ارائه مدل شبکه ای تاکسیرانی با استفاده ازمساله بهینه سازی ریاضی
(مطالعه موردی، شهرتهران)

سیدمحمد مهدی میرزایی قمی[1]، عمار سعیدیان فر[2]
۱- کارشناس ارشد برنامه ریزی حمل و نقل دانشگاه علم و صنعت ایران
۲- کارشناس ارشد راه و ترابری دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

به منظور پیاده سازی تعریف و عملکرد واقعی تاکسی وایجاد تطابق با شاخص های استاندارد شده جهانی، مجموعه ای جدید، زیر پوشش موسسات خصوصی در شهر تهران به تازگی مشغول فعالیت شده اند.این نوع تاکسی ها با عنوان تاکسی های استاندارد (دراختیار)، مسافران را به صورت دربست از مبدا ابتدایی سفرشان تا مقصد نهایی جابجا می نمایند. از اینرو در این مقاله، برای شبیه سازی وضعیت عملکرد وجابجایی مسافران توسط این گروه از تاکسی ها، یک مدل شبکه ای برای تشریح چگونگی حرکت تاکسی های استاندارد خالی وپر، برای یافتن مسافران تامین خدمات حمل ونقل ارائه شده است این مدل می تواند تعدادی از شاخصه های کارایی سیستم از قبیل حرکت تاکسی های خالی، میزان استفاده از تاکسی برای یک شبکه خیابانی مفروض و الگوی تقاضای مشتریان به صورت مبدا-مقصد، درحالت تعادل، تعیین نماید. تاثیرحجم ناوگان و عدم قطعیت درعملکرد سیستم، مشخصا در مدل ارائه شده، قابل محاسبه است. این مدل دیدگاه های نوینی رادرباره ماهیت تعادل درخدمات تاکسیرانی پیشنهاد می دهد. همچنین ازدیگر پیشنهادهای این مدل،خط مشی ها و سیاست گذاری های مرتبط است که خروجی های حاصل ازآن برای تصمیم گیری های اجرایی مناسب می باشد.در نتیجه شاهد خواهیم بود که میزان کارایی تاکسی ها با افزایش تعدادتاکسی های فعال، به شدت کاهش می یابد واین که هرچه میزان استفاده از تاکسی ها بیشترباشد، میانگین زمان انتظار مسافران نیز بالاتر می رود.

کلید واژه: شبکه راه جابجایی تاکسی، سطح سرویس،کارایی تاکسی و زمان انتظار

۱- مقدمه

تاکسی ها وسایل نقلیه مهمی هستند که ارائه کننده ی خدمات حمل ونقلی سریع، راحت و در دسترس، در اکثر مناطق شهری می باشند. قوانین جاری مربوط به خدمات تاکسیرانی به عنوان یکی از مسائل قابل توجه برای سازمان ها و ارگان های مسئول شهری و دولتی، توسعه چشمگیری داشته است. قوانین تاکسیرانی عمدتا دردوبخش اصلی قیمت گذاری وکنترل های ورودی (کنترل برنحوه ارائه خدمات) از اهمیت بسزایی برخوردار می باشند. درواقع در رابطه با این موضوع همیشه این سوال مهم مطرح بوده است که ابتدا چه محدودیت های، درصورت لزوم، باید برای عرضه تاکسی ها درنظرگرفته شود؟ و دوم این که چه کنترل هایی بر قیمت ها باید انجام پذیرد؟ این دوسوال به طور گسترده و ازجنبه های مختلفی توسط متخصصین مورد بررسی قرارگرفته است [۱،۲و۳]. این مطالعات می توانند به طورعمده ای برپایه یک مدل هم فزون شده تقاضا وعرضه ویا براساس فرضیات ساده سازی در قالب یک مدل ساختاری ویژه برای هریک از تاکسی های گردشی (استاندار) و یا تاکسی های ارسالی (ازمراکز کنترل) هم در بازارهای رقابتی (بامدیریت های شرکت های خصوصی) و هم در بازارهای انحصاری (با مدیریت دولتی) بکارگرفته شوند. خاطر نشان می سازد که مدل سازی مذکورتنها برای خدمات تاکسی های استاندارد مدنظر قرارگرفته است. تاکسی های استاندارد به صورت دربست و مطابق بامسیر مشتریان اقدام به جابجایی مسافران می نماید.تاکسی های استاندارد یا می توانند به صورت گردشی درسطح شهر به جستجوی مسافر بپردازند و یا ازطریق مراکز کنترل اصلی به مبدا مسافر ارسال شوند.

به طور کلی سه فرض اساسی درتمامی این مدل وجود دارد:۱) متوسط زمان انتظار مسافران به مجموع تاکسی های خالی (برحسب وسیله-ساعت) وابسته است،۲) تعداد تاکسی های فعال (مورد تقاضا) به نرخ کرایه و زمان انتظار رانندگان بستگی دارد و ۳) هزینه عملکردی تاکسی به ازای هرساعت ثابت می باشد[۴]. با این مفروضات، تحلیل های اقتصادی می تواند منجر به نتایج توصیفی مربوط به قوانین جاری تاکسیرانی گردند. درمطالعات پیشین منسکی ورایت[1] (۱۹۷۶) [۵]، یک مدل ساختاری ویژه برای یک ایستگاه مجزای تاکسی ارائه دادند.

