ساماندهی ترافیک ازطریق تنظیم بهینهٔ شبکه معابر یک طرفه
مطالعهٔ موردی : منطقه ۱ و ۲ شهرشیراز

حامدخسروی[*1] کارشناس ارشد راهوترابری،دانشگاه صنعتی اصفهانو کارشناس‌ارشد ترافیک سازمان حمل و نقل وترافیک شهرداری شیراز
پیمان باباخانی کارشناس ارشد برنامه ریزی حمل و نقل،دانشگاهصنعتینوشیروانیبابل وکارشناسارشدترافیک سازمان حمل و نقل وترافیک شهرداری شیراز
علی زحمت کش معاون حمل و نقل و ترافیک شهرداری شیراز

چکیده

یک‌طرفه کردن خیابان نوعی تخصیص منابع موجود (فضای حرکت) به حجم ترافیک در شبکه است. یک‌طرفه کردن خیابان‌ها به دلیل‌های مختلف، از جمله ناکافی بودن عرض خیابان برای حرکت دوطرفه، کاهش تاخیر در تقاطع‌های مربوط به خیابان، افزایش ایمنی وسایل نقلیه و پیاده‌ها و کاهش شلوغی در خیابان‌ها پیشنهاد می‌شود. مقالهٔ حاضر گزارشی از تلاش‌های انجام شده در زمینهٔ ایجادیک سیستم مؤثر از خیابان‌هاییک‌طرفه برای شهر شیراز و انتخاب یک سیستم مناسب از میان گزینه‌های قابل طرح است. برای ارزیابی گزینه‌ها از نرم افزار کلان نگر Emme/2 استفاده که در نهایت گزینه حاصل از روش گرم و سرد کردن شبیه‌سازی شده به عنوان بهترین گزینه انتخاب گردید.

واژگان کلیدی:تخصیص ترافیک، روش گرم و سرد کردن شبیه سازی شده، شبکه خیابان‌هاییک‌طرفه.

---

* نویسنده مسئول h.khosravi@cv.iut.ac.ir

۱. این مقاله در اولین کنفرانس بین اامللی انسان، معماری، عمران و شهر در تبریز ارائه شده است.

۱. مقدمه

یک‌طرفه‌کردن خیابان‌ها به دلایل مختلف از جمله ناکافی بودن عرض خیابان برای حرکت دوطرفه، کاهش تاخیر در تقاطع‌های مربوط به خیابان، افزایش ایمنی وسایل نقلیه و پیاده‌ها و کاهش شلوغی در خیابان‌ها پیشنهاد می‌شود. واضح است که ارائهٔ عرض دو جهت خیابان برای حرکت در یک جهت، موجب افزایش ظرفیت خیابان در جهت حرکت و به صفر رساندن آن در جهت دیگر است؛ ولی این کار کرد از یک سو شلوغی (برای نمونه وسایل نقلیه - ساعت) را در خیابان‌ها در جهت حرکت کاهش می‌دهد و از سوی دیگر اینکار میزان حرکت وسایل نقلیه (وسیله نقلیه- کیلومتر) را در اطراف خیابانی یک‌طرفه بر ایر سیدن به مقصدها یی افزایش می‌دهد. از این رو انتظار می‌رود که یک‌طرفه‌کردن خیابان‌ها بر مصرف سوخت، تولید آلاینده‌ها و زمان صرف شده در شبکه اثر می‌گذارد (فراهانی، ۲۰۱۳).

بر ای آن که یک سیستم خیابانی یک‌طرفه در شبکه مفید واقع شود، لازم است که شبکه دارای ویژگی‌ها ی چند باشد. از جمله آن که خیابان‌ها یی یک‌طرفهٔ پیشنهادی به صورت خیابان‌ها یی موازی در فاصله کم از یکدیگر قرار داشته باشد. اینها عث می‌شود که خیابان‌ها یی موازی یک‌طرفه شده که یکدیگر را میان جهت حرکت هم سو دارند، به صورت یک خیابان دوطرفه (با کمی فاصله بین دو جهت حرکت) عمل کنند. در زمینهٔ مدیریت و تنظیم جهت معابر پژوهش‌ها یی متعدد ی صورت گرفته است. افندیزاده (۱۳۹۰)،

بااستفادهازروشگرموسرکردنشبیه‌سازیشده[1] (SA)، راهحلی برایمسئلهٔطراحیشبکهٔپیوستهباتقاضایالاستیکپیشنهادکرد. زووهمکارانش (۲۰۰۹)، کاربرددوالگوریتمگرموسرکردنشبیه‌سازی شده و الگوریتم ژنیتیک را در حل مسئلهٔطراحیشبکهٔپیوسته با یکدیگر مقایسه کردند. پژوهشی در مورد طراحیشبکهٔخیابان‌هاییکطرفهباهدفکاهشزمانسفراستفادهکنندگانتوسطلیویانگ(۱۹۹٤) صورتگرفت.

