ارائه مدل نرخ‌بندی ترافیک با استفاده از ابزار چراغ‌های راهنمایی، رویکردی نوین برای مدیریت تراکم در شبکه های شهری

شهریار افندی زاده،* دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم وصنعت ایران
نازلی دهقانی، دانشجوی دکتری برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه علم و صنعت ایران
محمد اقبال اخلاقی، کارشناس ارشد سازه، دانشگاه علم و صنعت ایران
ژوبین صدر زاده، کارشناس مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی
تاریخ ارسال مقاله: خرداد ۹۳ تاریخ پذیرش: تیر ۹۳
*zargari@iust.ac.ir

چکیده

حفظ تراکم ترافیک و میزان آلودگی‌های هوا در یک سطح قابل قبول و همچنین تأمین ظرفیت مناسب برای حمل و نقل همگانی در شهرهای بزرگ به یکی از بزرگ‌ترین دغدغه‌های مدیریت شهری در سال‌های اخیر تبدیل شده است. برای مواجهه با این مسأله یک تکنولوژی جدید برای مدیریت تراکم ارائه شده است. استراتژی نرخ‌بندی ترافیک با محدودسازی جریان ورودی به محدوده‌های متراکم و توزیع مناسب تراکم در کل شبکه اقدام به بهبود وضعیت تراکم، پیشگیری از انسداد شبکه و تسهیل در تردد حمل و نقل همگانی با استفاده از ابزار چراغ‌ها می‌کند.در این مقاله مدل نرخ‌بندی ترافیک بر مبنای این استراتژی ارائه شده و کاربرد آن در شبکه‌های شهری نشان داده شده است. مدل ارائه شده در یک شبکه شهری با الگوگیری از شبکه شهری تهران مورد استفاده قرار گرفته است. شبکه مد نظر در محیط نرم‌افزار VISSIM شبیه‌سازی شده و برای به کارگیری استراتژی کدنویسی شده ازماژول VISSIM-COM بهره‌گیری شده است. نتایج حاصل از به کارگیری این استراتژی بهبود قابل توجهی را در پارامترهای عملکردی شبکه نظیر زمان تأخیر و سرعت متوسط نشان می‌دهد. همچنین طول صف در شریانی‌های ورودی به شبکه نیز به نسبت قابل قبولی بهبود یافته است.

کلید واژه: نرخ‌بندی، ترافیک، تراکم، شبکه‌های شهری

۱- مقدمه

با افزایش تعداد وسایل نقلیه و نیاز رو به رشد به شبکه‌های حمل و نقلی وسیع‌تر، معابر شهری با مسأله‌ی تراکم به صورت جدی‌تری مواجه شدند. از آن‌جا که چراغ‌های کنترل ترافیک، ابزارهای اصلی در تنظیم و بهینه‌سازی جریان در شبکه شهری می‌باشند، برنامه‌ریزی دقیق این چراغ‌ها جهت افزایش کارایی شبکه و بهبود عملکرد آن در شرایط فوق اشباع حایز اهمیت بسیار می‌باشد. در بحث مدیریت تقاضا و مطالب مرتبط با مدیریت صف، بحثی تحت عنوان کنترل یا ممانعت از حرکت در ترافیک وجود دارد که در آن از ورود ترافیک به یک کمان یا تقاطع جلوگیری می‌شود تا حجم بالای تقاضا منجر به انسداد آن عضو بحرانی نشود. این مطلب می‌تواند در حد موضعی (یک تقاطع) و یا در مقیاس شبکه مطرح شود.

به عبارت دیگر در شرایط تراکم ترافیک که با حجم بسیار زیاد وسایل نقلیه مواجه هستیم ، بعضاً استراتژی‌های اختلاف فاز عادلانه که در آن شرایط ترافیک خیابان‌های متقاطع نیز در نظر گرفته می‌شوند یا سهمیه‌های مختلف سبز که به پراکندگی تراکم در سطح شبکه کمک می‌کنند، ممکن است در بهبود عملکرد شبکه متراکم مؤثر باشند.