ارائه دادند. دراین مدل نحوه ورود تاکسی ها به ایستگاه با توجه به یک فرآیند پواسون اتفاق می افتد. بدین ترتیب که نرخ ورود تاکسی ها به ایستگاه بصورت خطی و بر اساس کرایه (به ازای واحد زمان استفاده از تاکسی) وزمان انتظار در ایستگاه می باشد. هم چنین فرض شده است که یک صف منفرد، دارای یک توزیع نمایی متناسب بازمان ارائه خدمات می باشد که ازدستور اولین سرویس ورودی، اولین سرویس خروجی خواهد بود، (فرضیه تئوری صف) پیروی می کند. آرنوت[۲] (۱۹۹۶) [۶]، اولین اپراتورهای مناسب برای ارسال خدمات تاکسی را با در نظرگیری توزیع یکنواخت تقاضای مسافران در یک شهر دو بعدی همگن (ازنظرمکانی) مورد بررسی قرارداده است. وینتایجرا بدین صورت تشریح کرده که به سفرهای با تاکسی باید یارانه تعلق گیرد تا شرایط مطلوب اجتماعی محقق شود.

کیرنز ولیستون هیز[۳] (۱۹۹۶) [۱] نشان داده اند که برای دستیابی به یک مدل ساده و تعادلی ازخدمات تاکسیرانی، وضع قوانین مربوط به کرایه تاکسی ها ضروری می باشد اما اگر تنها قوانین مربوط به کرایه بررسی گردد، مورد دوم (کنترل ناوگان) بدون حمایت مادی (یارانه) نمی تواند حاصل شود که این به علت تغییردرتعداد مسافران خارج ازسیستم خواهد بود در واقع باکاهش کرایه تاکسی ها تعدادی ازمسافرانی که قبلا از سیستم حمل ونقل دیگری برای جا به جایی خود استفاده می کردند به سمت سیستم تاکسی یا برعکس جذب می شوند. در ضمن با افزایش کرایه تاکسی ها نیزتعدادی از مسافران تاکسی از سایر شیوه های حمل ونقل که ارزان تر هستند استفاده خواهند نمود. مورد دوم تنها زمانی قابل دست یابی است که حداقل کرایه ها و افزونی استفاده ازتاکسی ها قانونمند شده باشد، هر چند کنترل ناوگان درمورد افزایش استفاده از تاکسی ها ممکن است، بامشکل همراه باشد. عموماً عینیت بخشیدن به روابط بین عرضه و تقاضا برای خدمات تاکسیرانی بسیار پیچیده تر از موارد مشابه آن دررابطه با کالا وخدماتی است که بطور مثال در تحلیل های کلاسیک اقتصادی استفاده می شوند. عمده ترین مشخص های که تاکسی سرویس را از سایر موارد به کاربرده شده دربازارهای رقابتی مرسوم متمایز می گرداند، نقش متغیرهای تاثیرگذار بردسترسی تاکسی (زمان انتظار قابل چشم داشت مسافران) واستفاده ازتاکسی (به استثنای کسری اززمان که تاکسی اشغال است) درراستای وابستگی عرضه وتقاضا خدمات تاکسیرانی می باشد[۴]. به طور کلی درحالت تعادل مقدار عرضه خدمات تاکسی (زمان خالی وپربودن تاکسی و برحسب تاکسی ساعت) درشرایط عادی بیشتر ازحجم تقاضا (ساعت پربودن تاکسی برحسب تاکسی –ساعت) است. این بدین معنی است که همیشه مقدارمشخص کمبود درسیستم وجود دارد. میزان کمبود (ساعات غیراشغالی تاکسی ها) ضریب اصلی درتعیین متوسط زمان انتظار مسافران به عنوان شاخصه مهم سطح سرویس می باشد[۷، ۸، ۹].

در واقعیت عرضه و تقاضای خدمات تاکسیرانی دربیشتر بخشهای شهری رخ می دهد از این رو مدل تعادلی باید مرتبط با یک ساختار مشخص شبکه تفصیلی راه و یک الگو تقاضای مبدا مقصد مسافری (O-D) درقالب یک شبکه قراردادی تخصیص ترافیک تعیین شود.این موضوع هم برای تخمین وضعیت تراکم ترافیکی راه به علت حرکت وجابجایی تاکسی ها و هم فهم دقیق ماهیت تعادل در خدمات تاکسیرانی مهم می باشد[۱۰]. در واقع یک مدل ساده تفکیک وسیله[۵] برای تاکسی ها جهت پیش بینی ماتریس های مربوط به سفر-نفر و سفر-وسیله با تاکسی و ایجاد هماهنگی بین آنها به عنوان یک مولفه مهم ترکیبی، درمطالعات جامع حمل ونقل و ترافیک قابل ارائه می باشد. در تهران انواع مختلفی از تاکسی درحال خدمت رسانی می باشند این مجموعه شامل تاکسی های گردشی، خطی، پایانه ای و تلفنی بوده که تحت نظارت سازمان تاکسیرانی فعال هستند. در همین راستا آژانس ها نیز با مدیریت بخش خصوصی تولید خدمت می کنند. در حال حاضر با توجه به عدم توسعه همه جانبه سامانه حمل و نقل همگانی در تهران، تقاضای قابل توجهی نسبت به تاکسی وجود دارد که در این بین سهم تاکسی از جابجایی سفرهای روزانه تهران حدود ۲۵ درصد است. همچنین سهم تاثیر گذاری آن بر روند جریان ترافیک شبکه معابر تهران در نقاط مختلف شهر بین ۱۷ تا ۲۲ درصد متغیر بوده که متوسط آن ۱۹ درصد می باشد(این سهم شامل انواع تاکسی و مسافربر است) [۱۱]. اما قابل توجه است که مجموعه فعال تحت نظارت تاکسیرانی (به ویژه در بخش تاکسی های گردشی) به جهت عملکرد، فاصله زیادی با استانداردهای جهانی دارد. لذا اخیرا مجموعه ای جدید تحت نظارت بخش خصوصی به سیستم تاکسی ها وارد شده است که مسافران را به صورت دربست و مطابق با مسیر مسافر جابجا می نماید. این مجموعه که با عنوان تاکسی های استاندارد (در اختیار) در طرح جامع حمل و نقل و ترافیک تهران از آن ها یاد و جهت جایگزینی تاکسی های گردشی مورد پیشنهاد واقع شده است، سهم بسزایی را (از نظر حجم جابجایی مسافر) تا افق طرح به خود اختصاص می دهد[۱۱]. تاکسی های استاندارد دارای قابلیت می باشند که از مراکز کنترل اصلی و یا ایستگاه های در نظر گرفته شده برای آن ها که در مراکز عمده تجمع مسافر واقع هستند به مبدا مسافران ارسال شوند. در این مقاله یک مدل شبکه ای برای تشریح چگونگی جستجوی مسافر در شبکه توسط تاکسی های پر (اشغال) و خالی و ارائه خدمات حمل و نقلی با الگوی تقاضای مسافران به صورت مبدا-مقصد (O-D)، بکار برده شده است. مدل ارائه شده این قابلیت را دارد که مشخصا تاثیر حجم ناوگان تاکسیرانی و عدم قطعیت در ابعاد مختلف عملکردی سیستم را در حالت تعادل اندازه گیری نماید. همچنین مدل مذکور می تواند اطلاعات مورد نیاز مراجع تصمیم گیر دولتی را برای وضع قوانین مربوط به تاکسی، تامین کند.