آن‌هاازروشابتکاریویژهوروشابتکاریبرپایهروشگرموسردکردنشبیهسازیشدهبرایطراحیشبکهٔ خیابان‌هاییکطرفهاستفادهکردند. آن‌ها دریافتند که هر چند هزینهٔمحاسبهٔروشگرموسردکردنشبیه‌سازیشدهنسبتبهالگوریتمویژهبسیاربیش‌تر است ولی استفاده از آن به ویژهدر تقاضاهای زیاد بسیارکاراتر است. درنزر و وسولسکی (۱۹۹۷) با هدف یافتن پیکربندیبهینهٔخیابان‌هاییکطرفهودوطرفه در یکشبکهٔخیابانیباتابعهدفکمینهکردنزمانسفراستفادهکنندگانپژوهشیانجامدادند. آن‌ها دریافتند که ترکیبیکشبکهٔیکطرفهودوطرفه، عملکرد بهتری نسبت به یکشبکهٔکاملادوطرفه دارد.

مقالهحاضرگزارشیازتلاش‌های انجام شده در زمینهٔایجادیک سیستممؤثرازخیابان‌هاییکطرفهبرایشهرشیرازوانتخابیکسیستممناسبازمیانگزینه‌هایقابلطرح می‌باشد.

۲.طراحی شبکه خیابان‌هاییک‌طرفه

۲-۱. تعریف مسئله

طراحیسیستمخیابان‌هاییکطرفهرامی‌توان به صورت یکمسألهٔطراحیشبکهنگریست که در آن برای هر کمان دو پروژه خیابانییکطرفهدرهریکاز جهت‌های حرکت خیابان علاوه بر کارکرد دو طرفه وجود دارد.

فرضمی‌شودکه $N(V, \bar{A})$ شبکه موجود باشد که در آن همهٔکمان‌هادوطرفهاندغیرازآن‌هاکهازنظرفیزیکییاتعریفیقابلیتکارکرددوطرفهراندارد.

1. Simulated Annealing (SA)

هم‌چنین‌فرض می‌شود که A مجموعه کمان‌هاییاستکهموردتصمیم‌گیری نیستند و-Ā Aمجموعه کمان‌هاییاستکهعملکرددوطرفهیایک‌طرفه‌آن‌هاموردپرسشقرارگرفتهاست. فرضمی‌شود:

y = بردار تصمیم‌گیریخیابان‌هایموردتصمیم‌گیریبراییک‌طرفه شدن (با k عنصر) باشد.

عنصرهای این بردار:

y_i=، ۱ اگر خیابان مورد تصمیم گیری i-ام دوطرفه باشد۲اگر خیابان مورد نظر i در یک سو یک‌طرفه باشدیا ۳اگر این خیابان در سوی دیگریک‌طرفه باشد، i =۱، ۲، ...، k.

به‌علاوهفرضمی‌شود:

d_i = مجموعه تصمیم‌های قابل طرح برای خیابان i-ام کهیا مجموعه {۳، ۲، ۱}یایکی از زیر مجموعه‌هایدوعنصریاآناست.

N_y = شبکهٔ‌خیابانیامجموعهتصمیم‌های y برای خیابان‌هایموردتصمیم‌گیریکهمجموعهکمان‌های A_y را ایجاد می‌کند.