۲- مفهوم نرخ‌بندی

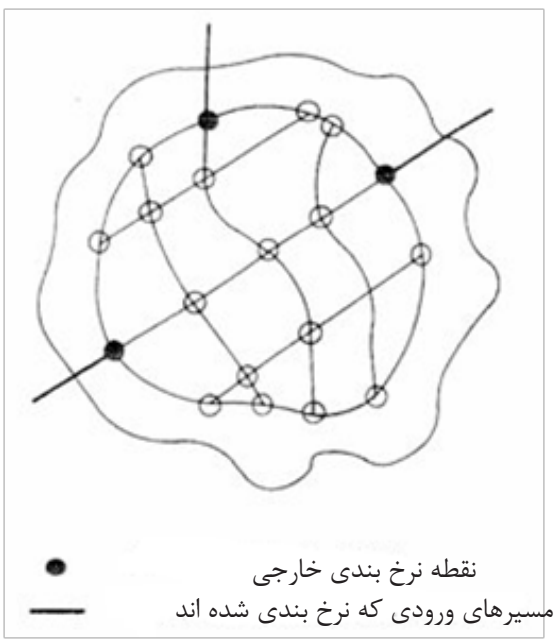
از آن جا که مفهوم پایه‌ای و اساسی که این رساله بر مبنای آن پایه‌ریزی شده، بحث نرخ‌بندی ترافیک در شبکه‌های شهری می‌باشد، لازم است تا در این مرحله اشاره‌ای اجمالی و خلاصه به مفهوم نرخ‌بندی ترافیک گردد. در بحث مدیریت تقاضا و مطالب مرتبط با مدیریت صف، بحثی تحت عنوان کنترل یا ممانعت از حرکت در ترافیک وجود دارد که در آن از ورود ترافیک به یک کمان یا تقاطع جلوگیری می‌شود تا حجم بالای تقاضا منجر به انسداد آن عضو بحرانی نشود. این مطلب می‌تواند در حد موضعی (یک تقاطع) یا در مقیاس شبکه مطرح شود.

به عبارت دیگر در شرایط تراکم ترافیک که با حجم بسیار زیاد وسایل نقلیه مواجه هستیم، بعضاً استراتژی‌های اختلاف فاز عادلانه که در آن شرایط ترافیک خیابان‌های متقاطع نیز در نظر گرفته می‌شوند یا سهمیه‌های مختلف سبز که به پراکندگی تراکم در سطح شبکه کمک می‌کنند، ممکن است در بهبود عملکرد شبکه متراکم مؤثر باشند.

به‌طور کلی سه نوع از نرخ‌بندی (Metering) وجود دارد:

۲-۱- نرخ‌بندی داخلی

این نوع نرخ‌بندی، ورود وسایل نقلیه به داخل شبکه را محدود می‌سازد. در شکل ۱ این نوع نرخ‌بندی مشاهده می‌شود.



شکل ۱- نرخ‌بندی خارجی

۲-۳- نرخ‌بندی آزادسازی

این نوع نرخ‌بندی به تنظیم خروج وسایل نقلیه از گاراژها و پارکینگ‌ها اشاره دارد[۱].

گال زور و همکارانش یک روش کنترل چراغ بر پایه نرخ‌بندی (محدودسازی) ترافیک ارائه نمودند. آنان روشی برای طراحی برنامه چراغ‌ها برای شبکه‌های متراکم شهری که در آن یک یا چند تقاطع پیش از باقی تقاطعات به شرایط فوق اشباع می‌رسند، ارائه نمودند. ایده اصلی این کار بر مبنای محدودسازی احجام ورودی به شبکه برای تنظیم آن در حد ظرفیت تقاطع بحرانی و پیش‌گیری از انسداد تقاطع می‌باشد. این پروسه نرخ‌بندی به طراح امکان شناسایی و تعیین مکان صف‌ها و هدایت آن‌ها به مسیرهای طولانی که می‌توانند نقش ناحیه پیرامونی (میانگیر[1]) را ایفا کنند می‌باشد. استراتژی یاد شده مدیریت مکان (موقعیت) صف نام دارد. مدل براساس تجمیع یک روش برنامه‌ریزی ریاضی با مدل TRANSYT ایجاد شده است. مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای تعیین سهمیه‌های سبز و سطح نرخ‌بندی و مدل TRANSYT برای شبیه‌سازی پروسه‌های دینامیکی به منظور بهینه‌سازی طول سیکل و اختلاف فاز مورد استفاده قرار گرفته‌اند[۲].