۲- مدل پیشنهادی

۲-۱- مجموعه فرض ها برای ساخت مدل

فرض می شود که G(A ,V) یک شبکه راه با مجموعه ای از گره های (V) و کمان های(A) است که در آن تقاضای سفر و حرکت با تاکسی موجود و در حالت پایدار می باشد. همچنین فرض می شود که Dij تقاضای ساعتی سفر با تاکسی از ناحیه i به ناحیه j (برحسب تاکسی بر ساعت) ثابت و معلوم است. در نظر بگیرید I $(i \in I)$ و J $(j \in J)$ به ترتیب مجموعه نواحی مبدا و مقصد سفر با تاکسی باشند، در این صورت روابط شماره ۱ و ۲ بدست می آیند:

$$O_i = \sum_{j \in J} D_{ij} \qquad i \in I \qquad (۱)$$

$$D_j = \sum_{i \in I} D_{ij} \qquad j \in J \qquad (۲)$$

که در آن ها I و J هر دو زیر مجموعه ای از V هستند $(i \in I \subset V , j \in J \subset V)$ و O_i و Dj به ترتیب تعداد سفرهای تولید شده با تاکسی از مبدأ i تا سایر نواحی و تعداد سفرهای جذب شده به مقصد j از دیگر نواحی می باشد. به علاوه فرض می شود t_a که زمان سفر (بر حسب ساعت) در کمان $a (a \in A)$ و t_{ij} زمان سفر (بر حسب ساعت) بین مبدا i و مقصد j از طریق کوتاهترین مسیر باشد و برای ساده سازی t_a و t_{ij} ثابت منظور می شود (تراکم ترافیک در این جا لحاظ نشده است).

فرض می شود که تعداد N تاکسی در شبکه در حال حرکت باشند به طوریکه کلیه تاکسی های پر (اشغال) بر اساس تخصیص ترافیکی همه یا هیچ[۶] در شبکه، جریان می یابند. به طور مثال، یک تاکسی به محض پر شدن در مبدأ (i) تا مقصد مسافر (j) از کوتاهترین مسیر عبور می کند و پس از پیاده شدن مسافر، تاکسی یا در همان ناحیه یا در نواحی دیگر به جستجوی مسافر بعدی می پردازد. در یافتن مسافر، فرض بر این است که هر راننده تاکسی سعی در کمینه کردن زمان (قابل انتظار) جستجوی خود را دارد.

۲-۲- محدودیت ها و قیدهای مربوط به زمان ارائه خدمات تاکسی

اکنون در یک واحد دوره زمانی (یک ساعت) عملکرد تاکسی ها در شبکه، همراه با تقاضای مشتریان در یک حالت پایدار در نظر گرفته می شود. کل زمان اشغال تاکسی ها (TOT)[۷] معادل است با تعداد تاکسی – ساعت مورد نیاز برای پاسخگویی به کل تقاضای سفر ($D_{ij} = T_{ij}$) در کلیه نواحی $(i \in I , j \in J)$، می توان نوشت :

$$TOT = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} T^{\circ}_{ij} \; t_{ij}$$

که در آن T°_{ij} حجم سفرهای تاکسی های اشغال شده (برحسب وسیله بر ساعت) از ناحیه i به ناحیه j می باشد. از سوی دیگر کل زمان غیراشغالی (خالی بودن تاکسی ها (TUT)[۸] برابر با مجموع کل زمان های جابجایی (جستجوی) تاکسی های خالی از ناحیه ای به ناحیه دیگر و زمان های انتظار (جستجوی) درون ناحیه ای است. این زمان با استفاده از رابطه (۴) بدست می آید.

$$TUT = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} T^{v}_{ij} \; (t_{ij} + W_i) \qquad (۴)$$

که در آن T^{v}_{ij} تعداد جابجایی های تاکسی خالی (بر حسب وسیله بر ساعت) از ناحیه j به ناحیه i و W_i مدت زمان انتظار در ناحیه i می باشد .

مجموع زمان اشغال بودن تاکسی (TOT) و زمان خالی بودن آن (TUT) باید معادل با کل زمان خدمت دهی تاکسی ها مطابق با رابطه (۵) شود .

(۵)

TOT + TUT :کل زمان خدمت دهی تاکسی ها

که در آن :

TOT : کل زمان اشغال تاکسی ها

TUT : کل زمان خالی بودن تاکسی ها می باشد.

بنابراین کل زمان خدمت دهی تاکسی ها باید در یک دوره زمانی یک ساعته به وسیله رابطه (۶) ارضاء شود.

