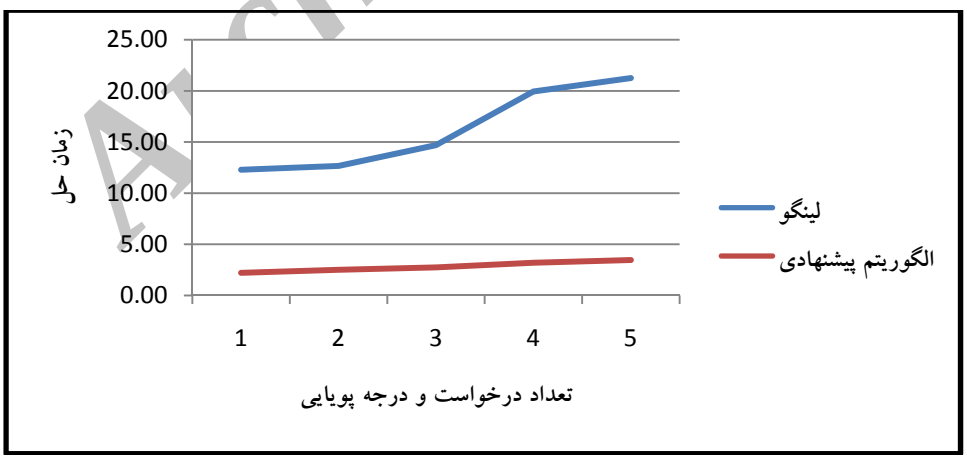
جدول ٤. زمان اجرای الگوریتم

نوع مسیر	ت.د.م	ت.د.ج	د.پ	مرحله اول (ثانیه)	مرحله دوم (ثانیه)	مجموع (ثانیه)
١	٣٥	٥	٠/١٤	٢٧	١٠٢	١٢٩
١	٣٥	١٠	٠/٢٩	٤٤	١١٣	١٥٧
١	٤٥	٥	٠/١١	٢٨	١٣٣	١٦١
١	٤٥	١٠	٠/٢٢	٤٣	١٣٥	١٧٨
١	٥٠	١٠	٠/٢٠	٤٩	١٤٧	١٩٦
٢	٣٥	٥	٠/١٤	٢٥	١٠٨	١٣٣
٢	٣٥	١٠	٠/٢٩	٣٥	١١٦	١٥١
٢	٤٥	٥	٠/١١	٢٨	١٣٧	١٦٥
٢	٤٥	١٠	٠/٢٢	٣٩	١٥٣	١٩٢
٢	٥٠	١٠	٠/٢٠	٤٢	١٦٦	٢٠٨
٣	٣٥	٥	٠/١٤	٢٩	١٢٧	١٥٦
٣	٣٥	١٠	٠/٢٩	٣٥	١٢٦	١٦١
٣	٤٥	٥	٠/١١	٣١	١٤٤	١٧٥
٣	٤٥	١٠	٠/٢٢	٣٧	١٥٨	١٩٥
٣	٥٠	١٠	٠/٢٠	٣٨	١٦٤	٢٠٢

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۵. مقایسه جواب‌های الگوریتم پیشنهادی و نرم‌افزار لینگو

