

ارایه مدل تخصیص ترافیک در شبکه با منظور نمودن شاخص‌های زمان سفر، مسافت سفر و نشر آلاینده منوکسید کربن با استفاده از بهینه‌سازی چندهدفی

داود جمور^۱، مهدی حسن زاده^۲

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران - برنامه‌ریزی حمل و نقل، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران - راه و ترابری، دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده

الگوریتم‌های تخصیص ترافیک، به منظور تعیین مسیر محتمل سفرکنندگان میان زوج‌های مبدأ- مقصد و پیش‌بینی جریان ترافیک در کمان‌های شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از مشکلات اساسی روش‌های فعلی تخصیص ترافیک آن است که تقریباً در تمامی روش‌های تخصیص تنها یک معیار (معمولاً زمان سفر) به عنوان تابع هدف در نظر گرفته می‌شود و سایر شاخص‌های تأثیرگذار در تخصیص ترافیک، در این روش‌ها وارد نمی‌شود. در این مقاله برآنیم تا با استفاده از بهینه‌سازی چندهدفی ضمن ارائه راهکاری برای این مشکل، مدلی واقعی‌تر و کاربردی‌تر برای تخصیص جریان ترافیک ارائه نماییم. بدین منظور علاوه بر زمان سفر، شاخص‌های مسافت طی شده و میزان نشر آلاینده منوکسیدکربن در شبکه نیز در مسأله تخصیص ترافیک وارد می‌شود. برای محاسبه جواب‌های بهینه پارتو در مسأله تخصیص سه‌هدفی از روش وزن دهی و برای انتخاب بهترین جواب در بین مجموعه پارتو، از روش L_p -norm استفاده شده است. با حل مسأله تخصیص سه‌هدفی در یک شبکه حمل و نقلی ملاحظه می‌شود بهترین جواب در حالتی اتفاق می‌افتد که تابع مسافت و نشر آلاینده منوکسیدکربن دارای وزن $0/2$ و تابع زمان سفر دارای وزن $0/6$ باشد. همچنین با مقایسه جواب‌های مسأله سه‌هدفی با حالت یک هدفی (زمان سفر تنها) مشاهده می‌شود که نتایج حالت سه‌هدفی کاملاً واقعی‌تر و کاربردی‌تر می‌باشد.

کلید واژه: بهینه‌سازی چندهدفی، تخصیص جریان ترافیک، جواب بهینه پارتو، تعادل استفاده‌کننده

۱- مقدمه

برای تخصیص ترافیک در حال حاضر روش‌های گوناگونی از قبیل روش همه یا هیچ^۳، محدودیت ظرفیت^۴، تخصیص جزئی^۵، تعادل استفاده‌کننده^۶ و بهینه‌سازی سیستم^۷ وجود دارد. این روش‌ها یک ماتریس تقاضا که بیانگر تقاضای سفر بین زوج‌های مبدأ- مقصد می‌باشد را به‌عنوان ورودی دریافت

^۱مدیر مطالعات و برنامه‌ریزی شرکت مهندسی مشاور رهیافت اندیشه فردا، d_jamour_63@yahoo.com

^۲مدیرعامل شرکت مهندسی مشاور رهیافت اندیشه فردا، info@rahyafat.ir

^۳All or Nothing Assignment

^۴Capacity Restraint

^۵Incremental Assignment

^۶User Equilibrium (UE)

^۷System Optimization (SO)

می نمایند و سپس بر اساس زمان سفر عملیات بارگذاری جریان ترافیک در شبکه را انجام می-دهند [۱].

مسئله مهمی که در مورد روش‌های تخصیص ترافیک مطرح می‌شود و کارآمدی این روش‌ها را تحت الشعاع قرار می‌دهد این است که در این روش‌ها تنها یک معیار (معمولاً زمان سفر) به عنوان تابع هدف در نظر گرفته می‌شود و شاخص‌های دیگری که می‌تواند در تخصیص ترافیک تأثیرگذار باشد در مسئله تخصیص وارد نمی‌شود.

در این مقاله جریان تعادلی بهینه‌ای در شبکه محاسبه می‌گردد که سه شاخص زمان سفر، مسافت پیموده شده و میزان نشر آلاینده منوکسید کربن در شبکه را حداقل می‌کند. استفاده کنندگان از شبکه کمترین زمان سفر را می‌خواهند. سیاست گذاران و مدیران حمل و نقلی کمترین مسافت طی شده در شبکه را می‌خواهند و افراد جامعه خواستار کمترین میزان نشر آلاینده در شبکه هستند. در واقع جریان تعادلی بهینه‌ای که با مینیمم کردن سه شاخص فوق بدست آید باید مبنای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی قرار گیرد، زیرا در این حالت است که خواسته‌های همه گروه‌ها اجابت می‌گردد.

در سال ۱۹۹۳، شیونگ ژنگ و چن^۱ مسأله‌ای چند هدفی برای تخصیص جریان ترافیک [۲] و در سال ۲۰۰۱ نگورنی و همکاران^۲ یک مدل چند معیاره برای تعادل ترافیک در شبکه ارائه نمودند [۳]. در مدل آنها تقاضای سفر ثابت بوده و هر گروه از رانندگان می‌توانند با توجه به شاخص‌های تعریف شده در هر کمان از شبکه مسیر خود را انتخاب کنند.