(۶)

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} T^{\circ}_{ii} \; t_{ij} + \sum_{j \in I} \sum_{i \in J} T^{v}_{ii} \; (t_{ji} + W_i) = N$$

که در آن :

N : تعداد کل تاکسی ها در شبکه

t_{ij} : زمان سفر با تاکسی بین مبدأ i و مقصد j (برحسب ساعت)

t_{ij} : زمان سفر با تاکسی بین مقصد j و مبدأ i (بر حسب ساعت)

T°_{ij} : تعداد تاکسی های پرجابجا شده از ناحیه i به ناحیه j (برحسب وسیله بر ساعت)

T^{r}_{ji} : تعداد تاکسی های خالی جابجا شده از ناحیه j به ناحیه i (برحسب وسیله بر ساعت)

W_i : مدت زمان انتظار تاکسی ها در ناحیه i (برحسب ساعت)

۲-۳- مدل سازی چگونگی جستجوی مسافر توسط رانندگان تاکسی

زمانی که سفر یک متقاضی تاکسی در مقصد j ($j \in J$) به پایان می رسد، راننده تاکسی می تواند یا در همان ناحیه مانده و یا به ناحیه ای دیگر برای یافتن مسافر حرکت کند (با فرض این که در هر ناحیه، ایستگاهی برای ایستادن تاکسی ها وجود دارد). فرض می شود که هر راننده سعی می کند تا زمان قابل انتظار خود را برای یافتن مسافر کمینه نماید و دیگر این که زمان (قابل انتظار) جستجوی مسافر در یک ناحیه، یک متغیر تصادفی است. تصادفی بودن مقدار این کمیت می تواند ناشی از عدم اثبات و دگرگونی در تشخیص (ادراک) راننده برای یافتن مسافر و ورود تصادفی مسافران باشد. همچنین در نظر گرفته می شود که این متغیر تصادفی توزیعی همانند تابع چگالی احتمال گامبل[۹] دارد. بدین ترتیب فرض می گردد که احتمال یافتن مسافر در ناحیه i ($i \in I$) برای تاکسی ای که جستجوی خود را از ناحیه j ($j \in J$) آغاز کرده است، از مدل لوجیت در قالب رابطه (۷) پیروی می کند :

$$P_{i|j} = \frac{\exp[-\theta(t_{ji}+w_i)]}{\sum_{m\in I}\exp[-\theta(t_{jm}+w_m)]} \qquad \forall i \in I, \forall j \in J \qquad (۷)$$

که در آن $P_{i|j}$ (برای حالتی که i=j باشد)، بیانگر احتمال وقوع پیش آمدی است که در آن تاکسی ای که مسافری را به مقصد ناحیه j جابجا می نماید، در جستجوی مسافر بعدی در همان ناحیه برآمده و مسافر خود را نیز در همان ناحیه سوار کند ($P_{i|j} = w_j$) . $m \in I$ جموعه نواحی میانی است که راننده تاکسی در جستجوی مسافر از مبدأ i تا رسیدن به مقصد از آنها عبور می نماید و θ پارامتر غیرمنفی است که می توان آن را بر اساس اطلاعات مشاهده شده برآورد کرد. مقدار θ نشان دهنده درجه نامعینی (عدم قطعیت) تقاضای مسافران و خدمات تاکسیرانی در کل بازار (از دیدگاه فردی رانندگان تاکسی) می باشد. کوچکی مقدار θ به معنی وجود تغییرات تصادفی زیاد و کمی اطلاعات در دسترس در بازار برای رانندگان تاکسی است. از طرف دیگر اگر θ بسیار بزرگ باشد، یا خطای تصادفی کوچک است و یا اطلاعات بیشتری در دسترس می باشد و یا ممکن است به دلیل هر دو مورد مذکور باشد. در این صورت رانندگان ناحیه ای را انتخاب می کنند که در آن ناحیه زمان انتظار کمتری برای یافتن یک مسافر مورد نیاز است. در حالت خاص اگر θ به سمت بی نهایت میل کند، مدل به سمت یک حالت معین می رود که در آن اطلاعات کاملی درباره زمان جستجو در دسترس می باشد.

شایان ذکر است از آن جایی که برخورد بین یک مسافر منتظر و یک تاکسی خالی در ناحیه ای مشخص به وسیله یک تابع احتمال از نوع مدل لوجیت مشخص می گردد، مدل یاد شده، امکان این که این تاکسی خالی قبل از رسیدن به مسافر خود از چند ناحیه گذشته باشد را حذف نمی کند.

در حالت تعادل ایستا، حرکت تاکسی های خالی در شبکه باید به گونه ای باشد که تقاضای مسافران در تمامی نواحی مبدأ را پوشش دهد و یا این که هر مسافری پس از یک روند انتظار و جستجو به خدمات تاکسی ها دست یابد؛ به عبارت دیگر در حالت تعادل ایستا تعداد تاکسی های موجود تکافوی تقاضا را می کنند و در حقیقت هیچ مسافری بدون بهره مندی از خدمات تاکسیرانی باقی نمی ماند.

چون در هر ساعت، Dj تاکسی، ارائه سرویس خود را در مقصد j به پایان می رسانند، باید داشت:

$$\sum_{j\in J} D_j P_{i|j} = O_i \qquad \forall i \in I \qquad (۸)$$

در روابط (۷) و (۸) متغیر های O_i،D_j و t_{ij} (برای $i \in I$ و $j \in J$) به عنوان ورودی های مدل از سایر منابع معلوم می باشد ولی W_i ($i \in I$) در درون مدل پرداخت می شود. باید توجه داشت که بلافاصله پس از مشخص شدن W_i، $P_{i|j}$ مشخصاً به صورت یگانه حاصل می گردد. بدین ترتیب تعداد $|I|$ متغیر W_i وجود دارد، که باید تعیین شود که در آن $|I|$ بیانگر تعداد نواحی مبدأ سفر می باشد. همچنین تعداد $|I|$ معادله در رابطه (۸) وجود دارد. اما در اینجا یک رابطه وابسته در مجموعه روابط (۸) وجود دارد. که این امر در رابطه (۹) قابل مشاهده است.

$$\sum_{i\in I}\left[\sum_{j\in J} D_j P_{i|j}\right] = \sum_{j\in J} D_j \left[\sum_{i\in I} P_{i|j}\right] = \sum_{j\in J} D_j = \sum_{i\in I} O_i = \text{ثابت} \qquad (۹)$$

که در آن $\sum_{i\in I} P_{i|j} = 1$ می باشد.

