ارائه روش محاسبه شاخص عرضه و تقاضا و تعادل‌سازی آنها در سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی

علیرضا احمدی فینی [1]
میقات حبیبیان [2]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۲/۲۳
تاریخ‌پذیرش: ۱۳۸۸/۰۵/۱۸

چکیده

در شرایطی که تقاضای جابه‌جایی مسافر یک سیستم حمل‌ونقل همگانی به ظرفیت آن برسد، سیاست‌گذاران با راه‌حل‌های مختلف افزایش عرضه و مدیریت تقاضا مواجه می‌شوند. در چنین مواردی ساده‌ترین راه، افزایش عرضه و به تبع آن افزایش ظرفیت سیستم است که به صورت تزریق ناوگان به سیستم انجام می‌شود. در شرایطی که ظرفیت سیستم به سبب محدودیت‌هایی چون عدم امکان کاهش سرفاصله، قابل افزایش نباشد، بر حسب بودجه در اختیار، تغییر تکنولوژی حمل‌ونقل، استفاده از سیستم‌های کمکی یا راهکارهای مدیریت تقاضای حمل‌ونقل پیشنهاد می‌شود. به دلیل هزینه بالای ارتقای تکنولوژی حمل‌ونقل در کریدورهای حمل‌ونقل مسافر و در شرایط کمبود بودجه، راهکار استفاده از سیستم‌های کمکی تا زمان ارتقای سیستم حمل‌ونقل همگانی غالباً به عنوان یک راهکار کوتاه‌مدت مطرح می‌شود. در چنین شرایطی به منظور عملکرد بهینه سیستم، تعداد ناوگان سیستم کمکی باید با توجه به معیارهایی چون هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و نسبت هزینه تعمیر و نگهداری دو سیستم برآورد شود. هدف از این مقاله، ارتقای عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی و ضرورت پرداختن به سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی و، نقش اساسی این سیستم‌ها در جابه‌جایی مسافر در شبکه حمل‌ونقل است. همچنین با توجه سهم قابل توجه سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی در جابه‌جایی، به تعادل رساندن شاخص‌های عرضه و تقاضا با بهره‌گیری از یک سیستم کمکی در شرایطی که هم از لحاظ هزینه و هم از لحاظ زمان و هم از لحاظ فنی محدودیت‌هایی وجود دارد از اهمیت خاصی برخوردار است. در این مقاله پس از بیان کلیاتی از ساختار شاخص‌ها و شاخص‌های عرضه و تقاضا در قالب مطالعه موردی (بررسی وضعیت اتوبوس برقی تهران) و به منظور ایجاد تعادل در شاخص‌های عرضه و تقاضا، سیستم حمل‌ونقل کمکی پیشنهاد شده است. سپس روش محاسبه تعداد ناوگان مورد نیاز سیستم کمکی برای شبکه اتوبوس برقی ارائه شده است. شبکه اتوبوس برقی تهران به دلیل محدودیت‌های تعداد کلی ناوگان وتأمین انرژی ناوگان در قطعات مسیر دارای ظرفیتی محدود است. هرچند احداث خطوط مترو به عنوان تکنولوژی برتر حمل‌ونقل در دستور کار گردانندگان سیستم قرار دارد ولی به سبب مشکلات هزینه‌ای و طولانی بودن زمان احداث آن در حال حاضر استفاده از سیستم اتوبوس دیزلی در کنار خطوط اتوبوس برقی به عنوان راهکار در نظر گرفته شده است. روش ارائه شده در این مقاله، برآورد تعداد ناوگان اتوبوس‌های دیزلی به منظور به تعادل رساندن شاخص عرضه و تقاضا برای شبکه اتوبوس برقی را امکانپذیر می‌سازد.

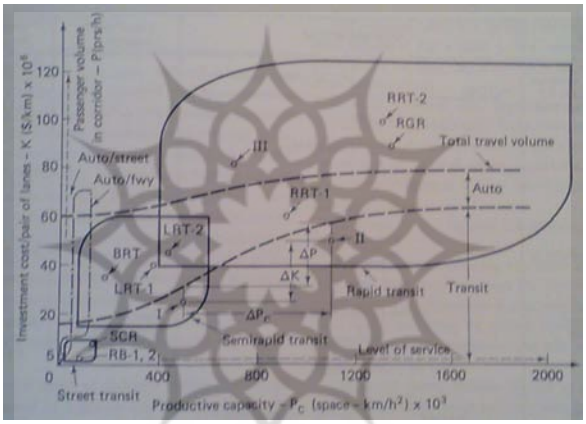
کلید واژه‌ها: *ناوگان، مسافر- کیلومتر جابه‌جا شده، استهلاک، اتوبوس برقی، اتوبوس دیزلی*

---

[1] کارشناس ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل دانشگاه علم و صنعت ایران، مدرس دانشگاه علوم انتظامی
[2] دانشجوی دکترای برنامه‌ریزی حمل‌ونقل دانشگاه صنعتی شریف، مدرس دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مقدمه