نوع مسیر	تعداد درخواست موجود	تعداد درخواست جدید	درجه پویایی	نرم‌افزار لینگو		الگوریتم پیشنهادی	
				جواب بهینه	زمان حل (دقیقه)	جواب بهینه	زمان حل (دقیقه)
۱	۳۵	۵	۰/۱۴	۵۷۷/۱۷۴	۱۱/۳	۵۸۱/۳۱۹	۲/۱۵
۱	۳۵	۱۰	۰/۲۹	۶۴۹/۲۰۵	۱۳/۱۹	۶۵۷/۱۱۱	۲/۶۱
۱	۴۵	۵	۰/۱۱	۶۰۱/۰۰۷	۱۴/۳۵	۶۱۲/۰۳۱	۲/۶۸
۱	۴۵	۱۰	۰/۲۲	۶۷۲/۵۶۳	۱۴/۹۷	۶۸۱/۵۵۲	۲/۹۶
۱	۵۰	۱۰	۰/۲۰	۷۷۹/۲۱۸	۱۹/۸۳	۷۹۱/۵۶۹	۳/۲۶
۲	۳۵	۵	۰/۱۴	۷۸۹/۷۱۹	۱۲/۳	۸۰۳/۵۸۱	۲/۲۲
۲	۳۵	۱۰	۰/۲۹	۹۰۳/۰۹۴	۱۲/۶۷	۹۱۷/۰۷۶	۲/۵۲
۲	۴۵	۵	۰/۱۱	۸۲۹/۸۰۲	۱۴/۷۱	۸۳۵/۵۹۷	۲/۷۵
۲	۴۵	۱۰	۰/۲۲	۹۴۹/۵۱۲	۱۹/۹۴	۹۶۲/۲۹۷	۳/۲
۲	۵۰	۱۰	۰/۲۰	۸۹۷/۱۱۷	۲۱/۲۵	۹۰۹/۳۵۱	۳/۴۷
۳	۳۵	۵	۰/۱۴	۱۱۷۲/۶۸۱	۱۳/۶۲	۱۱۹۷/۲۳۱	۲/۶
۳	۳۵	۱۰	۰/۲۹	۱۲۲۹/۳۳۵	۱۵/۱۱	۱۲۶۱/۸۷۶	۲/۶۸
۳	۴۵	۵	۰/۱۱	۱۱۷۳/۷۴۷	۱۵/۷۵	۱۱۹۵/۰۴۳	۲/۹۲
۳	۴۵	۱۰	۰/۲۲	۱۲۹۸/۰۰۲	۱۸/۷۴	۱۳۳۹/۵۱۹	۳/۲۵
۳	۵۰	۱۰	۰/۲۰	۱۴۸۵/۲۶۶	۱۹/۴۲	۱۵۱۸/۷۷۲	۳/۳۷



شکل ۷. مقایسه زمان‌های حل با توجه به افزایش تعداد درخواست‌ها و درجه پویایی

Archive of SID
www.SID.ir

٦-مطالعه موردی

به‌منظور درک بهتری نسبت به مدل پیشنهادی و الگوریتم ارایه شده، از داده‌های یکی از شرکت‌های حمل مسافر در شهر اراک استفاده شده است. این داده‌ها در یک دوره یک ماهه در سال ۱۳۹۰ جمع‌آوری گردیده است.

به‌طور متوسط روزانه ۱۲۰۰ درخواست برای سفرهای درون‌شهری ارایه می‌گردد. همچنین به دلیل حجم درخواست‌ها و کافی نبودن ناوگان در ساعات پیک (بین ۱٤۰ تا ۲۰۰ درخواست در ساعت)، حدود ۱۵ درصد از این درخواست‌ها مورد پذیرش قرار نمی‌گیرد. زمان پاسخ‌گویی به مسافران در هنگام ارایه درخواست، کاهش تعداد درخواست‌های بدون پاسخ و نیز حداقل کردن میزان نارضایتی مسافران، از مهم‌ترین دغدغه‌های این شرکت حمل و نقل مسافر به‌شمار می‌آید و این موارد، معیارهای خوبی برای بررسی کارایی مدل و الگوریتم پیشنهادی است. برای مقایسه کارایی الگوریتم، نمونه‌هایی از داده‌های ساعات پیک در دوره یک ماهه ذکر شده مورد بررسی قرار گرفته است که این مسایل با استفاده از نرم‌افزار لینگو و الگوریتم پیشنهادی حل شده و نتایج آن در جدول ٦ آمده است.

با توجه به اهمیت زمان پاسخ به درخواست‌های مسافران و نیز حداقل کردن درخواست‌های بدون پاسخ، عملکرد الگوریتم پیشنهادی بسیار بهتر از جواب‌های به‌دست آمده از نرم‌افزار لینگو است. مقایسه درصد پذیرش درخواست‌های جدید نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی نسبت به لینگو و حالت واقعی (حدود ۹۰ درصد) جواب‌های بهتری را به‌دست می‌دهد.