در حقیقت یک قید اضافی از رابطه (۶) باید ارضاء گردد. در نتیجه تعداد $|I|$ رابطه مستقل برای تعیین یگانه مقادیر W_i (به تعداد $|I|$) در شرایط وجود N تاکسی و الگوی تقاضای مسافران (D_{ij}) وجود دارد.

۲-۴- تعیین اندازه گیری کمینه ناوگان تاکسیرانی

برای یک الگوی تقاضای مشخص در شبکه، تعداد تاکسی ها اثر زیادی بر سطح سرویس(میزان دسترسی به تاکسی ها یا زمان انتظار مسافر) و میزان به کار گیری (استفاده) از آن ها دارد. اگر اندازه ابعادی ناوگان تاکسیرانی بزرگ باشد دسترسی به تاکسی(که می توان آن را با زمان انتظار مسافران و یا سرفاصله های زمانی تاکسی های خالی در خیابان ها اندازه گرفت) می تواند، افزایش یابد. ولی به کارگیری تاکسی ها (که می توان آن را با میزان قابل انتظار کسری از زمان که یک تاکسی در اختیار مسافر است، اندازه گرفت). کاهش می یابد و به عکس در حالت خاص، اگر اندازه ناوگان بسیار کوچک باشد، ممکن است یک تعادلی پایدار وجود نداشته باشد. بنابراین مساله یافتن کمینه اندازه ناوگان، نیازمند تامین یک حالت تعادلی پایدار است. رابطه (۶) در واقع ارتباط بین اندازه ناوگان تاکسیرانی و جابجایی تاکسی ها در شرایط پایدار نشان می دهد. از این رو می توان حداقل ابعاد ناوگان تاکسیرانی را با کمینه کردن قسمت چپ رابطه (۶) نسبت به $w_i(i\epsilon I)$ به دست آورد .البته بدان شرط که محدودیت های رفتاری رانندگان تاکسی در رابطه (۷) و متعادل کردن تقارن در رابطه (۸) منظور گردد. اگر همه رانندگان تاکسی تحت نظارت و کنترل یک مدیریت مرکزی قرار گرفته باشند (مانند حالتی که بازار تاکسی به صورت انحصاری باشد) آنگاه مقدار$w_i(i\epsilon I)$در حالت کمیته تعداد تاکسی های فعال، باید صفر شود.

چون نخستین عبارت سمت چپ رابطه (۶) ثابت است. کمینه کردن اندازه ناوگان تاکسی (N) به معنی کمینه کردن عبارت دوم در رابطه (۶) می باشد از این رو کمینه اندازه گیری ناوگان تاکسیرانی را می توان را حل مسأله بهینه سازی ارسال تاکسی های[۱۰] خالی (کلیه تاکسی ها به وسیله مدیریت مرکزی با اطلاعات کامل از تقاضای مشتریان هدایت شوند) قالب روابط (۱۰) تا (۱۲) به دست آورد.

$$Min\ F\left(T_{ji}^{V}\right)=\sum_{i\epsilon j}\sum_{i\epsilon l}T_{ji}^{V}\,t_{ji} \qquad (۱۰)$$

$$\sum_{i\epsilon j}T_{ji}^{V}=\sum_{j\epsilon j}D_{ij} \qquad \forall_i\in I \qquad (۱۱)$$

$$\sum_{i\epsilon I}T_{ji}^{V}=\sum_{j\epsilon I}D_{ij} \qquad \forall_j\in j \qquad (۱۲)$$

محدودیت رابطه (۱۱) بیانگر معادله عرضه تاکسی است، بدین ترتیب که در حالت تعادل پایدار، تعداد تاکسی های در دسترس یا خالی در هر ناحیه (میزان عرضه تاکسی) باید برابر تعداد کل متقاضی باشد که مقصد آن ها نیز همان ناحیه است.

رابطه(۱۲) نشان دهنده معادله تقاضای تاکسی می باشد. بدین مفهوم که حالت تعادل پایدار، میزان تقاضای سفر با تاکسی در یک ناحیه (تقاضای تاکسی) باید برابر تعداد تاکسی های خالی روانه شده به آن ناحیه باشند یا به عبارت دیگر تاکسی ها باید چنان به مبادی مسافران ارسال شوند که در نهایت همه مسافران به خدمات تاکسی دست یابند.