در سال ۲۰۰۹، جمور روش‌های تخصیص تعادل استفاده کننده و بهینه‌سازی سیستم در حالت تقاضای ثابت را به طور همزمان در تخصیص جریان ترافیک در نظر گرفته و سپس با استفاده از نتایج حاصله به بررسی مسأله تناقض بریز^۳ پرداخت [۴]. او در تحقیق خود فرض کرد تقاضای سفر بین زوج‌های مبدأ- مقصد شبکه ثابت است. اما در واقعیت تقاضای سفر بین زوج‌های مبدأ- مقصد تحت تأثیر سطح سرویس شبکه قرار دارد [۵]. جمور و رصافی در سال ۲۰۱۳ تقاضای سفر بین زوج‌های مبدأ- مقصد شبکه را به صورت تابعی از زمان سفر بین مبدأ- مقصد منظور نمودند و پرکاربردترین روش‌های تخصیص ترافیک (تعادل استفاده کننده و بهینه‌سازی سیستم) را در حالت تقاضای سفر متغیر به صورت همزمان در قالب یک مسأله بهینه‌سازی دوهدفی در نظر گرفتند [۶].

در این تحقیق سه شاخص عملکردی شبکه‌های حمل و نقلی یعنی زمان سفر، مسافت پیموده شده و میزان نشر آلاینده منوکسید کربن به طور همزمان در تخصیص جریان ترافیک وارد شده و مدلی کاربردی‌تر و واقعی‌تر برای تخصیص جریان ترافیک در شبکه ارائه می‌گردد. در این مدل تابع زمان سفر یکبار تابع بهینه‌سازی سیستم و یکبار تابع تعادل استفاده کننده در نظر گرفته می‌شود. از آنجایی که در شبکه‌های حمل و نقلی آنچه در واقعیت اتفاق می‌افتد، به تعادل استفاده کننده نزدیک‌تر است، بنابراین مدل دوم واقعی‌تر و کاربردی‌تر می‌باشد.

¹Tzeng & Chen (1993)

² Nagurney et al (2001)

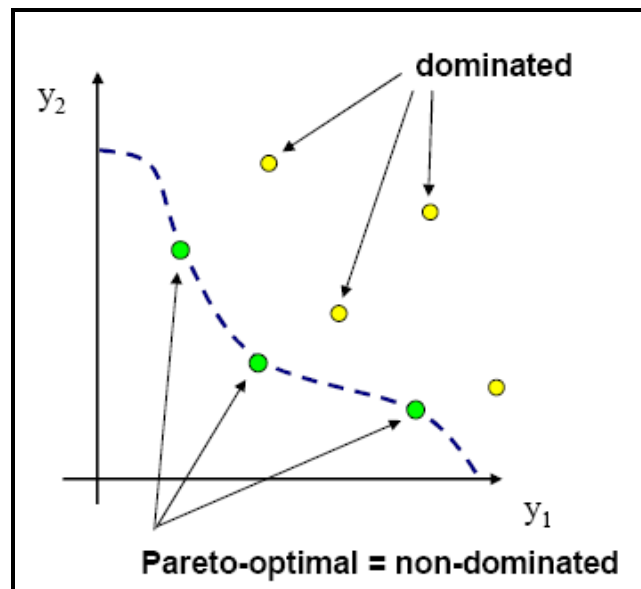
³ Braess' paradox

با توجه به اینکه برای حل مسائل تخصیص در این مقاله باید از بهینه‌سازی چندهدفی استفاده نماییم، در ابتدا مروری بر مفاهیم بهینه‌سازی چندهدفی خواهیم داشت.

۲- مروری بر روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفی

در یک مسأله بهینه‌سازی چندهدفی تعداد توابع هدف از یک بیشتر بوده و معمولاً امکان ترکیب و جایگزینی در یک هدف ممکن نیست. بدلیل متضاد بودن اهداف، اصلاح یکی از آنها ممکن است تحمیل هزینه زیاد برای سایر اهداف را بدنبال داشته باشد. در بهینه‌سازی چند هدفی، نظریه بهینگی پارتو و یا جبهه کارایی^۱ بجای مفاهیم بهینه‌سازی تک‌هدفی مطرح می‌شود و جواب نهایی بایستی از میان مجموعه کارا یا مجموعه بهینه پارتو انتخاب شود [۷] و [۸].

در شکل (۱) جواب‌های بهینه پارتو در یک مسأله مینیمم‌سازی دوهدفی نمایش داده شده است.



شکل ۱: جواب‌های بهینه پارتو در یک مسأله مینیمم‌سازی دوهدفی [۹]

در حل مسایل بهینه‌سازی چندهدفی دو مساله مطرح است؛ ابتدا یافتن جواب‌های بهینه پارتو و سپس انتخاب بهترین جواب از بین مجموعه بهینه پارتو. روش‌های تحلیلی زیادی برای یافتن مجموعه جواب‌های بهینه پارتو وجود دارد. در گروهی از این روش‌ها مانند روش برنامه‌ریزی آرمانی و روش لکسیکوگرافیک، ترجیحات تصمیم‌گیرنده در مسأله وارد شده و جواب مسأله به گونه‌ای بدست می‌آید که نظرات تصمیم‌گیرنده را اقناع کند. در گروه دیگر روش‌ها مانند روش وزن‌دهی و روش حدی، هدف یافتن مجموعه پارتو بصورت دقیق یا تقریبی می‌باشد [۸]. در ادامه تعدادی از مهم‌ترین این روش‌ها به اختصار مورد بررسی قرار می‌گیرد.

^۱Pareto Front

(۱) روش وزن‌دهی^۱: در این روش با اعمال وزن به توابع هدف، برنامه‌ریزی چندهدفی به برنامه‌ریزی تک هدفی تبدیل می‌شود. با حل برنامه‌ریزی تک‌هدفی برای ترکیبات وزنی مختلف، جواب‌های بهینه مسأله تک‌هدفی که همان جواب‌های بهینه پارتو مسأله چندهدفی می‌باشند، بدست می‌آید [۹]، [۱۳] و [۱۴].