در زمان اوج که صف‌ها تشکیل می‌شوند، تعیین موقعیت مکانی آن‌ها حائز اهمیت است. توزیع صف‌ها در داخل شبکه به نحوی که آثار منفی آن‌ها (به‌خصوص پس‌زدگی) حداقل شود، از اهداف اصلی کنترل است. این پروسه مدیریت موقعیت صف یا QLM[2] نامیده می‌شود.

هدف، جلوگیری از سرریز کردن کمان‌های بحرانی از طریق نرخ‌بندی جریان ورودی به این کمان‌هاست. جریان باقی‌مانده می‌تواند در کمان‌های با طول بیش‌تر خارج از کمان بحرانی جمع شود. گزینه دیگر این است که وسایل نقلیه ورودی به این کمان‌ها از طریق تابلوهای راهنمای مسیر به مسیرهای دیگر هدایت شود[۲].

مسأله کنترل و نرخ بندی جریان ترافیک با ابزار چراغ‌های راهنمایی در یک راه شریانی توسط چانگ و لیبر من ارائه شده است[۳]. در این مطالعه فرمول‌بندی راهکار کنترل به هنگام برای راه‌های شریانی فوق‌اشباع ارائه شده است. اهداف این مسأله شامل موارد زیر می‌باشد:

الف) حداکثرسازی بازدهی سیستم: این هدف از طریق:

۱. جلوگیری از پس‌زدگی صف که تقاطعات را می‌بندد و زمان سبز را هدر می‌دهد.

۲. جلوگیری از پدیده قحطی‌زدگی[3] که در اثر دیر رسیدن وسایل نقلیه به تقاطع و در نتیجه به هدر رفتن زمان سبزمی شود.

۳. مدیریت تشکیل صف برای ارائه بیش‌ترین خدمات در طول خط ایست، صورت می‌پذیرد.

ب) استفاده کامل از ظرفیت ذخیره: این هدف به دنبال محدودسازی شرایط تراکم به یک محدوده مشخص از طریق مدیریت صف در سیستم تغذیه و ارسال[4] می‌باشد.

ج) تأمین یک سرویس‌دهی عادلانه: در این مورد، هدف تخصیص خدمات به ترافیک خیابان‌های متقاطع و حرکات چپ‌گرد می‌باشد به نحوی که تمام رانندگان خدمات مناسب را دریافت کنند که همین مسأله راهی برای مشاهده ایمنی بیش‌تر در تقاطع به‌شمار می‌رود.

---

1. buffer
2. Queue location management
3. Starvation
4. feed-forward

این راهکار کنترلی که به عنوانRT/IMPOST (راهکار نرخ‌بندی به‌هنگام داخلی جهت بهینه‌سازی تنظیم چراغ‌ها) شناخته می‌شود، جهت کنترل رشد صف در هر رویکرد اشباع از طریق نرخ‌بندی مناسب ترافیک جهت پایدار نگه داشتن طول صف طراحی شده است. بر این اساس محدودیت‌های طول صف و اختلاف فاز چراغ‌ها تعیین می‌شود. یک برنامه‌ریزی ترکیبی خطی عددی صحیح (MILP) جهت محدودسازی مقادیر بهینه اختلاف فاز و طول صف به کار گرفته شده است[۳].