اگر $(i\in I\ ,j\in J)T_{ji}^{V^0}$ به عنوان جواب بهینه روابط (۱۰) تا (۱۲) فرض گردد در آن صورت کمینه اندازه ناوگان تاکسیرانی که پاسخگوی تقاضای مشخصی از مسافران تاکسی باشد، از رابطه (۱۳) قابل حصول است.

$$N_{min}=\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}D_{ij}t_{ij}+\sum_{j\in J}\sum_{i\in I}T_{ji}^{V^o}t_{ji} \qquad (۱۳)$$

۳- ارائه الگوریتم حل مسئله

همان طور که در قبل ذکر شده یکی از قیودات رابطه (۸) اضافی است، می توان یکی از روابط مربوط به هر ناحیه مبدأ ($z\in I$) را به طور اختیاری حذف کرد. از جایگذاری رابطه (۷) در رابطه (۸) و مرتب نمودن عبارات، به دست می آید:

$$\exp(-\theta W_i)\sum_{j\epsilon J}\frac{D_i\exp(-\theta t_{ji})}{\sum_{m\epsilon I}exp\left[-\theta(t_{jm}+w_m\right]}=O_i \qquad \forall_i\in I \qquad (۱۴)$$

با گرفتن لگاریتم از دو طرف رابطه (۱۴) نتیجه می شود که:

$$W_i=-\frac{1}{\theta}LnO_i+\frac{1}{\theta}Ln\left[\sum_{j\epsilon J}\left(\frac{D_i\exp(-\theta t_{ji})}{\sum_{m\epsilon I}exp\left[-\theta(t_{jm}+w_m)\right]}\right)\right] \qquad (۱۵)$$

$\forall_i\in\{I-z\}$

بنابراین از حل رابطه (۶) برای زمان انتظار تاکسی (W_z) در شرایط انتخاب یک مبدأ خاص (ناحیه z) به دست می آید:

$$W_z=\frac{N-\sum_{i\epsilon I}\sum_{j\epsilon J}\left(T_{ij}^{0}t_{iji}+T_{ji}^{V}t_{ji}\right)-\sum_{i\epsilon(I-z)}\sum_{j\epsilon J}T_{ji}^{V}W_i}{\sum_{j\epsilon J}T_{jz}^{V}} \qquad (۱۶)$$

بدین ترتیب روابط (۱۵) و (۱۶) به صورت غیر خطی هستند که می توان آن ها را توسط الگوریتم نقطه ثابت حل کرد.

۴- بررسی و ارزیابی عملکرد سیستم تاکسیرانی

برای هر شبکه مفروض، می توان جواب مدل تعادلی روابط (۵) تا (۷) را به وسیله الگوریتم نقطه ثابت، برای تقاضای مبدأ – مقصد مسافران و تعداد تاکسی های داده شده، بدست آورد. بدین ترتیب می توان میزان عملکرد سیستم تاکسیرانی را در نقطه جواب تعادلی، ارزیابی کرد. در واقع پس از مشخص شدن جواب مسئله تاکسیرانی بوسیله حل روابط تعادلی، عملکرد سیستم تاکسیرانی بر پایه جواب بدست آمده و بوسیله شاخص های مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد. در ادامه چند شاخص ارزیابی عملکرد سیستم تاکسیرانی ارائه شده است.

۴-۱- سر فاصله ی زمانی حرکت تاکسی های خالی

متوسط سر فاصله زمانی حرکت تاکسی های خالی را می توان به عنوان شاخصی از میزان دسترسی به تاکسی در تمامی معابر در نظر گرفت.

$$\overline{H}^{Vt} = \frac{\sum_{a\in A} H_a^{Vt}}{|A|}$$

که در آن:

$\overline{H}^{Vt}$: متوسط سر فاصله ی زمانی حرکت تاکسی های خالی در کل شبکه

H_a^{Vt} : سر فاصله ی زمانی حرکت تاکسی های خالی در کمان a $(a \in A)$

$|A|$:تعداد کمان های شبکه

H_a^{Vt} را می توان در یک کمان از شبکه ی خیابانی برای پرداخت مدل اندازه گیری کرد[۱۰]. $\overline{H}^{Vt}$ وابسته به الگوی توضیح تقاضای مبدأ – مقصدی مسافران است. اگر تقاضای مبدأ – مقصدی مسافران به صورت یکسان توزیع شده باشد $(\forall_i \in I: O_i \approx D_i)$، بیشترین مقدار $\overline{H}^{Vt}$ مورد انتظار خواهد بود. واحد $\overline{H}^{Vt}$ دقیقه بر تاکسی خالی است. از این رو $\overline{H}^{Vt}$ / ۱ نرخ جریان تاکسی های خالی (تاکسی خالی بر دقیقه) می باشد و می توان این کمیت را میزانی از کارایی سیستم دانست. مقدار بیشتر کمیت مذکور به معنی حرکت بیشتر و بی مورد تاکسی های خالی است که موجب شلوغی شبکه ی آلودگی محیط زیست ونیز افزایش مصرف سوخت می گردد.

۴-۲- متوسط زمان انتظار تاکسی ها

زمان انتظار یا جستجوی تاکسی ها برای یافتن مسافران در بین نواحی مختلف متفاوت است. بنابراین یک شاخص از میزان ارزیابی عملکرد تاکسی ها را می توان میانگین وزنی زمان انتظار در نواحی مختلف $(\overline{W}_t)$ در نظر گرفت:

$$\overline{W}_t = \frac{\sum_{i\in I} O_i W_i}{\sum_{i\in I} O_i} \qquad (۱۷)$$

شایان توجه است که تعداد تاکسی هایی که در واحد زمان در هر ناحیه مبدأ در جستجوی مسافر بوده و متقاضیان خود را می یابند، باید برابر کل تقاضای مسافران در آن ناحیه در شرایط تعادل پایدار باشد.

۴-۳- متوسط کارایی تاکسی ها

یک میزان دقیق تر از کارایی تاکسی، نسبت به کل تاکسی های اشغال شده (تاکسی – ساعت) به کل تاکسی ها، (متوسط کسری از زمان که تاکسی در اختیار مسافر است) می باشد:

$$\overline{U}_t = \frac{\sum_{i\in I}\sum_{j\in J} D_{ij} t_{ij}}{N} \qquad (۱۸)$$

به وضوح مشاهده می شود که $\overline{U}_t$ منعکس کننده سودآوری بازار خدمات تاکسیرانی در یک قیمت تنظیم شده می باشد [۱۰]. در حقیقت در یک نرخ مشخص و ثابت از خدمات تاکسیرانی که بر اساس هزینه سفر (زمان و یا طول سفر) تنظیم شده است، میزان افزایش $\overline{U}_t$ نشانگر افزایش استفاده از تاکسی ها می باشد که این امر نیز سودآوری بازار خدمات تاکسیرانی را تضمین می نماید. باید توجه داشت که زمان انتظار مسافر، یک معیار مهم در سطوح خدمات رسانی تاکسی است اما نمی توان آن را مستقیماً از مدل ارائه شده به دست آورد (در این جا به این موضوع پرداخته نمی شود). شایان ذکر است که تمامی محاسبات ارائه شده از مشخصات عملکردی سیستم، تابعی از تعداد تاکسی ها (N) و پارامتر ها عدم قطعیت (θ) در مدل لوجیت(رابطه ی (۷)) هستند.