جدول ٦. مقایسه جواب‌های الگوریتم پیشنهادی و نرم‌افزار لینگو برای مطالعه موردی

شماره مسئله	تعداد درخواست موجود	تعداد درخواست جدید	لینگو				الگوریتم پیشنهادی			
			درخواست‌های پذیرفته شده	زمان حل (دقیقه)	جواب بهینه	درصد پذیرش	درخواست‌های پذیرفته شده	زمان حل (دقیقه)	جواب بهینه	درصد پذیرش
۱	۱۱	۹	۸	۹/۲۵	۳۷۲/۱۲	۸۸/۸۹	۹	۲/۳۵	۳۸۱/۳۵	۱۰۰
۲	۸	۱۲	۱۰	۱٤/۷۸	۳۹۱/۳٤	۸۳/۳۳	۱۱	٤/۱۸	٤۰۰/٤۸	۹۱/٦۷
۳	۵	۷	٦	۸/۰۳	۳٦۳/٦۱	۸۵/۷۱	۷	۲/۲٤	۳۷۹/٤٤	۱۰۰
٤	۱۵	۱٤	۱۲	۱٦/۳۷	٤۱۵/۱۱	۷۸/۵۷	۱۳	٤/۷۵	٤۲۸/۳۱	۹۲/۸۵
۵	۷	۹	۸	۱۰/٤۵	۳۷۰/۲٦	۸۸/۸۹	۹	۳/۱۵	۳۷۹/۲۷	۱۰۰
٦	۸	۸	۷	۹/۳۸	۳٦٦/۰۱	۸۷/۵	۸	۲/٤۲	۳۷۸/۹۵	۱۰۰
۷	٦	۱۳	۱۱	۱۷/۳۵	٤۱۳/٦۳	۸٤/٦۱	۱۲	٤/۵	٤۲۹/۱۹	۹۲/۳۱
۸	۱۲	۱٤	۱۳	۱۷/٤۹	٤۲۱/۷۵	۹۲/۸۵	۱۳	٤/۲	٤۳٤/۷۱	۹۲/۸۵
۹	۸	۸	۷	۹/۷۱	۳٦۹/۸۲	۸۷/۵	۸	۲/۳۵	۳۷٦/۳٤	۱۰۰
۱۰	۱۱	۱۰	۹	۱۰/۲۵	۳۸۲/۵٤	۹۰	۹	۲/۸٤	۳۹۰/۲۵	۹۰

Archive of SID
www.SID.ir

۷-نتیجه‌گیری و پیشنهاد تحقیقات آتی

مسئله تاکسی تلفنی یکی از مسایل معروف در حوزه مسیریابی وسایل نقلیه با دریافت و تحویل است. مهم‌ترین تفاوت حمل و نقل کالا و مسافر به‌واسطه محدودیت‌هایی است که بیانگر نارضایتی مسافر می‌گردد. عواملی مانند میزان حضور مسافر در وسیله نقلیه و میزان تأخیر وسیله نقلیه در محل سوار و پیاده کردن مسافر نمونه‌هایی از این محدودیت‌ها است.

حالت پویای این مسئله به‌دلیل پیچیدگی‌هایی که در بر دارد کمتر مورد کنکاش قرار گرفته است. در این مقاله الگوریتمی برای مسئله‌ای از حالت پویای مسئله تاکسی تلفنی ارایه شد.

در این مسئله میزان سطح نارضایتی مسافران به‌عنوان تابع هدف اصلی مدنظر قرار گرفت. رویکرد این الگوریتم به گونه‌ای است که به دنبال بیشترین درصد پذیرش درخواست‌های جدید با هدف حداقل کردن سطح نارضایتی مسافران در کمترین زمان ممکن می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که هر چه درصد پویایی مسئله افزایش می‌یابد، میزان انحراف سطح نارضایتی نیز افزایش خواهد یافت. بررسی زمان اجرای الگوریتم نشان می‌دهد که نه تنها در زمان پاسخ‌گویی به درخواست‌های جدید بلکه در هنگام یافتن بهترین مسیرها، الگوریتم بسیار سریع عمل می‌کند.

هر چند استفاده از الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌ها، با کمی انحراف از جواب بهینه همراه است اما علاوه بر سرعت بالا در پاسخ‌گویی، به پذیرش حداکثر درخواست‌های جدید می‌انجامد (بیش از ۹۰ درصد).