(۲) روش حدی^۲: در این روش یکی از توابع هدف بهینه می‌شود، در حالی که سایر توابع هدف بصورت قیدهای نامساوی با طرف راست پارامتریک، به محدودیت‌های اصلی مسأله اضافه می‌شوند. با حل تعداد مناسبی از مسائل تک‌هدفی جواب‌های بهینه پارتو مسأله چندهدفی بدست می‌آید [۸].

(۳) روش لکسیکوگرافیک^۳: در این روش ابتدا توابع هدف برحسب درجه اهمیت آنها رتبه‌بندی می‌شوند (از ۱ تا k) و سپس بهینه‌سازی با بهینه کردن مهم‌ترین هدف آغاز می‌شود، به طوری که در بهینه کردن هدف f_k ، مقدار بهینه $(i-1)$ هدف قبلی به محدودیت‌ها اضافه می‌شود. با بهینه کردن هدف f_k ، جواب نهایی مسأله چندهدفی بدست می‌آید [۱۰].

(۴) روش سلسله مراتبی^۴: این روش کاملاً مشابه روش لکسیوگرافیک می‌باشد، با این تفاوت که در بهینه کردن هدف f_k ، مقدار $(i-1)$ هدف قبلی در فاصله درصدی از بهینه آنها نگه داشته می‌شود [۱۰].

(۵) روش برنامه‌ریزی آرمانی^۵: در این روش یک سری آرمان^۶ از طرف تصمیم‌گیرنده مطرح می‌شود، که این آرمان‌ها شامل توابع هدف نیز می‌شود، لذا تمام قیود و توابع هدف در محدودیت‌ها قرار می‌گیرد و تابع هدف نهایی شامل به حداقل رساندن انحرافات از این آرمان‌ها و حدهای موجود برای قیود است [۱۰] و [۱۵].

برای تعیین بهترین جواب از بین مجموعه بهینه پارتو، روش‌های محدودی وجود دارد. یکی از پرکاربردترین این روش‌ها که در سال ۱۹۹۰ توسط اشناور و همکاران^۷ ارائه شد، روش L_p norm می‌باشد [۱۱]. این روش برای یافتن بهترین جواب، فاصله نقاط روی جبهه کارایی را از جواب ایده‌آل^۸ بر اساس رابطه زیر مینیمم می‌کند [۱۲].

$$\text{Min } d = \left(\sum_{i=1}^m (f_i(x) - f_i^*)^p \right)^{\frac{1}{p}} \quad p = 1, 2, \dots, \infty \quad (1)$$

در رابطه (۱)، $f_i^* = (f_1^*, f_2^*, \dots, f_m^*)$ مختصات نقطه ایده‌آل می‌باشد. نقطه ایده‌آل در واقع بهترین نقطه‌ای است که از نظر تئوری می‌توان به آن دست یافت.

¹Weighting Method

²Constraint Method

³Lexicographic Method

⁴Hierachical Method

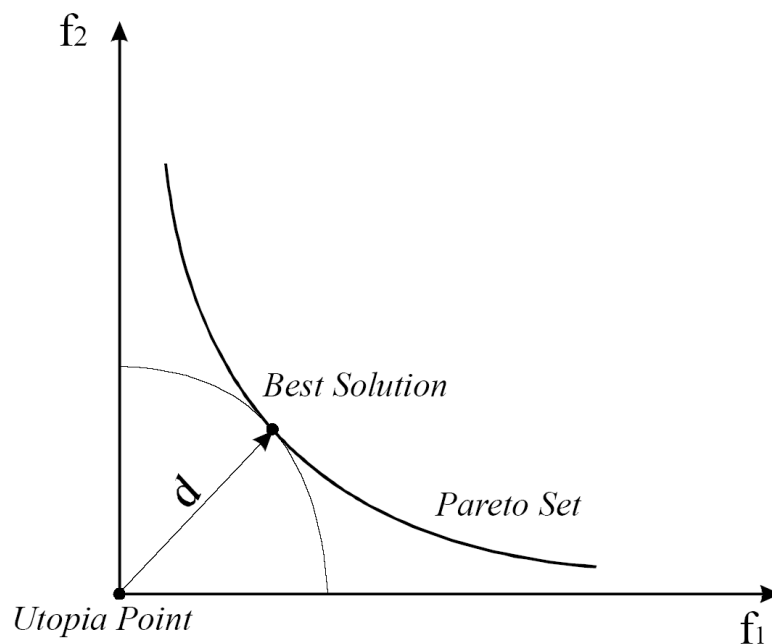
⁵Goal Programming

⁶goal

⁷ Eschenauer et al. (1990)

⁸ Utopia poin

در این تحقیق برای یافتن بهترین جواب از بین مجموعه بهینه پارتو، از روش L_2 norm ($p=2$) استفاده می‌شود. بر اساس روش L_2 norm، نقطه‌ای از جبهه کارایی بهترین جواب است که از نظر هندسی کمترین فاصله را با نقطه ایده‌آل دارد. در شکل (۲) مکان نقطه بهینه بر اساس L_2 norm برای یک مساله مینیمم‌سازی دوهدفی نمایش داده شده است. در این شکل فرض بر این است که نقطه ایده‌آل، مبدا مختصات می‌باشد.



شکل ۲: تعیین بهترین جواب روی جبهه کارایی با استفاده از روش L_2 -norm در یک مساله مینیمم‌سازی دوهدفی

۳- مدل‌سازی مساله سه‌هدفی تخصیص ترافیک

همان‌گونه که گفته شد، برای اینکه در تخصیص جریان ترافیک علاوه بر زمان سفر، شاخص‌های مسافت پیموده شده و میزان نشر آلاینده منوکسید کربن نیز در نظر گرفته شود، باید یک مساله بهینه‌سازی سه‌هدفی تعریف و حل گردد. در این مساله توابع هدف؛ زمان سفر کل سیستم، کل مسافت پیموده شده و میزان نشر آلاینده منوکسید کربن در شبکه می‌باشد. این مساله در دو حالت مورد بررسی قرار می‌گیرد.