این مطالعه در حقیقت نسخه توسعه یافته مطالعه چوی در سال ۱۹۹۷ می‌باشد.[۴]. چوی در پایان نامه دکتری خود اقدام به ارائه روش جدید بهینه ساز سازگار چراغ‌ها برای راه‌های شریانی دوطرفه، چند فازه و با عملکرد چپگرد در شرایط فوق اشباع نمود. خروجی کار وی تحت عنوان "راهکار نرخ بندی داخلی جهت زمان‌بندی بهینه چراغ‌ها (IMPOST) " بر مبنای تأمین اهداف زیر ایجاد گردید:

۱. کنترل تشکیل صف جهت جلوگیری (یا حداقل‌سازی تکرار و طول مدت) پس زدگی به تقاطعات
۲. استفاده کامل از کل زمان سرویس‌دهی با بالاترین نرخ سرویس
۳. استفاده مؤثر از ظرفیت ذخیره راه موجود
۴. حداقل‌سازی توقفات وسایل نقلیه
۵. حداقل‌سازی زمان تأخیر در عناصر زیر اشباع شبکه

اساس روش فوق به‌صورت زیر است:

۱. طول دوره فاز جریان ترافیک را به سمت رویکردهای فوق‌اشباع نرخ‌بندی می‌کند تا طول صف پایدار و کنترل شده بماند و یک خدمات عادلانه نیز به جهات مختلف جریان‌های ترافیک ارائه شود.

۲. هماهنگ‌سازی چراغ (نظیر اختلاف فاز) تقابل بین دسته جریان رسیده و صف ایستاده را کنترل می‌کند، به نحوی که استفاده کامل از ظرفیت ذخیره اتفاق بیفتد، پس‌زدگی صف در تقاطع رخ ندهد و بیش‌ترین بازدهی (خروجی) حاصل شود.

نتایج مقایسه استراتژی پیشنهادی با سایر مدل‌ها، موارد زیر را دربر داشته است:

صف ایستاده در جهت بازگشت راه شریانی متراکم (Outbound) که توسط استراتژی نرخ‌بندیRT/IMPOST کنترل شده، شرایط پس‌زدگی را نداشته، به حد کافی طولانی بوده که راه اصلی را با جریان اشباع (نرخ جریان اشباع) تغذیه کند و فضای بین خط ایست و آخرین وسیله داخل صف به حدی نیست که نرخ تخلیه‌صف را تخریب سازد.

در مطالعه دیگری راتهی[۵] استراتژی‌های کنترلی مدیریت ترافیک را که نرخ جریان ورودی به یک محدوده متراکم شهری کنترل می‌کنند مورد بررسی بیشتر قرار داد. او استراتژی‌های کنترلی نرخ بندی را در دودسته تقسیم‌بندی نمود:

۱. کنترل داخلی

- کنترل تقاطع بحرانی برای مواجهه با شرایط تراکمی که از نظر مشخصات، موضعی به شمار می‌آید.
- استراتژی‌های راه‌های شریانی که جریان را در طول راه‌های شریانی متراکم کنترل می‌کنند.
- استراتژی‌های شبکه که جریان را در طول شریانی‌های اصلی و شریانی‌های فرعی متقاطع با آن‌ها برای پیشگیری از بروز شرایط قفل شدگی شبکه کنترل می‌کنند.

۲. کنترل خارجی

- کنترل ترافیک در محیط پیرامونی منطقه مد نظر برای محدود سازی ورود ترافیک (با سرویس‌دهی تقاضا در حد قابل قبول) برای بهبود کیفیت جریان ترافیک در محدوده کنترلی

نتایج شبیه‌سازی مطالعه راتهی[۵] نشان داد که استراتژی‌های کنترل خارجی پتانسیل بهبود عملکرد ترافیک را درون محدوده و در رویکردهای منتهی به محدوده متراکم کنترلی دارند. نتایج این شبیه‌سازی پیشنهاد می‌کند استفاده از راهکارهای کنترل نرخ بندی خارجی پیرامون محدوده‌هایی که تا حد کاهش سرویس‌دهی به وسایل نقلیه متراکم شده اند (به دلیل پس زدگی صف) الزامی است.

در این مقاله با توسعه مدل نرخ‌بندی راه‌های شریانی برای شبکه‌های شهری، سعی می‌شود تا با توزیع مناسب تراکم در محدوده‌های اطرافی مناطق متراکم شهری، از بروز انسداد و تراکم در داخل هسته‌های با اولویت بالا در شبکه پیشگیری به عمل آید.