۵- بکاری گیری مدل شبکه ی خدمات تاکسیرانی برای شهر تهران

۵-۱- تعیین پارامتر (عدم قطعیت) مدل تاکسیرانی در تهران

مدل ارائه شده برای خدمات تاکسیرانی از یک پارامتر اصلی θ (عدم قطعیت) تشکیل یافته است که نشان دهنده ی میزان شناخت و آگاهی راننده تاکسی از تقاضای مسافران می باشد. به طوری که این پارامتر (عدم قطعیت) بر انتخاب راننده از ناحیه ای که باید در آن منتظر مسافری بعدی باشد یا به جستجوی آن بپردازد،

اثر می گذارد. برآورد پارامتر θ، کار بسیار وقت گیر و نیازمند دریافت اطلاعات کافی از تاکسیرانان می باشد. واضح است که باید آگاهی رانندگان تاکسی از تقاضای سفر پس از یک دوره زمانی طولانی از فعالیت در این زمینه، بالا باشد، از این رو مقدار θ نسبتاً بزرگ خواهد بود.

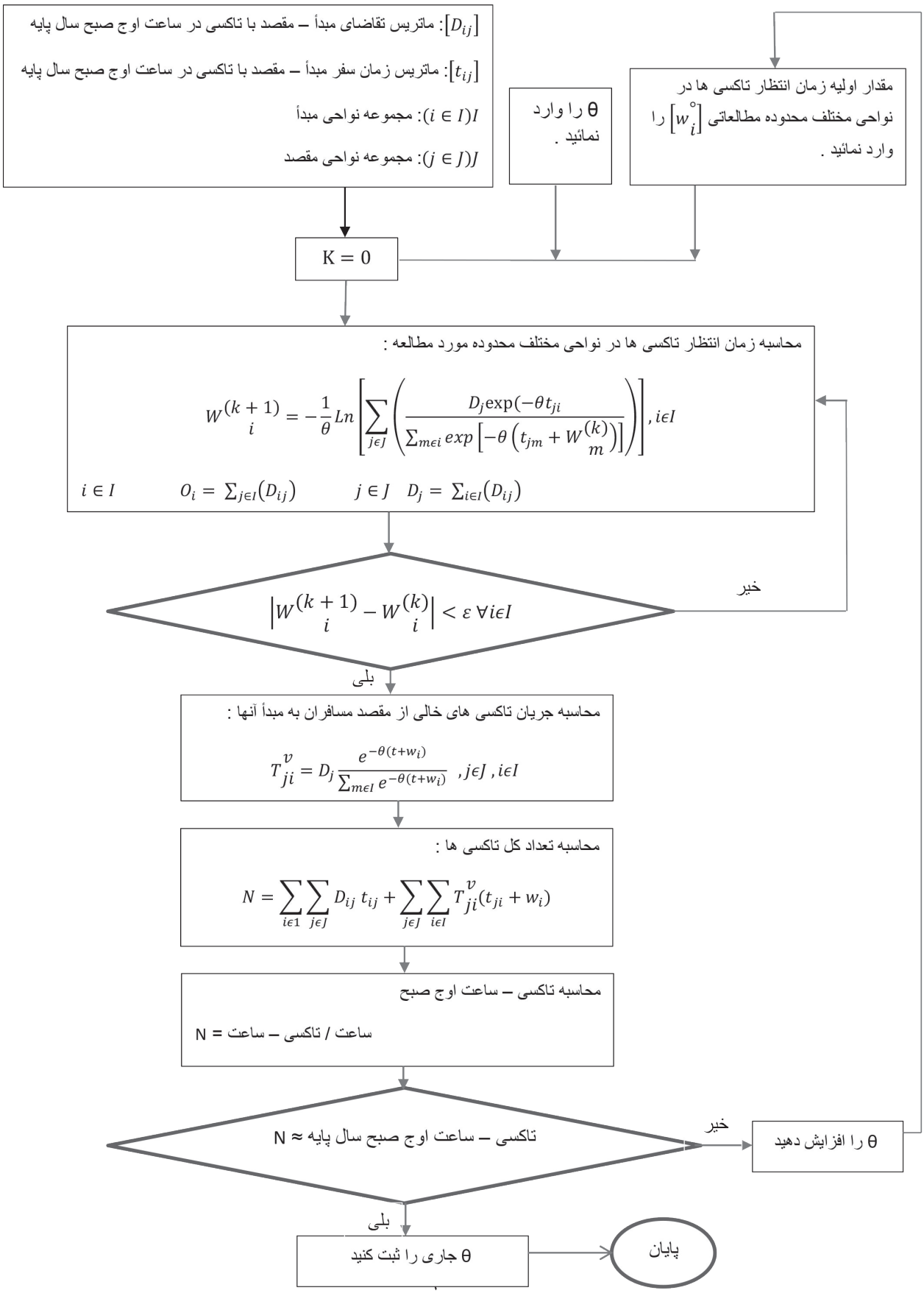
در جهت برآورد پارامتر θ، ذکر این نکته ضروری است که در مدل ارائه شده در این مقاله هر یک از تاکسی های مبدا- مقصد مسافر کمتری را از مبدأ اصلی آن ها به مقصد نهایی شان جابجا می کنند (به علت جابجایی مسافران به صورت دربست) و در مقابل تاکسی های موجود شهر تهران با سرعتی کمتر و تعداد سرنشین بیشتر، مسافران خود را در انجام پاره سفر ها بهره مند می سازند. تفاوت کارکرد نوع موجود نسبت به عملکرد تاکسی های استاندارد را می توان برای مسافران: کاهش کرایه، افزایش زمان سفر و سختی سفر، برای رانندگان تاکسی: افزایش کلی هزینه کارکرد وسیله نقلیه و سختی سفر و برای شبکه معابر: تراکم ترافیکی، اصطکاک بیشتر، افزایش آلودگی هوا و مصرف سوخت و نیز افزایش شلوغی در شبکه دانست .