حالت اول: در این حالت تابع مربوط به زمان سفر در مساله تخصیص سه‌هدفی، تابع بهینه‌سازی سیستم می‌باشد. فرم ریاضی مدل سه‌هدفی تخصیص در این حالت به صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned}
Min \quad f_1 &= \sum_{(i,j)} x_{ij} \cdot d_{ij} \\
Min \quad f_2 &= \sum_{(i,j)} x_{ij} \cdot t_{ij}(x_{ij}) \\
Min \quad f_3 &= \sum_{(i,j)} x_{ij} \cdot p_{ij}(x_{ij}) \\
s.t. &
\end{aligned} \tag{۲}$$

$$\begin{aligned}
1) \quad & \sum_p x_p^{ks} = x^{ks} \\
2) \quad & x_{ij} = \sum_{(k,s) \in p} \sum_{p \in p_{ks}} x_p^{ks} \cdot \delta_{ij,p}^{ks} \\
3) \quad & x_p^{ks} \geq 0
\end{aligned}$$

در مسأله (۲)، f_1 کل مسافت طی شده در شبکه، f_2 زمان سفر کل سیستم، f_3 میزان نشر آلاینده منوکسیدکربن در شبکه، d_{ij} طول کمان (i, j) ، p_{ij} میزان نشر آلاینده منوکسیدکربن در کمان (i, j) ، مسیر بین یک زوج مبدأ- مقصد، x_{ij} حجم جریان ترافیک در کمان (i, j) ، زمان سفر در کمان (i, j) ، x_p^{ks} حجم ترافیک در مسیر P از مبدأ k به مقصد s ، x^{ks} تقاضای ترافیک از مبدأ k به مقصد s ، و $\delta_{ij,p}^{ks}$ مطابق رابطه (۳) تعریف می‌گردد.

$$\delta_{ij,p}^{ks} = \begin{cases} 1 & ; \text{ if } (i, j) \in p \\ 0 & ; \text{ otherwise} \end{cases} \tag{۳}$$

در مدل (۲)، توابع هدف غیرخطی و محدودیت‌ها خطی می‌باشند. بر اساس نظریه بهینگی پارتو، مدل (۲) دارای یک جواب منحصر بفرد نمی‌باشد، بلکه دارای مجموعه‌ای از جواب‌های بهینه پارتو می‌باشد. با توجه به غیرخطی بودن مدل و مشخص نبودن اولویت اهداف و با در نظر گرفتن ویژگی-های روش‌های تحلیلی حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفی، روش وزن‌دهی برای یافتن جواب‌های بهینه پارتو در مسأله سه‌هدفی تخصیص جریان ترافیک انتخاب شده است.

مسأله سه‌هدفی (۲) با استفاده از روش وزن‌دهی به مسأله تک‌هدفی زیر تبدیل می‌شود:

$$\begin{aligned}
Min \quad Z &= \left\{ w_1 \cdot \sum_{(i,j)} x_{ij} \cdot d_{ij} + w_2 \cdot \sum_{(i,j)} x_{ij} \cdot t_{ij}(x_{ij}) + w_3 \cdot \sum_{(i,j)} x_{ij} \cdot p_{ij}(x_{ij}) \right\} \\
s.t. & \\
1) \quad & \sum_p x_p^{ks} = x^{ks} \rightarrow h(x), v^{ks} \\
2) \quad & x_{ij} = \sum_{(k,s) \in p} \sum_{p \in p_{ks}} x_p^{ks} \cdot \delta_{ij,p}^{ks} \\
3) \quad & x_p^{ks} \geq 0 \\
& w_1, w_2, w_3 \geq 0 \\
& w_1 + w_2 + w_3 = 1
\end{aligned} \tag{۴}$$

در مسأله (۴)، w_1 وزن تابع هدف اول، w_2 وزن تابع هدف دوم و w_3 وزن تابع هدف سوم می-باشد. مسأله (۴) یک مسأله بهینه‌سازی غیرخطی تک‌هدفی می‌باشد. برای حل این مسأله غیرخطی از شرایط کان- تاکر استفاده می‌شود. شرایط کان- تاکر برای حل مسأله (۴) به صورت زیر درمی‌آید:

$$\begin{aligned} 1) \quad & \frac{\partial z}{\partial x_p^{ks}} - v^{ks} \frac{\partial h}{\partial x_p^{ks}} = 0 \\ 2) \quad & \sum_p x_p^{ks} - x^{ks} = 0 \\ 3) \quad & x_p^{ks} \geq 0 \end{aligned} \quad (5)$$

با محاسبه مشتقات جزئی در رابطه (۵) و بازنویسی شرایط کان- تاکر خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} 1) \quad & w_1 \cdot \tilde{d}_p^{ks} + w_2 \cdot \tilde{t}_p^{ks} + w_3 \cdot \tilde{p}_p^{ks} - v^{ks} = 0 \\ 2) \quad & \sum_p x_p^{ks} - x^{ks} = 0 \\ 3) \quad & x_p^{ks} \geq 0 \end{aligned} \quad (6)$$

در رابطه (۶) داریم:

$$\begin{aligned} \tilde{d}_p^{ks} &= \sum_{(i,j)} d_{ij} \cdot \delta_{ij,p}^{ks} \\ \tilde{t}_p^{ks} &= \sum_{(i,j)} (t_{ij}(x_{ij}) + x_{ij} \cdot \frac{dt_{ij}}{dx_{ij}}) \cdot \delta_{ij,p}^{ks} \\ \tilde{p}_p^{ks} &= \sum_{(i,j)} (p_{ij}(x_{ij}) + x_{ij} \cdot \frac{dp_{ij}}{dx_{ij}}) \cdot \delta_{ij,p}^{ks} \end{aligned} \quad (7)$$