FN = مجموعه شبکه‌هایخیابانیمجاز (که درآن‌هامحدودیت‌هایخواستهشدهدرشبکهبرقراراست)؛

بدینترتیبمسألهٔ‌طراحیشبکهٔ‌خیابان‌هاییک‌طرفهرامی‌توانبهصورتزیرنوشت:

$$(P)\quad \min_{y\in Y} F(y) = \sum_{j=1}^{2} \gamma_j \left[\sum_{l\in A} x_l^j \cdot t_l(x_l^j) + \sum_{l\in A_y} x_l^j\, t_l^{y_l}(x_l^j)\right]$$

$$\text{s.t.: } (1)\ Y = \{(y_1, y_2, \ldots, y_k) \mid y_i \in d_i,\ i = 1, 2, \ldots, k\}$$

$$(2)\ N_y \in FN$$

$$(3)\ x^j \in \text{Assign}\ (N_y, D^j)$$

$$\gamma_j$$

که در آن j = ۱ و ۲به ترتیبنشان دهندهٔ‌حجم جریان در ساعت اوج (طراحی) صبح

و عصر است وتعدادساعت‌هایی از روز که مشابه حجم طراحی j است. تابع هدف مسأله F(Y) از این جهت تابعی از j شده است که به سبب جهت‌داربودنسفرهادرصبحوعصرسیستمشبکهخیابانیمناسببرایصبحممکن است برای عصر شبکهٔنامناسبی باشد. هم‌چنینوزن لازم را به این دو نوع تقاضا می‌دهند. بدین ترتیب F(Y) که زمان صرف شده در شبکه در ساعت طراحی صبح و عصر باتوجه به وزن حضور شرایط تقاضای صبح و عصر در شبکه است. در این تابع t_1 (0) برای l2Ay از این روی تابعی از y_1 است که هم تخصیص کلیا نیمی ازمقطع عرضی خیابان l موجب تغییر در پارامترهای تابع زمان سفر – حجم دو جهت عبور خیابان l می‌شود و همعملکردیک‌طرفهخیابانباعثتغییراینپارامترهادرجهتافزایشکارایی (به سببکاهشبرخورددرطولخیابانودرتقاطع‌هایدوسرآن) می‌شود (میرجلالیه شیرازی، ۱۳۸۰).

۲-۲. محدودیت‌هایمسأله

مجموعهمحدودیت‌هایی که تعیینکنندهٔشبکه‌هایمجازهستند،شبکه‌هاییراتشکیلمی‌دهندکهویژگی‌هاییبهشرحزیرداشتهباشند:

الف- در برخی از موارد به سبب کافی نبودن عرض خیابان برای عبور دوطرفهیا به دلیل سیاسی و امنیتیبا بهخاطر ایمنییکسویهشدنیکضرورتتشخیصدادهمی‌شود.

ب-

دربعضیازخیابان‌ها،بهخاطرروانیحرکت،ضروریاستکهاجزایآنخیابانباویژگی‌هایمشابهبهصورتمشابهعملکنند؛یاهمهدوطرفهباشندیا همگی در یک جهت یک‌سویهباشند.

پ- دراغلبمواقعتقاضایسفر، براینمونه، درصبحوبعدازظهردریکجهتخاص (صبح بهسویمرکزشهر، وبعدازظهربهسویبیرونازآن) درحالحرکتهستند. چون تعویض جهت حرکت خیابان در صبح و عصر با خطرهایایمنیترافیکروبهروست،اینامرموجبمی‌شودکهایجادظرفیتمشابهدردوسویحرکتدرخیابان‌هایموازیضروریشود. به عبارت دیگراگر خیابانی به سویی خاص

یک‌طرفه‌شود،خیابانموازیباآندرسویمخالفآنیک‌سویه‌شود. چنین‌طراحی از خیابان‌هایموازیدرگیرباشلوغی،آن‌هارابه‌صورتبلوارهاییکه‌فاصله‌دوسویحرکتدرآنکمیببیش‌تر ازیکبلوارمعمولیاستدرمی‌آورد. در نتیجه ضمن حل مسألهشلوغیدرصبحوعصرظرفیتمشابهیرادردوسویحرکتخیابانایجادمی‌کند.

ت-

ازجملهمحدودیت‌هایدیگریکهبایددریک‌سویه‌کردنخیابان‌هابهآن‌هاتوجهداشت،آناستکهد ریک‌سویه‌کردنخیابان‌ها دسترسی از مبدا یا به مقصد خاصی از بین نرودیا بخشی از خیابان‌هایاشبکهازحوزهانتفاعخارجنشود.

ث- گاهیشرایطشبکهچناناستکهرانندگانانتظارتغییرعملکردخیابانازیک‌طرفه به دو طرفهیا برعکس در خلاف جهت همرا در طول یک خیابان با سطح مقطع مشابه یادرطول خیابان کم‌ترازیکحدمعیننداردند. اینامرموجبمی‌شودکهاجزاییازآنخیابانبامحدودیت، قرار گرفتن در شرایط مشابه رو بهروشوند.