در شرایطی که تقاضای جابه‌جایی مسافر یک سیستم حمل‌ونقل همگانی به ظرفیت آن برسد، سیاست‌گذاران با راه‌حل‌های مختلف افزایش عرضه و مدیریت تقاضا مواجه می‌شوند. در چنین مواردی ساده‌ترین راه، افزایش عرضه و به تبع آن افزایش ظرفیت سیستم است که به صورت تزریق ناوگان به سیستم انجام می‌شود. در شرایطی که ظرفیت سیستم به سبب محدودیت هایی چون عدم امکان کاهش سرفاصله، قابل افزایش نباشد بر حسب بودجه در اختیار، تغییر تکنولوژی حمل‌ونقل، استفاده از سیستم‌های کمکی یا راهکارهای مدیریت تقاضای حمل‌ونقل پیشنهاد می‌شود. با توجه به شکل یک، ارتقای تکنولوژی حمل‌ونقل هرچند هزینه بسیار زیادی را نسبت به شرایط موجود می‌طلبد ولی ظرفیت بهره‌وری بسیار بالاتری را برای سیستم به ارمغان می‌آورد. این تغییر تکنولوژی چه در ارتقای سیستم اتوبوس یا تراموا به سیستم‌های سبک شهری مانند قطار سبک یا اتوبوس سریع و چه در ارتقای موارد اخیر می‌تواند در سیستم جابه‌جایی انبوه روی دهد.



شکل یک- دامنه سرمایه‌گذاری و ظرفیت بهره وری تکنولوژی‌های مختلف حمل‌ونقل شهری [۱]

به دلیل مدت زمان زیاد احداث و راه‌اندازی تکنولوژی حمل‌ونقل با ظرفیت بهره‌وری بالاتر در کریدورهای حمل‌ونقل مسافر یا در شرایط کمبود بودجه، راهکار استفاده از سیستم‌های کمکی تا زمان ارتقای سیستم حمل‌ونقل‌همگانی غالباً به عنوان یک راهکار کوتاه‌مدت مطرح می‌شوداتوبوس دیزلی معمولاً یک سیستم کمکی مناسب به واسطه عدم احتیاج به ساخت و سازهای اولیه است که در کنار

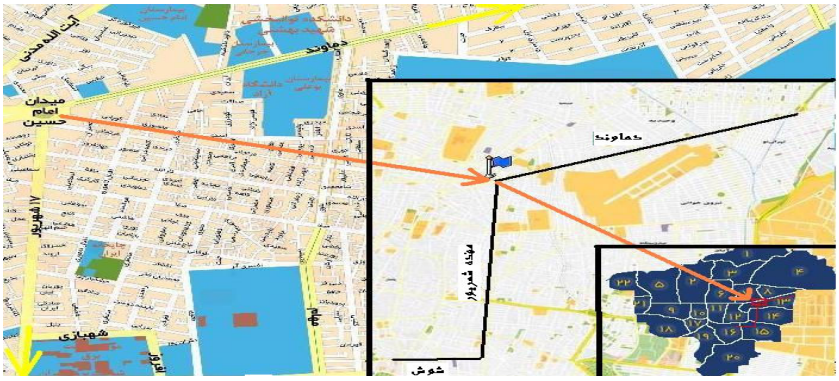
سیستم‌هایی چون تراموا، اتوبوس برقی یا سیستم‌های سبک شهری ممکن است مورد استفاده قرار گیرد. در صورت استفاده از سیستم کمکی جهت عملکرد بهینه سیستم، تعداد ناوگان سیستم کمکی باید با توجه به معیارهایی چون هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه تعمیر و نگهداری، ملاحظات اجرایی، مصرف منابع جامعه، میزان آلایندگی و مواردی از این دست برای دو سیستم در تحلیل‌های فنی، مالی، اقتصادی و زیست محیطی برآورد شود.

از آنجا که شبکه حمل‌ونقل بستر جابه‌جایی بار و مسافر محسوب می‌شود در پایتخت ایران به دلیل بالا بودن بیشترین تقاضای جابه‌جایی نسبت به سایر شهرهای کشور، این شبکه (که دارای ظرفیت محدودی است) از حساسیت بالایی برخوردار است. توجه به سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی از اهمیت ویژه‌ای در جابه‌جایی مسافر برخوردار است. در این راستا ایجاد تعادل در عرضه و تقاضای سیستم حمل‌ونقل همگانی را می‌توان به عنوان راهکاری مناسب در جهت بهره‌وری شبکه حمل‌ونقل به شمار آورد. از آنجا که شبکه اتوبوس برقی در یک منطقه استراتژیک شهر تهران و در یک شرایط فنی خاص قرار گرفته در ادامه به بررسی خطوط اتوبوس برقی پرداخته شده است.

در سال۱۸۸۲ اولین اتوبوس برقی در آلمان به مردم نشان داده شد و اولین خط آن در فرانسه در سال ۱۹۰۱ راه‌اندازی شد. [۲] امروزه در بسیاری از شهرهای جهان این سیستم در حال فعالیت بوده و در تهران نیز عمری ۱۳ ساله دارد.