با استفاده از شرط اول کان- تاکر در رابطه (۶)، برای دو مسیر مجزای p و R از مبدأ k به مقصد s ، رابطه (۸) بین زمان سفر، مسافت پیموده شده و میزان نشر آلاینده منوکسیدکربن در مسیرهای موازی p و R بدست می‌آید:

$$w_1 \cdot \tilde{d}_p^{ks} + w_2 \cdot \tilde{t}_p^{ks} + w_3 \cdot \tilde{p}_p^{ks} = w_1 \cdot \tilde{d}_R^{ks} + w_2 \cdot \tilde{t}_R^{ks} + w_3 \cdot \tilde{p}_R^{ks} \quad (8)$$

شرط دوم کان- تاکر در رابطه (۶) بیانگر تعادل جریان ترافیک در گره‌های شبکه و شرط سوم بیانگر غیرمنفی بودن جریان در مسیرها می‌باشد. بنابراین برای حل مسأله یک‌هدفی (۴) لازم است دستگاه معادلات شامل رابطه (۸) و روابط تعادل جریان ترافیک در گره‌های شبکه برای ترکیبات مختلف w_1 ، w_2 و w_3 ، حل شود. با حل این دستگاه‌های معادلات، جواب‌های بهینه مسأله تک‌هدفی (۴) که همان جواب‌های بهینه پارتو مسأله سه‌هدفی (۲) می‌باشد، بدست می‌آید.

شرایط کان- تاکر، شرط لازم برای بهینگی یک نقطه در مسأله یک‌هدفی (۴) می‌باشد. شرایط کافی برای بهینه بودن یک نقطه آن است که توابع هدف و محدودیت‌های مساله محدب باشند. برای محدب بودن یک تابع باید ماتریس هیشین^۱ آن معین مثبت^۲ یا نیمه معین مثبت^۱ باشد. بنابراین اگر

^۱ Hessian Matrix

^۲ Positive Definite

ماتریس هیشین همه محدودیت‌ها و توابع هدف در مساله (۵) معین مثبت یا نیمه معین مثبت باشد، روش وزن‌دهی قادر به تولید جبهه کارایی به طور کامل خواهد بود.

حالت دوم: در این حالت تابع مربوط به زمان سفر در مساله تخصیص سه هدفی، تابع تعادل استفاده کننده می‌باشد. از آنجایی که در شبکه‌های حمل و نقلی آنچه در واقعیت اتفاق می‌افتد، به تعادل استفاده کننده نزدیک‌تر است، بنابراین این مدل کاربردی‌تر می‌باشد. فرم ریاضی مدل سه هدفی تخصیص در این حالت به صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned} \text{Min } f_1 &= \sum_{(i,j)} x_{ij} \cdot d_{ij} \\ \text{Min } f_2 &= \sum_{(i,j)} \int_0^{x_{ij}} t_{ij}(u) \cdot d_u \\ \text{Min } f_3 &= \sum_{(i,j)} x_{ij} \cdot p_{ij}(x_{ij}) \end{aligned} \quad (9)$$

s.t.

$$\begin{aligned} 1) \sum_p x_p^{ks} &= x^{ks} \\ 2) x_{ij} &= \sum_{(k,s) \in p} \sum_{p \in p_{ks}} x_p^{ks} \cdot \delta_{ij,p}^{ks} \\ 3) x_p^{ks} &\geq 0 \end{aligned}$$

مساله سه‌هدفی (۹) با استفاده از روش وزن‌دهی به مساله تک‌هدفی زیر تبدیل می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z &= \left\{ w_1 \cdot \sum_{(i,j)} x_{ij} \cdot d_{ij} + w_2 \cdot \sum_{(i,j)} \int_0^{x_{ij}} t_{ij}(u) \cdot d_u + w_3 \cdot \sum_{(i,j)} x_{ij} \cdot p_{ij}(x_{ij}) \right\} \\ \text{s.t.} \\ 1) \sum_p x_p^{ks} &= x^{ks} \rightarrow h(x), v^{ks} \\ 2) x_{ij} &= \sum_{(k,s) \in p} \sum_{p \in p_{ks}} x_p^{ks} \cdot \delta_{ij,p}^{ks} \\ 3) x_p^{ks} &\geq 0 \\ w_1, w_2, w_3 &\geq 0 \\ w_1 + w_2 + w_3 &= 1 \end{aligned} \quad (10)$$

روش حل مساله (۱۰) کاملاً مشابه روش حل مساله یک‌هدفی حالت اول، یعنی مساله (۴) می‌باشد. بنابراین چنان‌چه شرایط کان-تاکر را برای مساله (۱۰) نوشته و محاسبات لازم را انجام دهیم، رابطه (۱۱) بین زمان سفر، مسافت سفر و میزان نشر آلاینده منوکسیدکربن در مسیرهای موازی p و R بدست می‌آید.

$$w_1 \cdot \tilde{d}_p^{ks} + w_2 \cdot t_p^{ks} + w_3 \cdot \tilde{p}_p^{ks} = w_1 \cdot \tilde{d}_R^{ks} + w_2 \cdot t_R^{ks} + w_3 \cdot \tilde{p}_R^{ks} \quad (11)$$

در رابطه (۱۱)، $\tilde{d}_p^{ks}$ و $\tilde{p}_p^{ks}$ مطابق رابطه (۷) و t_p^{ks} مطابق رابطه زیر تعریف می‌شود.