۳- متدولوژی

مسأله نرخ‌بندی شبکه به منظور کنترل حجم ورودی به شبکه جهت پیشگیری از بروز انسداد و قفل شدگی درآن طراحی شده است. نقطه تمایز این مسأله با مطالعات پیشین در لحاظ نمودن دقیق شرایط کمان‌های ورودی به شبکه به جهت جلوگیری از پس زدگی صف در آن‌ها می‌باشد به نحوی که نه تنها از رخ دادن پدیده پس‌زدگی صف در کمان‌های بالادست پیشگیری به عمل می‌آورد بلکه به بهینه‌سازی طول صف، حداکثر استفاده را از ظرفیت ذخیره کمان‌های بالادست به عمل می آورد. چرا که این کمان‌ها انباره‌های ذخیره‌سازی جریان ورودی در شرایط تراکم هستند و لذا باید حداکثر استفاده از ظرفیت آن‌ها به عمل آمده و از طرفی مانع از پس زدگی جریان آن‌ها به بالادست شد.

مدل ارائه شده مدل ارتقا یافته مسأله نرخ‌بندی برای شریانی‌های شهری که توسط چانگ [۳] ارائه شده بود جهت حل برای شبکه‌های شهری است.

فرمول‌بندی حل مسأله به شرح زیر است:

در بخش اول مسأله یک تابع هدف برای ماکزیمم‌سازی اختلاف فاز بین هر دو تقاطع پشت سر هم حل می‌شود

$$\text{Max } \sum\left[\alpha_i\delta_i + \overline{\alpha_i}\overline{\delta_i}\right] \quad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن:

δ_i اختلاف فاز مابین دو کمان پی در پی در جهت رفت

$\overline{\delta_i}$ اختلاف فاز مابین دو کمان پی در پی در جهت برگشت و

α_i , $\overline{\alpha_i}$ وزن‌های تخصیص داده شده به آن‌ها می‌باشد.

محدودیت‌های این مسأله شامل محدودیت‌های طول صف، اختلاف فاز و یک محدودیت لوپ بسته می‌باشد که به دلیل همین محدودیت آخر مسأله باید به صورت برنامه‌ریزی خطی ترکیبی عدد صحیح (Mixed integer linear programming) حل شود.

خروجی‌های مسأله قبل شامل طول صف‌های بهینه استخراج شده به عنوان ورودی در بخش بعدی مسأله وارد می‌شود:

(رابطه ۲)

$$\max \sum w_j q_{inj}/TTS_{cri} - w_i \sum \left(p_{0,i} - \hat{p}_{0,i}\right)^2 - \sum \left|{}^{(G_{B,i} - G_{B,i-1})}/_{C}\right|$$

که درآن:

I: ندیس کمان‌های اشباع

wi: وزن هر یک از کمان‌های ورودی

$p_{0,i}$: نسبت طول صف ایستاده

$\hat{p}_{0,i}$: نسبت طول صف ایستاده بهینه

G_{Bi}: زمان سبز تنظیم شده در تقاطع i ، ثانیه

wj: وزن حجم ورودی از تقاطع j از سری تقاطعات ورودی شبکه

C طول سیکل

q_{inj} حجم ورودی از تقاطع j به شبکه به حجم کل داخل شبکه

شرایط مسأله فوق شامل شرایط حل مسأله برای راههای شریانی می باشد (که در مسئله چانگ بدانها پرداخته شده بود) که برای تک تک شریانی های ورودی به شبکه اعمال می شود. لازم به ذکر است که این محدودیت‌ها برای لحاظ نمودن شرایط اتصال شریانی‌های مد نظر به زیر شبکه متراکم دستخوش تغییراتی شده‌اند.