بدین ترتیب در هر دو نوع کار کرد، حدود در آمد رانندگان و وسیله – ساعت فعالیت تاکسی ها، باید تقریباً معادل یکدیگر باشند .

از اینرو می توان θ در رابطه (۶) را چنان تنظیم کرد که شرط زیر محقق شود

کل تاکسی – ساعت در شبکه با تاکسی – ساعت (شامل تاکسی و مسافر بر) شبکه در یک ساعت اوج صبح یکی باشد که تعداد کل تاکسی – ساعت، برآمده از مشاهدات آمار گیری مبدأ – مقصد خانوار (O-D) است

روش مورد استفاده برای برآورد θ با استفاده از میزان تاکسی (و مسافر بر) - ساعت در یک ساعت اوج صبح در شکل (۱)آمده است .در این روش با شروع از θ بسیار کوچک ، مبادرت به برآورد تاکسی – ساعت اوج صبح شده و بدین ترتیب θ افزایش میابد تا این کمیت به مقدار مشاهده شده خود در آمار گیری O-D برسد بر همین اساس سفر با تاکسی به صورت تاکسی- ساعت در یک ساعت اوج صبح معادل با ۳۶۹۳۸ واحد می باشد که مقدار θ برآورد شده برای آن در حدود ۳۹ به دست می آید



شکل (۱). نمودار جریان برآورد پارامتر θ برای شهر تهران

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک مدل شبکه ای از عملکرد تاکسی های استاندارد (در اختیار) که به صورت گردشی اقدام به جا به جایی مسافران دربستی می نماید، در شبکه حمل و نقل با در نظرگیری تقاضای مبدأ – مقصدی مسافران ارائه شده است

- مدل ارئه شده، دید گاه های نوینی را درباره ماهیت تعادل در خدمت تاکسیرانی پیشنهاد میدهد. همچنین در همان مرحله اولیه مدل بعضی از خط مشی های مرتبط را به صورت مقدماتی و در قالب نتایج عددی نیز پیشنهاد میدهد.
- مدل، این قابلیت را دارد که پیامد های ناشی از قوانین مربوط به خدمات تاکسیرانی از قبیل تأثیرات ناشی از کنترل بر تعداد ناوگان را مورد تحلیل قرار دهد
- در مدل، امکان پیوستگی بین تراکم ترافیکی و تعادل عرضه و تقاضای خدمات تاکسیرانی تحت قوانین مربوطه در یک بازار رقابتی ایجاد شده است
- نتایج به کارگیری مدل ارائه شده در شهر تهران، حاکی از آن است که پارامتر عدم قطعیت θ در شرایط برابری تعداد تاکسی مشاهده شده با حجم تاکسی های برآورد شده به وسیله مدل، در حدود ۳۹ می باشد

۷- پانویس ها

1. Manski & Wright
2. Arnott
3. Caims & Liston – Heyse
4. Origin-Destination
5. Model Split
6. All –or-Nothing Assignment
7. Total Occupied Time (TOT)
8. Total Unoccupied Time (TUT)
9. Gumball Density Function
10. Optimal Dispatching Problem
11. Fixed – Point Algorithm

۸- مراجع

1- Cams, RD-, and Liston - Heyse, C, (1996) "Competition and regulation in the taxi industry". Journal of Public Economics 59, PP.1-15.

2- Hackner. J. and Nyberg, S., (1995) "Deregulating taxi services: a word of caution. Journal of Transport Economic and Policy 29.PP. 195 - 207.

3- Frankena, M.W. And Pautler PA, (1986) 'Taxicab regulation: an economic analysis". Research in Law and Economics 9. PP. 129 -165.

4- Yong, H. and S.C. Wong, (1998) "A network model of urban taxi services". Transportation Research part. b. vol. 32, PP. 235-246.

5-Manski. CF and Wright, JD. (1976) "Nature of equilibrium in the market for taxi services". Transportation Research Record 619, PP. 296 - 306.

6- Arnott, R. (1996) 'Taxi travel should be subsidized". Journal of Urban Economics 40, PP. 316 -333.

7- Foerster, J.F., and Gilbert, G., (1979) 'Taxicab deregulation: economic consequences and regulatory choices". Transpiration 8, PP. 129 -165.

8-ABE, MA, and Brush. B.C, (1976) "on the regulation of price and Service quality: the taxicab problem", (Quarterly Review of Economics and Business 16. PP.105-111.

9- De Vany. A.S., (1975) "(Capacity utilization under alternative regulatory constraints: an analysis of taxi markets". Journal of political Economy 83, PP. 83 - 94.

10- Wong. S.C., and Yang, H, (1998) "Calibration of a network equilibrium model of urban taxi services". The First Asia Pacific Conference on Transportation and the Environment

۱۱- " طرح جامع حمل و نقل و ترافیک تهران، مطالعات تاکسیرانی شهر تهران"، شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران، پاییز ۱۳۸۶.