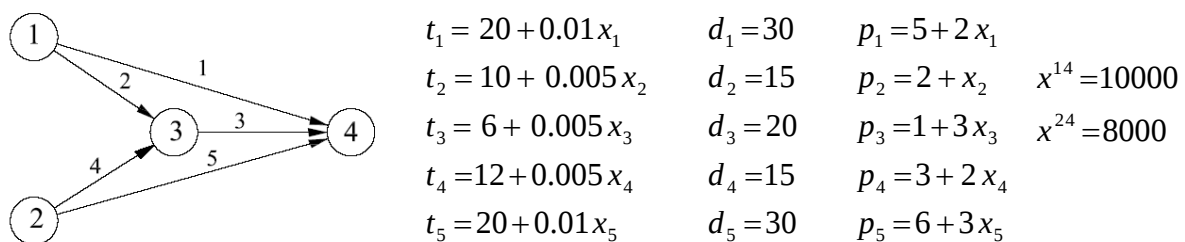
$$t_p^{ks} = \sum_{(i,j)} t_{ij} (x_{ij}) \cdot \delta_{ij,p}^{ks} \quad (12)$$

برای حل مسأله یک‌هدفی (۱۰) لازم است دستگاه معادلات شامل رابطه (۱۱) و روابط تعادل جریان ترافیک در گره‌های شبکه برای مقادیر مختلف w_1 ، w_2 و w_3 ، حل شود. با حل این دستگاه-های معادلات جواب‌های بهینه مسأله یک‌هدفی (۱۰) که همان جواب‌های بهینه پارتو مسأله سه‌هدفی (۹) می‌باشد، بدست می‌آید. یادآوری می‌شود که شرایط درجه دوم بهینگی در این مسأله همان شرایطی است که در مسأله (۴) ذکر گردید.

۴- حل مدل سه‌هدفی تخصیص ترافیک در یک شبکه حمل و نقلی با روش وزن‌دهی

به منظور کنترل روابط تحلیلی بدست آمده در بخش قبل، در این قسمت مدل سه‌هدفی تخصیص ترافیک در حالت دوم، برای یک شبکه با استفاده از نتایج روش وزن‌دهی حل شده و نتایج با حالت یک‌هدفی مقایسه می‌شود.

شبکه حمل و نقلی در نظر گرفته شده و روابط زمان سفر، مسافت سفر و میزان نشر آلاینده منوکسیدکربن در کمان‌های آن به صورت زیر می‌باشد.



همان‌گونه که ملاحظه می‌شود این شبکه از ۴ گره و ۵ کمان تشکیل شده است و دارای دو زوج مبدأ-مقصد می‌باشد. مسیرهای بین مبدأ ۱ و مقصد ۴ بصورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

مسیر p : شامل کمان ۱، مسیر Q : شامل کمان‌های ۲ و ۳

مسیرهای بین مبدأ ۲ و مقصد ۴ نیز بصورت زیر تعریف می‌شود:

مسیر p : شامل کمان ۵، مسیر Q : شامل کمان‌های ۳ و ۴

با حل دستگاه معادلات حاصل از رابطه (۱۱) و روابط تعادل جریان ترافیک در گره‌های شبکه برای ترکیبات وزنی مختلف، جواب‌های بهینه پارتو مسأله سه‌هدفی تخصیص بدست می‌آید. با توجه به اینکه ماتریس هیشین مربوط به توابع زمان سفر، مسافت سفر و میزان نشر آلاینده منوکسیدکربن در شبکه فوق، نیمه معین مثبت می‌باشد، بنابراین این توابع محدب می‌باشند. هم‌چنین از آنجایی که محدودیت‌های مسأله سه‌هدفی تخصیص در شبکه فوق محدب می‌باشد، منطقه قابل قبول نیز یک مجموعه محدب خواهد بود. بنابراین شرایط درجه دوم بهینگی برقرار بوده و روش وزن‌دهی منجر به تولید کامل مجموعه پارتو می‌گردد.

در جدول (۱) خلاصه‌ای از نتایج حل مدل سه‌هدفی تخصیص در شبکه فوق ارائه شده است. چنانچه در این مساله برای انتخاب بهترین جواب از بین مجموعه بهینه پارتو، از روش L2-norm مطابق توضیحات بخش (۲) استفاده کنیم، نقطه ۸ در جدول (۱) که دارای ترکیب وزنی $w_1=0.2$ ، $w_2=0.6$ و $w_3=0.2$ می‌باشد، به عنوان بهترین جواب برای مساله سه‌هدفی تخصیص ترافیک بدست می‌آید. در واقع این نقطه دارای کمترین فاصله از نقطه ایده‌آل می‌باشد. مختصات نقطه ایده‌آل و بهترین جواب در این مساله به صورت زیر می‌باشد.

Best Solution : Point 8: $f_i = (f_1, f_2, f_3) = (562095, 889706, 295243002)$

Utopia point: $f_i^* = (f_1^*, f_2^*, f_3^*) = (540000, 825973, 295242204)$

در صورتی که در تخصیص جریان ترافیک در شبکه حمل و نقلی فوق، تنها شاخص زمان سفر (تابع تعادل استفاده کننده) در نظر گرفته شود، خواهیم داشت:

$$\begin{cases} x_1 = 5547 \\ x_2 = 4453 \\ x_3 = 7440 \\ x_4 = 2987 \\ x_5 = 5013 \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} f_1 = 577 \times 10^3 \\ f_2 = 826 \times 10^3 \\ f_3 = 341 \times 10^6 \end{cases} \quad (13)$$