به منظور مقایسه عملی شاخص‌های ارائه شده در این مقاله، وضعیت شبکه اتوبوس برقی تهران مورد بررسی قرار می‌گیرد. شبکه خطوط اتوبوس برقی در قسمت محدودی از شرق تهران گسترش یافته است. یکی از مهم‌ترین معابر این محدوده که دسترسی شرق به غرب و بالعکس منطقه را تأمین می‌کند، معبر شریانی دماوند است. این معبر در حد فاصل ترمینال شرقی تهران و میدان امام حسین که هر دو از مراکز عمده جذب سفر در شرق تهران محسوب می‌شوند، واقع شده است. معبر دماوند دارای کاربری تجاری حاشیه‌ای و همچنین حوزه نفوذ وسیعی در سطح است که با این اوصاف معبر دماوند منتقل‌کننده حجم بالایی از مسافر در طول روز است. بجز معبر دماوند، شبکه خطوط اتوبوس برقی معابر هفده شهریور و شوش را نیز تحت پوشش قرار می‌دهد. این معابر مرز شرقی و جنوبی محدوده طرح ترافیک

تهران را تشکیل می‌دهند و به همین دلیل حجم تردد در این معابر نیز زیاد است. محدوده مجهز به سیستم اتوبوس برقی در شکل دو نشان داده شده است.



شکل دو- محدوده مجهز به سیستم اتوبوس برقی [۳]

باتوجه به موارد یادشده ایجاد تسهیلات ویژه حمل‌ونقل همگانی به جهت کاهش تأخیر و کاهش زمان سفر از اهمیت بسزایی برخوردار است. اتوبوس برقی در مسیر فوق دارای پنج خط مجزا و در مجموع به طول ۳۱/۲ کیلومتر گسترش یافته است. این در حالی است که کلانشهر تهران دارای ۲۹۹خط فعال و ۵۷۴۹ دستگاه اتوبوس در ۱۰ منطقه تحت پوشش سازمان است. [۴]

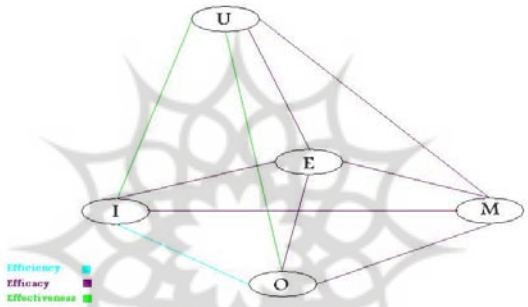
هدف از ارائه این مقاله ارتقای عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی، ضرورت پرداختن به سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی و نقش اساسی این سیستم‌ها در جابه‌جایی مسافر در شبکه حمل‌ونقل است. همچنین به دلیل سهم قابل توجه سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی در جابه‌جایی، به تعادل رساندن شاخص‌های عرضه و تقاضا با بهره‌گیری از یک سیستم کمکی در شرایطی که هم از لحاظ هزینه و هم از لحاظ زمان و هم از لحاظ فنی محدودیت هایی وجود دارد از اهمیت خاصی برخوردار است.

در این مقاله پس از بررسی شاخص‌های شبکه اتوبوس برقی تهران (به عنوان یک سیستم اصلی حمل‌ونقل همگانی) روش محاسبه تعداد ناوگان مورد نیاز سیستم کمکی ارائه شده است. شبکه اتوبوس برقی تهران به دلیل محدودیت‌های تأمین انرژی ناوگان در قطعات مسیر دارای ظرفیتی محدود است. هر چند احداث خطوط مترو به عنوان تکنولوژی برتر حمل‌ونقل در دستور کار گردانندگان سیستم قرار دارد

ولی به سبب مشکلات هزینه‌ای و طولانی بودن زمان احداث آن در حال حاضر استفاده از سیستم اتوبوس دیزلی در کنار خطوط اتوبوس برقی به عنوان راهکار در نظر گرفته شده است. روش ارائه شده در این مقاله محاسبه تعداد ناوگان اتوبوس‌های دیزلی را از دیدگاه گرداننده سیستم امکانپذیر می‌سازد.

ساختار

در مطالعات مختلف از شاخص‌های گوناگونی برای بررسی سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به متوسط ضریب استفاده از ظرفیت، متوسط زمان سوار و پیاده شدن یک مسافر یا سرعت سفر اشاره کرد. [۵] برای ساختن هر نوع شاخص ارزیابی یک سیستم در عرصه حمل‌ونقل، نیاز به دو کمیت از پنج دسته کمیت اصلی ورودی سیستم ،خروجی سیستم، استفاده از سیستم، بازار سیستم و محیط‌زیست است. از ترکیب این معیارها، شاخص‌هایی برای بررسی بازدهی، کارایی و کارآمدی سیستم مورد مطالعه ساخته می‌شود. این کمیت‌ها و ارتباط آنها با یکدیگر در ساختار انواع شاخص‌ها در شکل سه آمده است.



شکل سه- ساختار هرمی ارتباط کمیت‌ها در ساختن شاخص [۶]

چنانکه در شکل سه نشان داده شده است، شاخص حاصل از ارتباط بین ورودی و خروجی سیستم از نوع بازدهی و در صورتی که شاخصی با ترکیب کمیت استفاده از سیستم با هر یک از کمیت‌های ورودی و خروجی ساخته شود، شاخص حاصل از نوع کارایی نامیده می‌شود. همچنین هر شاخصی که از ترکیب کمیت‌های بازار یا محیط‌زیست با سایر کمیت‌ها ساخته شود، تحت عنوان کارآمدی نام خواهد گرفت.