علاوه بر این بخش جدیدی برای در نظر گرفتن شرایط شبکه‌ای به مسأله اضافه شده که آن شامل ماکزیمم‌سازی جریان ورودی به شبکه می‌باشد. محدودیت‌های این بخش شامل موارد زیر است:

$$TTS \le TTS_{cri} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

$$TTS = A \times N(t) + \varepsilon_1 \quad \text{(رابطه ۴)}$$

$$N(t) = \sum_{j=1}^{m} q_{in_J} + q_d - q_{out} \quad \text{(رابطه ۵)}$$

$$qin_j = LN_j \frac{G_j - s}{h} P_j + \tau \quad \text{(رابطه ۶)}$$

$$\tau = \frac{C_a - G_j + s}{h} \times LN_{c1} \times p_{c1} + \frac{C_a - G_j + s}{h} \times LN_{c2} \times p_{c2} \quad \text{(رابطه ۷)}$$

که در آن:

TTS_{cri} : برابر با مقدار بحرانی TTS است که بر اساس دیاگرام‌های پایه‌ای ترسیم شده (بند قبل) به دست می‌آید

A : ضریب خطا

ε_1: خطای اندازه‌گیری

j: اندیس تقاطع ورودی به شبکه

LN_j: تعداد خطوط عبوری در شریانی اصلی ورودی

m: تعداد تقاطعات ورودی

G_j: زمان سبز شریانی اصلی ورودی (ثانیه)

s: زمان تلف شده (ثانیه)

h: سرفاصله اشباع (ثانیه بر وسیله نقلیه

p_j : درصدر حرکات گردشی از خیابان اصلی به خیابان‌های فرعی در تقاطع j

q_d : جریان ترافیک کنترل نشده (وسیله نقلیه بر ساعت)

q_{out} : جریان ترافیک خروجی از زیر شبکه (وسیله نقلیه بر ساعت)

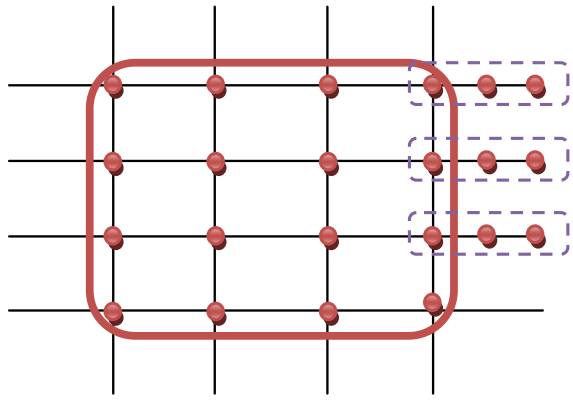
w_j : وزن مرتبط با تقاطع j از سری تقاطعات ورودی به شبکه

C: زمان طول چرخه (ثانیه)

۴- مطالعه موردی

به منظور برآورد شاخص متداول‌ترین تراکم در شبکه متداول‌ترین روش حل مسأله تخصیص در شبکه می‌باشد. برای حل مسأله اینگونه که در آن باید امکان تغییر مسیر رانندگان را در میانه مسیر به دلیل اعمال سیاست محدودسازی در برخی گره‌ها و کمان‌های ورودی در نظر گرفت، بهتر است برای حل مسئله تخصیص از تخصیص دینامیکی بهره گرفته شود. بدیهی

است برای حل مسأله تخصیص دینامیکی نیاز به یک ماتریس مبدا – مقصد اولیه می‌باشد که در اولین گام به مسیرهای موجود در شبکه تخصیص داده می‌شود .شکل ۲ به صورت شماتیک شبکه مد نظر برای اعمال مدل بهینه‌سازی نرخ‌بندی ترافیک را نشان می‌دهد.



شکل ۲- شمای شماتیک مسئله نرخ‌بندی شبکه

بدین منظور با ورود ماتریس مبدأ – مقصد در محیط نرم‌افزار شبیه ساز ترافیکیVISSIM و استفاده از مدل تخصیص دینامیکی این نرم‌افزار میزان تراکم بحرانی شبکه حاصل شده است.