ج-

گاهینیازبهیک‌سویه‌کردنچندخیابانکنارهمبرایایجاددورهاییک‌سویهضروریمی‌شودوگاهیتر جیحمی‌دهندکهاینددورهاییک‌سویهراستگردباشدتاچپ‌گرد (که نیازبهقطعجریانترافیکباحرکتمستقیمنباشد) کهاینامرمحدودیت‌هایویژه‌ایرابرایحرکتایجادمی‌کند.

چ- مسائلامنیتینیزممکناستموجبشودتاحرکتترافیکدریکمنطقهرابهجهتخاصیسوقدهند. دراینزمینهممکناستیک‌سویه‌کردنبرخیاز خیابان‌هادرجهت‌هاییبهمنظورتامیناینهدفضرورتیابد

همهٔاینموردهامصداق‌هایاعمالمحدودیتبرجهتحرکتدرخیابان‌هاست و تعیینکنندهٔمجموعهشبکه‌هایمجازFN است.

۲-۳. حل مسأله طراحی شبکه خیابان‌هاییک‌طرفه با استفاده از روش گرم و سرد کردن شبیه‌سازی شده

برایاجرایروشگرموسردکردنشبیه‌سازیشدهرویشبکهمعابرشیرازبرایطراحیشبکهخیابان هاییکطرفه آنیاز به یک تابع هزینه،مجموعه‌ای از شبکه‌هایمجازویکفرآیندتولیداینشبکه‌هاست. دراینمطالعهتابعهزینه، همان کل زمان سفر استفاده کنندگان شبکه است. مجموع شبکه‌های مجاز همان N_y است که در مسأله (P) به عنوان محدودیت (۲) تعریف شد و فرآیند تولید شبکه‌هایمجازمکانیزمیاستکهبراساسیکشبکهمجازجاریشبکهمجازهمسایهآنراتولیدمی‌کند. اینکارباتغییرهم‌زمان تصمیم برای$m=۲$ خیابان مورد تصمیم‌گیریصورتمی‌گیرد. به عبارت دیگراز مجموعه تصمیم‌های مجاز برای این$m=۲$ خیابان عضو دیگری از Y غیر از شبکه جاری برگزیده می‌شود که مجاز باشد (عضو FN باشد) از جمله آن که بین هر زوج مبدا-مقصد آن دست‌کمیکمسیروجودداشتهباشد. درغیراین‌صورتشبکههمسایهدیگریتولیدمی‌شود.

شبکهٔاولیهخیابان‌هاییک‌طرفهبهصورتتصادفیتولیدمی‌شود؛ بدین ترتیب که نخست وضعیت هر خیابان بهشکلتصادفیازمجموعهتصمیم‌هایآنبرگزیدهمیشود،سپسبررسیمی‌شودکهمحدودیت‌هایدو تایی (یاچندتایی) برایهم‌سویاناهم‌سوبودنخیابان‌هاو محدودیت وجود دست‌کمیک مسیر بین هر زوج مبدا- مقصد برقرار باشند. در صورت مجاز نبودن شبکهٔ بهدست آمدهاین کار تا دستیابی به یک چنین شبکه‌ایادامهمی‌یابد. اینشبکهبه عنوان شبکهٔخیابان‌هاییک‌طرفهٔاولیه، به دستور گرم و سرد کردن شبیه سازیدادهمی‌شود. این‌کار نظیر رسانیدن دمای جسم جامد به سطح بالا در فیزیک (مادهچگال) است (در واقع دردمایبالاشبکهکاملاًتصادفیاست).

معیارپذیرشیکشبکهجدیدمعیارمتروپلوس[1] است با فرض معلوم بودن حالت کنونی

1. Metropolis

جسم جامد کهبهوسیلهموقعیتذراتآنمشخص می‌شود. تغییرکوچکیبهصورتتصادفیبراثرتغییرموقعیتذرهایکهبهصورتتصادفیبرگزیدهمی‌شود، ایجاد می‌گردد. اگر تفاوت سطح انرژی دو حالت پیش و پس از تغییریادشده ΔE، نشان‌دهندهٔکاهشسطحانرژیپسازتغییرباشد،فرآیندسردکردنجسمازحالتجدیدادامهمییابد،درغیراین صورت اگر سطح انرژی پس از تغییر موردبحث افزایشیابداحتمال پذیرش حالت جدید برابر با عبارت بولتزمن خواهد بود:

$$\Delta E = E2 - E1 > 0 \text{ ،} \exp(-\Delta E / k_B.T) \quad \text{(عبارت بولتزمن)}$$