با مقایسه مقادیر توابع هدف در رابطه (۱۳) و جدول (۱) ملاحظه می‌شود که مقدار توابع هدف f_1 (مسافت پیموده شده در شبکه) و f_3 (میزان نشر آلاینده منوکسیدکربن) در حالت یک‌هدفی تقریباً از تمام جواب‌های بهینه پارتو حالت سه‌هدفی بیشتر است. این در حالی است که برای تابع هدف f_2 (زمان سفر در شبکه) وضعیت متفاوت است، بگونه‌ای که مقدار تابع هدف f_2 در حالت یک‌هدفی از همه جواب‌های پارتو حالت سه‌هدفی کمتر است. هر چند در حالت یک‌هدفی زمان سفر در شبکه تا حد ممکن کاهش می‌یابد ولی مسافت طی شده و میزان نشر آلاینده منوکسیدکربن نسبت به حالت سه‌هدفی افزایش می‌یابد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود نتایج حالت سه‌هدفی نسبت به حالت یک‌هدفی کاملاً واقعی‌تر و کاربردی‌تر می‌باشد. بنابراین در صورتی که بخواهیم این سه عامل را به طور هم‌زمان کاهش دهیم باید مسأله تخصیص را به صورت سه‌هدفی در نظر بگیریم.

در جدول (۱):

w_1, w_2, w_3 : ضریب وزنی توابع مسافت، زمان سفر و نشر آلاینده منوکسید کربن در روش وزن-دهی مطابق رابطه (۱۰)

x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 : حجم جریان ترافیک در کمان‌های (۱) تا (۵) شبکه

d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 : طول کمان‌های (۱) تا (۵) شبکه

p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 : میزان نشر آلاینده منوکسیدکربن در کمان‌های (۱) تا (۵) شبکه

f_1 : میزان مسافت پیموده شده در کل شبکه

f_2 : زمان سفر کل شبکه

f_3 : میزان نشر آلاینده منوکسید کربن در کل شبکه

جدول ۱: خلاصه نتایج حل مسأله سه هدفی تخصیص ترافیک در یک شبکه حمل و نقلی با روش وزن دهی

<i>point</i>	<i>w₁</i>	<i>w₂</i>	<i>w₃</i>	<i>d₁</i>	<i>d₂</i>	<i>d₃</i>	<i>d₄</i>	<i>d₅</i>	<i>P₁</i>	<i>P₂</i>	<i>P₃</i>	<i>P₄</i>	<i>P₅</i>	<i>x₁</i>	<i>x₂</i>	<i>x₃</i>	<i>x₄</i>	<i>x₅</i>	<i>f₁</i>	<i>f₂</i>	<i>f₃</i>
1	0.33	0.33	0.33	30	15	20	15	30	15485	2262	13243	4311	17544	7740	2260	4414	2154	5846	562070	890145	295268740
2	0.5	0.5	0	30	15	20	15	30	11499	4255	21121	5577	15645	5747	4253	7040	2787	5213	575200	826973	329973592
3	0.5	0	0.5	30	15	20	15	30	15493	2258	13231	4311	17544	7744	2256	4410	2154	5846	562050	890338	295268668
4	0	0.8	0.2	30	15	20	15	30	15461	2274	13282	4313	17541	7728	2272	4427	2155	5845	562135	889543	295270210
5	0	0.6	0.4	30	15	20	15	30	15481	2264	13252	4311	17544	7738	2262	4417	2154	5846	562100	889700	295295348
6	0.2	0.8	0	30	15	20	15	30	11199	4405	22021	5877	15195	5597	4403	7340	2937	5063	576700	826036	337903192
7	0.6	0.4	0	30	15	20	15	30	11699	4155	20521	5377	15945	5847	4153	6840	2687	5313	574200	828223	325187192
8	0.2	0.6	0.2	30	15	20	15	30	15469	2270	13267	4313	17541	7732	2268	4422	2155	5845	562095	889706	295243002
9	0	1	0	30	15	20	15	30	11099	4455	22321	5977	15045	5547	4453	7440	2987	5013	577200	825973	340746392
10	0.6	0.2	0.2	30	15	20	15	30	15487	2261	13240	4311	17544	7741	2259	4413	2154	5846	562065	890193	295268704
11	0	0	1	30	15	20	15	30	15491	2259	13231	4311	17544	7743	2257	4410	2154	5846	562035	890261	295242204
12	1	0	0	30	15	20	15	30	20005	2	1	3	24006	10000	0	0	0	8000	540000	1180000	392098000

۵- نتیجه گیری

۱) در این مقاله جریان تعادلی بهینه‌ای در شبکه محاسبه گردید که سه شاخص زمان سفر، مسافت پیموده شده و میزان نشر آلاینده منوکسید کربن در شبکه را حداقل می‌کند. استفاده کنندگان از شبکه کمترین زمان سفر را می‌خواهند. سیاست گذاران و مدیران حمل و نقلی کمترین مسافت طی شده در شبکه را می‌خواهند و افراد جامعه خواستار کمترین میزان نشر آلاینده در شبکه هستند. در واقع جریان تعادلی بهینه‌ای که با مینیمم کردن ۳ شاخص فوق بدست آید باید مبنای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی قرار گیرد، زیرا در این حالت است که خواسته‌های همه گروه‌ها اجابت می‌گردد.

۲) مدل ارائه شده در این مقاله مدلی کاربردی‌تر و واقعی‌تر برای تخصیص جریان ترافیک در شبکه می‌باشد. در این مدل تابع زمان سفر یکبار تابع بهینه‌سازی سیستم و یکبار تابع تعادل استفاده کننده در نظر گرفته می‌شود. از آنجایی که در شبکه‌های حمل و نقلی آنچه در واقعیت اتفاق می‌افتد، به تعادل استفاده کننده نزدیک‌تر است، بنابراین مدل دوم واقعی‌تر و کاربردی‌تر می‌باشد.