برای برآورد ناوگان مورد نیاز ابتدا باید تعادل از هر دو جنبه عرضه و تقاضا در شبکه همگانی تأمین شود چراکه سطوح تعادل خدمت‌دهی سیستم، تابعی از وضعیت عرضه و تقاضای آن است. [۷]

حبیبیان و احمدی نشان دادند که به منظور ارزیابی عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی در نظر گرفتن دو خصوصیت از سیستم تحت عناوین شاخص استهلاک و شاخص مکانیابی، می‌تواند نشان‌دهنده وضعیت عرضه و تقاضا در سیستم باشد. [۸] در ادامه معرفی مختصری از این دو شاخص کارایی سیستم به جهت مستقل بودن این مقاله و مقادیر آنها در شهر تهران به تفکیک مناطق مختلف اتوبوس‌رانی آورده می‌شود.

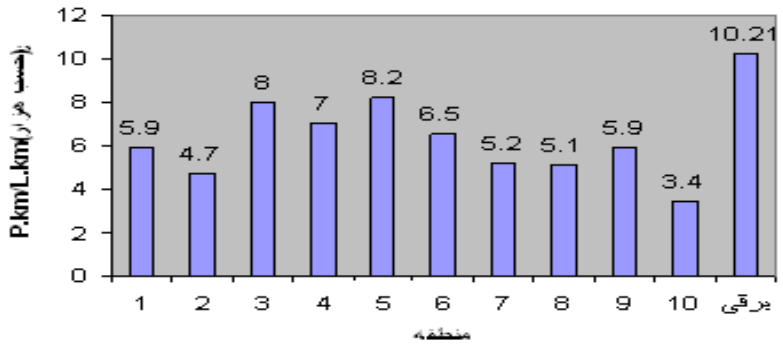
شاخص تقاضا

برای انتخاب یک شاخص که نشان‌دهنده کارایی سیستم از دیدگاه تقاضای مسافران باشد، دو کمیت از سیستم حمل‌ونقل همگانی تحت عناوین متوسط مسافر-کیلومتر جابه‌جا شده در روز و طول شبکه سیستم حمل‌ونقل مورد نظر بر حسب کیلومتر برای انعکاس میزان استفاده و خروجی سیستم انتخاب شده‌اند. شاخص تقاضا به صورت رابطه یک تعریف می‌شود.

$$DI = Pkm / LN \qquad \text{رابطه یک}$$

در این رابطه Pkm بیانگر میزان مسافر کیلومتر جابه‌جا شده و LN طول شبکه همگانی است. از این شاخص می‌توان مکانیابی خطوط اتوبوس برقی را نیز مطالعه کرد. به بیان دیگر می‌توان بررسی کرد که آیا موقعیت قرارگیری سیستم اتوبوس برقی شهر تهران از دیدگاه تقاضا در منطقه‌ای کم بار، متعادل یا بحرانی طراحی شده است. [۸] واضح است که عواملی مانند تقاضای سفر، کاربری، جمعیت و همچنین ظرفیت، شیب و سایر شرایط معبر در این شاخص تأثیرگذار هستند. نمودار یک مقادیر شاخص تقاضا (شاخص مکان‌یابی) را برای مناطق مختلف اتوبوس‌رانی شهر تهران نشان می‌دهد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



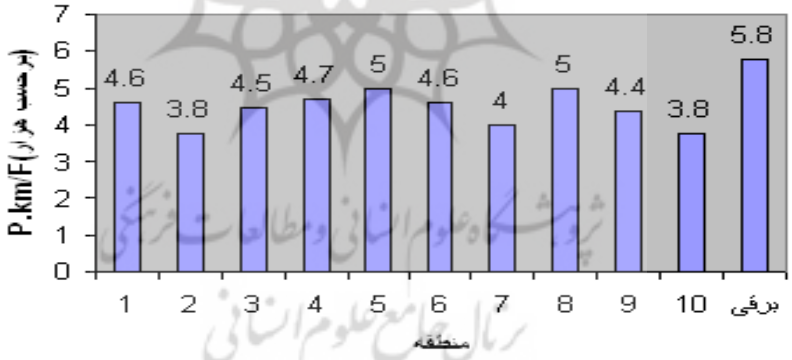
نمودار یک- مقادیر شاخص مکانیابی مناطق اتوبوس‌رانی تهران [۸]

شاخص عرضه

برای نشان دادن میزان تسهیلات ارائه شده، نیاز به دو کمیت استفاده از سیستم و ورودی از سیستم است که متوسط مسافر-کیلومتر جابه‌جا شده در روز و تعداد ناوگان سیستم حمل‌ونقل همگانی هستند [۸] و به صورت رابطه دو تعریف می‌شود.

$$SI = Pkm / F \qquad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه F بیانگر تعداد ناوگان است و مقدار این شاخص، بیانگر استهلاک سیستم خواهد بود بنابراین میزان بارگذاری روی ناوگان اتوبوس برقی نسبت به اتوبوس‌های دیزلی، توسط این شاخص قابل ارائه است. در نمودار دو مقادیر شاخص عرضه (شاخص استهلاک) برای مناطق مختلف اتوبوس‌رانی شهر تهران نشان داده شده است.