۴-۱- شبکه ترافیکی مد نظر

شبکه ترافیکی مد نظر شامل یک شبکه فرضی (با الگو گرفتن از شبکه واقعی در شهر تهران) می‌باشد که در ساعات اوج به شراط تراکم و پس‌زدگی می‌رسد. در شکل ۳ زیر شبکه مد نظر همراه با شبکه معابر اطراف آن که در نرم‌افزار شبیه ساز VISSIM مدل شده است نشان داده شده است.

شکل ۳- زیر شبکه مد نظر همراه با شبکه معابر اطراف آن در نرم‌افزار شبیه‌ساز VISSIM

شبکه مد نظر برای کنترل دارای پنج نقطه کنترلی ورودی می‌باشد که در هر یک از نقاط، شریانی بالا دست به اندازه دو الی سه تقاطع برای اعمال مسأله بهینه‌سازی در نظر گرفته شده است به نحوی که در صورت پس‌زدگی جریان به بالادست با اعمال مسأله بهینه‌سازی خارجی، طول صف در این معابر بهینه گردد.

از آن جا که در نرم‌افزارهای خردنگر شبیه‌سازی ترافیک در هر بار اجرا جواب‌های متفاوتی به دست می‌آید برای رسیدن به جواب مطمئن برنامه مد نظر برای شرایط قبل از اعمال سیاست کنترلی و پس از آن به تعداد ۸ بار اجرا شده و نتایج مقادیر متوسط معیارهای عملکردی با یکدیگر مقایسه شده است.

۵- معیار عملکردی

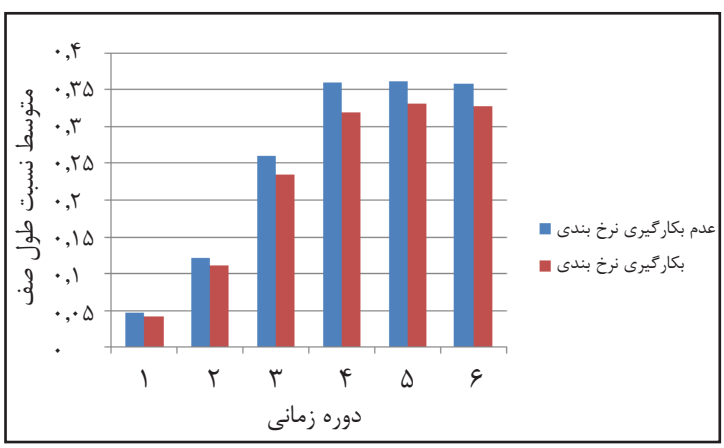
استراتژی نرخ‌بندی باید بتواند معیارهای عملکردی شبکه را بهبود ببخشد تا بتوان از آن به عنوان یک استراتژی موفق و اثر بخش در سطح شبکه بهره برد. بدین منظور دو معیار تاخیر کل و متوسط سرعت در شرایطی که استراتژی نرخ‌بندی به کار گرفته شود و یا خیر با هم مقایسه شده‌اند.

برای انجام این مقایسه، شبکه مد نظر در محیط نرم‌افزار SYNCHRO شبیه‌سازی شده است. زمان‌های سبز بهینه شده در نرم‌افزار SYNCHRO به عنوان ورودی نرم‌افزار VISSIM به کار گرفته شده‌اند. جدول ۱ نتایج مقایسه پارامترهای تأخیر در کل شبکه و متوسط سرعت را در نتیجه به کارگیری استراتژی نرخ‌بندی و بدون آن نشان می دهد. همان گونه که مشخص است متدولوژی به کار گرفته شده باعث کاهش ۱۴ درصدی تأخیر و افزایش ۱۸ درصدی سرعت شده است.