۳) با مقایسه مقادیر توابع هدف در تخصیص یک هدفی (تابع زمان سفر تنها) و تخصیص سه‌هدفی (توابع زمان سفر، مسافت سفر و میزان نشر آلاینده منوکسید کربن) ملاحظه می‌شود نتایج حالت سه‌هدفی نسبت به حالت یک هدفی کاملاً واقعی‌تر و کاربردی‌تر می‌باشد.

۴) در بین جواب‌های بهینه پارتو که با استفاده از روش وزن‌دهی برای مسأله سه‌هدفی تخصیص بدست آمد، انتخاب بهترین جواب با استفاده از روش L_2 -norm صورت گرفت. این جواب در واقع دارای کمترین فاصله از نقطه ایده‌آل می‌باشد. با حل مسأله تخصیص سه‌هدفی در یک شبکه حمل و نقلی ملاحظه می‌شود بهترین جواب در حالتی اتفاق می‌افتد که تابع مسافت و نشر آلاینده منوکسید کربن دارای وزن $0/2$ و تابع زمان سفر دارای وزن $0/6$ می‌باشد.

۵) در این مقاله از بین شاخص‌های عملکردی شبکه، فقط سه شاخص زمان سفر، مسافت سفر و میزان نشر آلاینده منوکسید کربن در تخصیص جریان ترافیک منظور گردید. پیشنهاد می‌گردد سایر شاخص‌های عملکردی شبکه از قبیل میزان مصرف سوخت، میزان نشر آلاینده‌های HC و NO_x ، میزان تأخیر در شبکه و ایمنی در شبکه نیز منظور گردد.

۶) در این مقاله تقاضای سفر بین زوج‌های مبدأ- مقصد ثابت در نظر گرفته شد. هرچند این فرض تقریباً با واقعیت مطابقت دارد اما پیشنهاد می‌شود مسائل سه‌هدفی مطرح شده، در حالت تقاضای انعطاف‌پذیر نیز حل و نتایج با حالت تقاضای ثابت مقایسه شود.

۶- مراجع

- 1- TransCAD Program, Planning Help. Vol. 1.
- 2- Tzeng, H. and Chen, C., 1993, "Multiobjective Decision Making for Traffic Assignment" , IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT, VOL.40, NO. 2.
- 3- Nagurney, A., J. Dong, and P.L. Mokhtarian, 2002, "Traffic Network Equilibrium and the Environment: A Multicriteria Decision-Making Perspective," in Computational Methods in Decision-Making, Economics and Finance.
- ۴- جمور، داود، "استفاده از بهینه سازی چندهدفی در تخصیص جریان ترافیک"، ۱۳۸۸ ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره).
- 5- Sheffi, Y., 1985, "Urban Transportation Network: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods," Massachusetts Institute of Technology.
- ۶- جمور، داود، رصافی، امیرعباس، "استفاده از بهینه سازی چندهدفی در تخصیص جریان ترافیک در حالت تقاضای سفر متغیر"، ۱۳۹۱، دوازدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران.
- 7- Thu Bui, L. and Alam, S., 2008, "An Introduction to Multi-Objective Optimization", Chapter I, University of New South Wales, Australia.
- 8- Fu, Y. and Diwekar, U., 2004, "An Efficient Sampling Approach to Multiobjective Optimization" , Annals of Operations Research 132.
- 9- Obayashi, S., Sasaki, D. and Oyama, A., 2004, "Finding Tradeoffs by Using Multiobjective Optimization Algorithms" , Transactions of JSASS Vol. 47, No. 155, pp. 51-58.
- 10- Coello, C., Lamont, G. and Van Veldhuizen, D., 2007, "Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems" , Springer, Second Edition.
- 11- Eschenauer, H., Koski, J., and Osyczka, A.E., 1990, "Multicriteria Design Optimization: Procedures and Applications", Springer-Verlag, New York.
- 12- Kasprzak, E.M. and K.E. Lewis., 2001, "Pareto Analysis in Multiobjective Optimization Using the Colinearity Theorem and Scaling Method," Structural and Multidisciplinary Optimization, Volume 22.
- 13- Marler, R.T. and J.S. Arora, 2009, "The weighted sum method for multi objective optimization: new insights," Springer-Verlag.
- 14- Marler, R.T. and J.S. Arora, 2005, "Function-transformation methods for multiobjective optimization," Engineering Optimization Vol. 37, No. 6.
- 15- Mundia, T.G., 2009, "Potential Role of Multiobjective Optimisation Methods in Water Resource Planning in Kenya," African Institute for Mathematical Sciences.

Modeling For Traffic Assignment based on Travel Time, Travel Distance and Rate of Carbon Monoxide Emissions Using Multi Objective Optimization

Davood Jamour¹, Mehdi Hasanzadeh²

1-M.Sc Transportation Planning, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

2- M.Sc Transportation Planning,, Iran University Of Science and Technology, Tehran, Iran.

Abstract

Traffic assignment algorithms are used to determine probable user routes between origin-destination pairs and predict traffic flow in network arcs. One of the main deficiencies of present traffic assignment methods is that in almost every assignment method only one criterion (usually travel time) is considered as objective function and other affective indicators in traffic assignment are not included. In this paper we want to introduce a solution for this problem and a more realistic and useful method of traffic assignment using multi-objective optimization concepts. To do this, in solving traffic assignment problems, besides travel time, travel distance and rate of carbon monoxide emissions are also taken into account.

Solving the three-objectives problem, using weighting method and comparing the results, we can see the analytical relationships resulted from using weighting method in solving three-objectives traffic assignment is applicable in different networks. Also, by comparing the solutions of three-objectives problem and single-objective one (travel time only) we can see that the results of three-objectives mode is more realistic and useful.

Key words: multi-objective optimization, traffic assignment, Pareto optimal solution, user equilibrium, system optimization.