نمودار دو- مقایسه شاخص استهلاک مناطق اتوبوس‌رانی تهران [۸]

در این قسمت با توجه به شاخص‌های عرضه و تقاضا برای مناطق مختلف شبکه اتوبوسرانی شهر تهران، روش برآورد تعداد ناوگان به منظور ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضا در سیستم حمل‌ونقل همگانی در قالب سیستم کمکی خطوط اتوبوس برقی ارائه شده است.

روش برآورد تعداد ناوگان

برای ایجاد تعادل در سیستم‌های اتوبوس برقی و دیزلی باید بتوان تعادل را در کارایی هر دو جنبه عرضه و تقاضا برقرار کرد. برای این منظور لازم است به مفاهیم شاخص‌های ذکر شده، پرداخته شود.

همانطور که گفته شد، شاخص عرضه بیان‌کننده استهلاک سیستم است. به عبارت دیگر این شاخص، متوسط میزان بارگذاری روی سیستم را بیان می‌کند از این رو می‌توان با مقایسه مقدار آن با مقادیر استاندارد، وضعیت سیستم را بررسی کرده و برای برآورد تعداد ناوگان نیز از آن استفاده کرد. بر اساس نمودار دو، مقدار شاخص استهلاک برای اتوبوس برقی بسیار بالاتر از سایر مناطق دیگر در شهر تهران است. این مسئله وقتی به طور حاد خود را نشان می‌دهد که بدانیم هزینه تعمیر و نگهداری سیستم برقی بیشتر از سیستم دیزلی است. ضریب α در رابطه سه بیانگر نسبت هزینه تعمیر و نگهداری سیستم دیزلی (BMC)به هزینه تعمیر و نگهداری سیستم برقی (TMC) است.

$$\alpha = BMC / TMC$$ رابطه سه

در چنین شرایطی در مرحله برآورد تعداد ناوگان به منظور کمینه کردن هزینه گرداننده لازم است تا شاخص استهلاک سیستم برقی (TSI)مطابق رابطه چهار α برابر شاخص استهلاک سیستم دیزلی (BSI) فرض شود.

$$TSI=\alpha*BSI$$ رابطه چهار

از سوی دیگر شاخص تقاضا به نو به خود نشان‌دهنده آن است که واحد طول شبکه، چه تعداد مسافر جابه‌جا می‌کند. برای برآورد ناوگان هر یک از دو سیستم باید تعادل شاخص مکانیابی را نیز در نظر گرفت که برای هر دو سیستم باید دیده شود. در ادامه، روش برآورد تعداد ناوگان دو سیستم برای ایجاد تعادل در هر دو جنبه عرضه و تقاضا و به منظور کمینه کردن هزینه گرداننده ارائه می‌شود.

در مرحله اول تعداد مسافر- کیلومتر قابل جابه‌جایی توسط اتوبوس برقی (Tpkm1) از رابطه پنج برای متعادل ساختن شاخص عرضه استخراج می‌شود.

رابطه پنج $Tpkm1=(Max\ TF)*TSI$

که در آن TF بیانگر تعداد ناوگان اتوبوس برقی در ساعت است. TSI نیز از رابطه چهار به دست می‌آید. برای محاسبه TF از رابطه شش می‌توان استفاده کرد. [۹]

رابطه شش $TF= \min TF_i*N_{el}*F_r$

در این رابطهTF ظرفیت ایستگاه بحرانی مسیر، N_{el} ضریب متأثر از تعداد توقفگاه در هر ایستگاه وF_r ضریب گردش به راست است. TF_i از رابطه هفت و F_r نیز از رابطه هشت به دست می‌آید.

رابطه هفت
$$TF = \frac{3600(\frac{g}{C})}{t_c + t_d(\frac{g}{C}) + t_d c_v Z_a}$$

رابطه هشت $F_r =1-F_l\ (V_r/C_r)$

در این رابطه t_d بیانگر زمان مسافرگیری در ایستگاه، c_v ضریب تغییرات سرفاصله اتوبوس‌های خط در یک ایستگاه مشخص، t_c زمان تخلیه ایستگاه توسط اتوبوس، Z_a احتمال تشکیل صف در ایستگاه، g زمان سبز مؤثر رویکرد برای گذر اتوبوس و C طول سیکل تقاطع در مسیر مورد نظر است. لازم به ذکر است که مقدارZ_a از سطح زیر توزیع نرمال یکطرفه محاسبه می‌شود و برای محاسبه t_d از رابطه نه می‌توان استفاده کرد.

رابطه نه $t_d= p_at_a+p_bt_b+t_{oc}$

در این رابطه P_a تعداد مسافر پیاده‌شده از شلوغ‌ترین در، t_a زمان پیاده شدن هر مسافر، p_b تعداد مسافر سوارشده از شلوغ‌ترین در، t_b زمان سوار شدن هر مسافر و t_{oc} زمان باز و بسته شدن در اتوبوس است کهمعمو لاً بین دو تا پنج ثانیه در نظر گرفته می‌شود.