	اجرای ۸	اجرای ۷	اجرای ۶	اجرای ۵	اجرای ۴	اجرای ۳	اجرای ۲	اجرای ۱	
متوسط	عدم بکارگیری استراتژی نرخ بندی								
۳۹۲,۷۵	۴۲۶	۴۰۶	۳۷۴	۴۰۲	۳۹۵	۳۶۷	۳۹۳	۳۷۹	متوسط تاخیر (ثانیه)
۱۲,۶۲۵	۱۲	۱۳	۱۴	۱۲	۱۱	۱۴	۱۲	۱۳	متوسط سرعت (کیلومتر بر ساعت)
متوسط	بکارگیری استراتژی نرخ بندی								
۳۳۷,۶۲۵	۳۲۱	۳۶۲	۳۳۸	۳۵۲	۳۲۷	۳۳۰	۳۲۵	۳۴۶	متوسط تاخیر (ثانیه)
۱۵	۱۶	۱۴	۱۶	۱۵	۱۶	۱۴	۱۵	۱۴	متوسط سرعت (کیلومتر بر ساعت)

جدول ۱ – معیارهای عملکردی در شبکه در حالت به کارگیری و عدم به کارگیری استراتژی نرخ بندی

این نتایج نشان می دهند که توزیع مجدد تراکم در شبکه با یک رویکرد درست که در آن از بروز انسداد جلوگیری می‌شود می‌تواند معیارهای عملکردی را تا حد زیادی بهبود بخشد.
یکی از اهداف اصلی این استراتژی کنترل و بهینه‌سازی طول سف در شریانی‌های ورودی به شبکه است. نتایج مقایسه نسبت‌های طول صف (متوسط طول صف تقسیم بر طول هر کمان) در حالت به کارگیری و عدم به کارگیری استراتِ نرخ‌بندی در شکل ۴ نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که نسبت طول صف به طور متوسط ۹,۸ درصد کاهش یافته است. این مسأله بسیار حائز اهمیت است چراکه در بسیاری موارد دست‌یآبی به جواب بهینه‌ای که علاوه بر در نظر گرفتن شرایط پایین دست امکان بهینه‌سازی شرایط بالادست را هم داشته باشد بسیار مشکل است.



شکل ۴- متوسط نسبت طول صف در شریانی‌های ورودی

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک متدولوژی جدید برای بهینه‌سازی چراغ‌ها در سطح شبکه ارائه شده است. این متدولوژی برای کنترل شرایط پایین دست برای پیشگیری از بروز انسداد و پس‌زدگی در شبکه‌های با اولویت بالا در هسته‌های مرکزی شهر ایجاد شده که در آن به صورت هم‌زمان شرایط عملکردی جریان‌های ورودی به محدوده مد نظر بهینه می‌گردد.
نتایج حاصل از بکارگیری این استراتژی برای یک شبکه فرضی با الگوگیری از یک شبکه واقعی درشهر تهران، بهبود معیارهای عملکردی نظیر سرعت و تاخیر را در کل شبکه نشان می دهد. همچنین بهبود نسبت‌های طول صف در معابر ورودی نیز نتیجه بهینه‌سازی هم‌زمان بالادست و پایین دست شبکه می‌باشد.
باید در نظر گرفت که رسیدن به جواب بهینه در برخی شرایط به لحاظ فیزیک خاص برخی از شبکه‌ها ممکن است حاصل نشود. لذا بررسی انواع شبکه‌ها و تأثیر حاصل از عوامل و پارامترهای مختلف شبکه بر جواب مسأله می‌تواند در مطالعات آتی مورد بررسی قرار گیرد.

۷- مراجع

1- W. Mcshane, R.P. Roess,2004, Traffic Engineering, Edition, Prentice Hall, Chap. 24

2- Gal-Tzur, A., D. Mahalel, and J. N. Prashker. Signal Design for Congested Networks Based on Metering. In Transportation Research Record 1398, TRB, Washington, D.C., 1993, pp. 111–118

3- E.B. Lieberman, J. Chang, E.S. Prassas, 2000, Formulation Of Real-Time Control Policy For Oversaturated Arterials, Transportation Research Record 1727,Paper No. 00-1672

4- B. K. Choi ,1997, Adaptive Signal Control For Oversaturated Arterials, Submitted In Partial Fulfillment Of The Requirement For The Degree Of Doctor Of Philosophy ,Transportation Planning And Engineering , Polytechnic University

5- Rathi, A.K. - "Traffic Metering: An Effectiveness Study". Transportation Science, July 1991, pp 421-440. 1991.