در این پژوهش نارضایتی مسافران تنها از طریق زمان انتظار، میزان حضور در وسیله نقلیه و میزان دیر رسیدن به مقصد اندازه‌گیری شده است، در حالی‌که معیارهای دیگری مانند راحتی وسیله نقلیه، هزینه حمل و نقل، ساعات در دسترس بودن خدمات و عدم پاسخ‌گویی به درخواست نیز می‌تواند در پژوهش‌های آتی مدنظر قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌گردد طی پژوهشی، نتایج الگوریتم پیشنهادی و مشابه آن با تصمیمات واقعی اتخاذ شده مورد بررسی قرار گیرد. در این پژوهش تنها ناوگان یک شرکت حمل و نقل مدنظر قرار گرفته است در حالی‌که امکان استفاده از ناوگان سایر شرکت‌ها نیز می‌تواند نتایج را تحت تأثیر قرار دهد.

۸- پی‌نوشت‌ها

1. Vehicle Routing Problem (VRP)
2. Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery (VRPPD)
3. Many to Many Problem (M-to-M)
4. One to Many to One Problem (1-M-1)
5. One to One Problem (1-to-1)
6. Static and Dynamic
7. Dial-a-Ride Problem (DARP)
8. Maximum Ride Time
9. Parallel Algorithm
10. Planning Horizon
11. Tabu Search
12. Repository
13. Inconvenience
14. Level of Dissatisfaction (LOD)
15. Desired Service Time (DV)
16. Excess Ride Time (ERT)
17. Wait Time (WT)
18. Late Time (LT)

۹- مراجع

- Attanaio, A., Cordeaue, J. F. O., Ghiani, G. and Laporte, G. (2004) "Parallel Tabu search heuristics for the dynamic multi-vehicle dial-a-ride problem". Parallel Computing, 30, pp. 377-387.
- Beaudry, A., Laporte, G., Melo, T. and Nickel, S. (2010) "Dynamic transportation of patients in hospitals". OR Spectrum, 32, pp. 77-107.
- Berbeglia, G., Cordeau, J. F., Gribkovskaia, I. and Laorte, G. (2007) "Static pickup and delivery problems: a classification scheme and survey". TOP, 15, pp. 1-31.
- Berbeglia, G., Cordeau, J. F. and Laporte, G (2009) "Dynamic pickup and delivery problems European Journal of Operational Research", 202, pp. 8-15.
- Cordeau, J. F. and Laporte, G. (2007) "The dial-a-ride problem: models and algorithms". Annals of Operations Research, 153, pp. 29-46.
- Coslovich, L., Pesenti, R and Ukovich, W. (2006) "A two-phase insertion technique of unexpected customers for a dynamic dial-a-ride problem". European Journal of Operational Research, 175, pp. 1605-1615.
- Dantzich, G. B. and Ramser, R. H. (1959) "The truck dispatching problem". Management Science, 6, pp. 80-91.

Archive of SID
www.SID.ir

- Ghiangi, G., Laporet, G. and Musmanno, R. (2004) "Introduction to logistics systems planning and control", John Wiley.
- Healy, P. and Moll, R. (1995) "A new extension of local search applied to the Dial-a-Ride Problem". European Journal of Operational Research, 83, pp. 83-104.
- Horn, M. E. T. (2002) "Fleet scheduling and dispatching for demand-responsive passenger services". Transportation Research Part C, 10, pp. 35-63.
- Madsen, O. B. G., Ravn, H. F. and Ryaggard, J. M. (1995) "A heuristic algorithm for a dial-a-ride problem with time windows, multiple capacities, and multiple objectives". Annals of Operations Research, 60, pp. 193-208.
- Paqyette, J., Cordeau, J.-F. and Laporte, G. (2008) "Quality of service in dial-a-ride operations". Computers and Industrial Engineering, 56, pp. 1721-1734.
- Psaraftis, H. N. (1980) "A dynamic programming approach to the single-vehicle many-to-many immediate request dial-a-ride problem". Transportation Science, 14, pp. 130-154.
- Teodorovic, D. and Radivojevic, G. (2000) "A fuzzy logic approach to dynamic Dial-a-Ride problem". Fuzzy Sets and Systems, 116, pp. 23-33.
- Xiang, Z., Chu, C. and Chen, H. (2008) "The study of a dynamic dial-a-ride problem under time-dependent and stochastic environments". European Journal of Operational Research, 185, pp. 534-551.

Archive of SID

www.SID.ir