در مرحله دوم حداکثر تعداد مسافر کیلومتر قابل جابه‌جایی توسط اتوبوس برقی (Tpkm2) از رابطه ده برای متعادل ساختن شاخص تقاضا به دست می‌آید.

رابطه ده $Tpkm2=(TNL)*DI$

در این رابطه TNL طول شبکه اتوبوس برقی بر حسب کیلومتر بوده و DI نیز مقدار مطلوب شاخص تقاضا برای سیستم اتوبوس دیزلی است. کل مسافر کیلومتر قابل انتقال با سیستم اتوبوس برقی برابر مقدار کمتر حاصل از دو رابطه پنج و ده و مطابق با رابطه یازده محاسبه می‌شود.

$$Tpkm=Min\{Tpkm1 , Tpkm2\}$$ رابطه یازده

با داشتن مسافر- کیلومتر قابل انتقال با سیستم اتوبوس برقی و کل مسافران متقاضی استفاده از اتوبوس شامل برقی و دیزلی (Pkm)، سهم مسافر کیلومتر قابل انتقال با سیستم اتوبوس دیزلی (Bpkm) از رابطه دوازده به دست می‌آید.

$$Bpkm= Pkm-Tpkm$$ رابطه دوازده

و بالاخره با استفاده از رابطه ۱۲ و شاخص عرضه سیستم اتوبوس دیزلی (BSI) تعداد ناوگان کمکی دیزلی برای سیستم اتوبوس برقی (BF) از رابطه سیزده محاسبه می‌شود.

$$BF=Bpkm/BSI$$ رابطه سیزده

نتیجه‌گیری

دو نمودار یک و دو بیانگر آنند که کارایی سیستم اتوبوس برقی تهران در هر دو رویکرد عرضه و تقاضا مطلوب نیست. اگرچه در کنار این سیستم، سیستم اتوبوس دیزلی نیز به عنوان سیستم کمکی برای پاسخ به انتقال مسافران افزوده شده اما چنان که مشهود است سرویس‌دهی این سیستم تعادلی را در شاخص‌های فوق ایجاد نکرده است بنابراین جهت محدودیت در تغییر مسیر خطوط شبکه باید با به کارگیری ناوگان کمکی (دیزلی) در کنار سیستم برقی تقاضای حمل‌ونقل مسافر پوشش داده شود. در محاسبه تعداد ناوگان کمکی از طریق روش یاشده معبر دماوند به خاطر وضعیت بحرانی و تعیین‌کننده در ظرفیت مسیر انتخاب شده است.

معبر دماوند از میدان امام حسین تا دپو شرق در اکثر مقاطع دارای مسیر کانالیزه شده برای تردد اتوبوس‌های دیزلی و برقی (خط ویژه) است. در طول مسیر میدان امام حسین تا دپوی شرق، ۱۷ ایستگاه قرار دارد که ۱۳ تا از آنها در مسیر ویژه واقع شده‌اند که مسیر عکس (دپو شرق به میدان امام حسین) با ۱۵ ایستگاه در طول مسیر دارای ۱۴ ایستگاه دو خط ویژه است. موقعیت مکانی این ایستگاه‌هکه غالباً قبل از تقاطع واقع شده‌اند در شکل پنج نشان داده شده است.

شکل پنج- موقعیت مکانی ایستگاه‌های واقع در معبر دماوند

خط ویژه برای هر رویکرد (غرب به شرق و بالعکس) دارای یک خط عبوری است بنابراین سبقت گرفتن اتوبوس‌ها در این مسیر مستلزم تجاوز به تنها خط عبوری رویکرد مخالف و ارتکاب تخلف و همچنین افزایش احتمال برخورد است. اگر چه در بعضی مواقع این تخلف (سبقت غیرمجاز) در خط ویژه اتفاق می‌افتد ولی تاکنون تمهیدات خاصی به منظور جلوگیری از آن صورت نپذیرفته است.

در محاسبات ایستگاه‌های واقع در خط ویژه مدنظر قرار گرفته‌اند. دلیل این امر عدم وجود پهلوگاه[1] و عدم امکان سبقت مجاز در این ایستگاه است. عدم امکان سبقت قابلیت سرویس‌دهی ترتیبی و دوره‌ای[2] در مسیر را زایل می‌کند. این ایستگاه‌ها اگرچه دارای دو توقفگاهند ولی رانندگان ناوگان حمل‌ونقل‌عمومی غالباً خود را ملزم به توقف در ایستگاه نمی‌دانند و هر زمان به صف تشکیل شده در ایستگاه برسند اقدام به سوار و پیاده کردن مسافر می‌کنند. بنابراین مقدار N_{el} برابر سه در نظر گرفته می‌شود. [۱۰]

در طول مسیر ۵ تقاطع چراغدار مهم وجوددارد که در جدول (۱) به زمانبندی آنها اشاره شده است.

جدول یک- زمانبندی تقاطعات در مسیر

نام تقاطع	زمان فاز سبز (ثانیه)		کل مسیر
	رویکرد شرق به غرب	رویکرد غرب به شرق	
خاقانی	۶۰	۱۰۰	۲۸۰
مسیل جاجرود	۶۰	۶۰	۹۰
امامت	۳۰	۹۰	۱۸۰
نیروی هوایی	۵۰	۶۰	۲۰۰
اشرفی	۶۰	۶۰	۱۱۰

[1] On line
[2] Skip - stop

بجز خط برقی دپو شرق- میدان امام حسین، شش خط دیگر (دیزلی) نیز در قسمتی از مسیر از خط ویژه استفاده می‌کنند. این خطوط شامل چهارراه تهرانپارس- میدان انقلاب، نبوت- میدان انقلاب، چهارراه تهرانپارس- میدان ولیعصر- چهاراه خاقانی- میدان امام خمینی- دپوی شرق- بازار و دپوی شرق- میدان ولیعصر است بنابراین در واقع تفاضل ظرفیت خط ویژه از تعداد ناوگان دیزلی یاشده در ساعت اوج ظرفیت سرویس‌دهی سیستم اتوبوس برقی (Max TF) را مشخص می‌کند.

یکی از مقادیر مهم تأثیرگذار در ظرفیت اتوبوس برقی معبر دماوند، میزان توقف اتوبوس در ایستگاه بحرانی (t_d) است. برای محاسبه t_d باید مقادیر P_a و P_b از برداشت میدانی محاسبه شود و به این منظور از آماربرداری سازمان ترافیک تهران که به مدت شش ساعت (بازه‌های پانزده دقیقه‌ای) در ساعات اوج صبح (هفت تا نه)، ظهر (دوازده تا چهارده) و عصر (شانزده تا هجده) در تمامی ایستگاه‌های مسیر انجام گرفته بود، استفاده شد تا بحرانی‌ترین ساعت اوج مسیر مشخص شود. [۱۱]

قابل توجه است که در محاسبه ساعت اوج باید موارد خاصی لحاظ شود. از آنجا که ظرفیت مسیر را ایستگاه بحرانی تعیین می‌کند باید ساعت اوج ایستگاه بحرانی مدنظر باشد. ایستگاه بحرانی، ایستگاهی است که در طول کل مسیر دارای بیشترین زمان توقف باشد (بدون توجه به موقعیت مکانی) یا ایستگاهی که با توجه به موقعیت مکانی (واقع در قطعه‌ای از مسیر که بیشترین خطوط دیزلی از آن عبور می‌کنند) بیشترین زمان توقف را داشته باشد. با در نظر گرفتن مورد فوق و آمار تمامی ایستگاه‌های مسیر به نحوی که اشاره شد، ایستگاه خاقانی (غرب به شرق) در ساعت اوج ۱۶:۱۵ تا ۱۷:۱۵ در بدترین حالت سه مسافر سوار شده و نه مسافر پیاده شده را برای کل مسیر به خود اختصاص داده است بنابراین با توجه به دریافت بلیت در زمان سوار شدن و در نظر گرفتن ۳/۵ ثانیه زمان سوار شدن و ۳/۳ ثانیه زمان پیاده شدن هر مسافر [۱۰] و با در نظر گرفتن دو ثانیه برای باز و بسته شدن درها، t_d برابر ۴۲/۲ (بر اساس رابطه نه) می‌شود. g/c مربوط به این ایستگاه ۰/۳۶ (جدول یک) مقدار z_a برای مناطق شلوغ ۲۵ درصد، c_v برابر ۰/۶، t_c برای ایستگاه بدون انباره ده ثانیه و با توجه به عدم وجود حرکت گردش به راست، f_r برابر یک (رابطه هشت) و N_{el} برابر سه در نظر گرفته می‌شود. [۱۰] مقدار TF از رابطه شش با در نظر گرفتن ایستگاه خاقانی (غرب به شرق) به عنوان ایستگاه بحرانی برابر ۱۲۳ اتوبوس بر ساعت

به دست می‌آید. باتوجه به ۶۲ اتوبوس دیزلی که در این ساعت اوج از این ایستگاه عبور کرده‌اند، تفاضل ظرفیت خط ویژه (۱۲۳) از تعداد ناوگان دیزلی (۶۲) در ساعت اوج ظرفیت سرویس دهی سیستم اتوبوس برقی (Max TF) برابر ۶۱ اتوبوس بر ساعت خواهد شد.

در حالت دوم (با در نظر گرفتن موقعیت مکانی) ایستگاه امامت (در مسیر غرب به شرق) به دلیل قرارگیری در قطعه‌ای که تمامی خطوط عبوری از معبر دماوند را پوشش می‌دهد و در عین حال در بین ایستگاه‌های مشابه دارای بیشترین زمان توقف است به عنوان ایستگاه بحرانی t_d برابر ۲۵/۹ (رابطه نه) و TF از رابطه شش برابر ۲۰۱ است بنابراین باتوجه به ۸۷ اتوبوس دیزلی که در این ساعت اوج از این ایستگاه عبور کرده‌اند، تفاضل ظرفیت خط ویژه (۲۰۱) از تعداد ناوگان دیزلی (۸۷) در ساعت اوج ظرفیت سرویس‌دهی سیستم اتوبوس برقی (Max TF) برابر ۱۲۴ اتوبوس بر ساعت خواهد شد. از مقایسه ظرفیت سرویس‌دهی سیستم اتوبوس برقی (Max TF) در ایستگاه خاقانی و امامت مشخص می‌شود که ایستگاه خاقانی تعیین‌کننده ظرفیت است.

با در نظرگرفتن مقدار میانگین شاخص عرضه در مناطق یازده‌گانه اتوبوسرانی شهر تهران (نمودار دو) برای TSI (۴۵۶۳۶ متوسط مسافر-کیلومتر جابه‌جا شده به تعداد ناوگان) تعداد مسافر کیلومتر قابل جابه‌جایی توسط اتوبوس برقی (Tpkm1) از رابطه پنج برای متعادل ساختن شاخص عرضه ۲۷۸۳۸۱۸ نفر است.

همچنین با در نظرگرفتن مقدار میانگین شاخص تقاضا در مناطق یازده‌گانه اتوبوسرانی شهر تهران (نمودار یک) برای DI (۶۳۷۳۶ متوسط مسافر-کیلومتر جابه‌جا شده به طول خط) حداکثر تعداد مسافر کیلومتر قابل جابه‌جایی توسط اتوبوس برقی (Tpkm2) از رابطه ده برای متعادل ساختن شاخص تقاضا برابر ۱۹۸۸۵۷۴به دست می‌آید.

از مقایسه Tpkm1 و Tpkm2 (مطابق با رابطه یازده)کل مسافر- کیلومتر قابل انتقال با سیستم اتوبوس برقی برابر ۱۹۸۸۵۷۴است. از آنجا که کل مسافران متقاضی استفاده از اتوبوس (شامل برقی و دیزلی)، $_{Pkm}$۲۳۷۰۵۰۰ است، سهم مسافر-کیلومتر قابل انتقال با سیستم اتوبوس دیزلی (Bpkm) از رابطه نه برابر $_{Pkm}$ ۳۸۱۹۲۶ به دست می‌آید که با استفاده از رابطه سیزده به تعداد هشت دستگاه ناوگان دیزلی کمکی برای ایجاد تعادل در هر دو جنبه عرضه و تقاضا در شبکه اتوبوس برقی نیاز است بنابراین به تعادل رساندن شاخص‌های

عرضه و تقاضا از طریق به کارگیری یک سیستم کمکی به عنوان یک پیشنهاد کاربردی برای ارتقای سرویس‌دهی شبکه حمل‌ونقل همگانی مطرح می‌شود که در رابطه با شبکه اتوبوس برقی شهر تهران به منظور ایجاد تعادل (با توجه به بالا بودن شاخص‌های عرضه و تقاضا) پیشنهاد می‌شود یک سیستم کمکی اتوبوس دیزلی با هشت ناوگان به کار گرفته شود.

لازم به ذکر است از طریق روش ارائه شده در این مقاله می‌توان میزان ناوگان موردنیاز سیستم کمکی برای هر نوع سیستم حمل‌ونقل همگانی را به صورت مشابه (با جایگزینی مقادیر شاخص‌های مربوطه) محاسبه کرد.

منابع

[1] Vuchic V.R. Urban transit systems and technology. USA: new jersey; 2007

[2] Vuchic, V.R. Urban public transportation systems and technology. 07632. new Jersey: englewood cliffs; 1981

[۳] کتاب اول؛www.map.ketabeavval.ir تاریخ مشاهده: اردیبهشت ۱۳۸۸

[۴] شرکت اتوبوس‌رانی؛www.tctts.tehran.ir، تاریخ مشاهده: اردیبهشت ۱۳۸۸

[۵] معاونت حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری تهران؛ شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران، پروژه بهینه سازی سیستم حمل‌ونقل عمومی (مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران، شاخص‌های عملکردی سیستم اتوبوس‌رانی تهران؛ ۱۵۱۱۳۷۷-۲.۱۳۷۷. تهران

[6] Feldman, indexes and criteria in system evaluation, california. USA: university of Irvin; 2003

[7] Kanafani, A. Transportation demand analysis. USA: mcGraw-hill; 1983

[۸] حبیبیان، میقات. احمدی‌فینی، علیرضا. ارائه روش ارزیابی عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقل همگانی از دیدگاه‌های عرضه و تقاضا (مطالعه موردی سیستم اتوبوس برقی تهران). سومین کنگره ملی مهندسی عمران؛ ۱۳۸۶؛ تبریز: دانشگاه تبریز؛ ۱۳۸۶. صفحات ۶ و ۷

[9] National research council washington D.C., highway capacity manual, HCM, USA: transportation research board; 2000

[10] Transportation research board, Transit capacity and quality of service mnual-2nd edition,2000 USA; 2000

[۱۱] معاونت حمل‌ونقل و ترافیک تهران؛ سازمان حمل‌ونقل مسافر سیستم اتوبوس برقی تهران. آمار حمل‌ونقل و ترافیک تهران، ۱۳۸۶، تهران: سازمان حمل‌ونقل و ترافیک؛ ۱۳۸۶