که در آن k_B،ثابتبولتزمن[1] است و T دمای جسم است. با پیروی از این معیار،سرانجامسیستمبهتعادلگرماییمی‌رسد،یعنی پس از تعداد زیادی تغییراینقانونتوزیعاحتمالحالت‌هایمختلفرابهتوزیعبولتزمننزدیکمی‌کند.

دستورمتروپولیس می‌توانددرتولیددنبالهایازجواب‌های مختلف در مسألهٔبهینه‌سازیترکیبیاستفادهشود.دراینصورتهرجوابنظیریکحالتازجسمجامدموردنظراست. اگر تابع هزینهٔC و پارامتر کنترلیc به ترتیبنقش انرژی و دما را بر عهده گیرند،دستورگرموسردکردنشبیه‌سازیشدهرامی‌توانبهصورتدنباله‌ای از دستور مترو پولیس تعریف کردکه روی دنباله‌ایکاهندهازمقدارهایپارامترکنترلیگسترشمی‌یابد. در آغاز رویپارامترکنترلیمقداربالاییننبتدادهمی‌شودو دنباله‌ایازشبکه‌هایمسألهبهینه‌سازیترکیبیبهشرحزیرتولیدمی‌شود. چون یک دستور بهبود تکراریبراساس فرآیند تولید جوابشبکه مجاز j از همسایگی شبکه جاری (مجاز) i تولید می‌شود، اینکارمانندهمانتغییرموقعیتیکذرهازجسمدردستورمتروپولیساست. با فرض $\Delta C_{ij} = C(j)-C(i)$، اگر $\Delta C_{ij} \leq 0$ شبکه مجاز j پس از شبکه i است (یعنی احتمال پذیرش آن ۱/۰ است) درغیراینصورت$\Delta C_{ij} \geq 0$ احتمال پذیرش جواب j براساس معیار بولتزمن برابر $\exp(-\Delta C_{ij}/c)$ است. بدین ترتیبیک احتمال غیر صفر برای پذیرش شبکه‌ایباهزینهبیش‌ترازشبکهجاریوجوددارد (تا دستورحلدردامنقطه‌هایکمینهمحلینیفتد) اینفرآیندادامهمییابدتاتعادلدردمایجاریایجادشود،یعنیتوزیعاحتمالشبکه‌ها به توزیع

1. Boltzman Constant

بولتزمنبه شرح زیربرسد :

$$P\{\text{شبکه} = i\} = q_i(c) = \frac{1}{Q(c)} \exp(-\frac{C(i)}{c}) \quad (۲)$$

کـه در آن Q(c)یـک ثابـت نرمـال کننـده وابسـته بـه پـارامتر کنترلـیc اسـت. باکاهشپارامترکنترلیدرمرحلههای مختلفو دستیابی به تعادل در هر مرحله بـه شـرحی کـه در بـالا گفتـه شـد، دسـتور حـل در یـک مقـدار کوچـک c کـه در آن در عمـل هـیچ شبکهایباتابعهدفبدترپذیرفتهنمیشودپایانمیگیرد. شبکهٔجارینهاییشبکهبهینهخواهدبود.

معیار رسیدن به تعـادل در هـر مرحلـه (دمـا) آن اسـت کـه در M (= ۵۰ در ایـن مطالعه) شبکه تولید شده جدید تابع هدف بهتری بدست نیایـد و معیـار پایـان دادن بـه عملیـات دسـتور حـل مـیتواندیکیاچندمعیارزیرباشـد : دماینهـاییکمترازمیزانمعینـی (مانندرصدیازدمایاولیه) شود، تعداد محاسبه تابع هدف از میزان معینی تجاوز نکندو یـا در m سطح از دمای اخیر جواب بهتری بهدسـتنیاید. در ایـن مطالعـه دمـای اولیـه ۱۰۰ گرفته شده است و روش کاهش دما آن است که دمای موجود در عـددی کمتـر از ۱/۰ (برای نمونه ۰/۹۵) ضربشود.

روش الگـوریتم سـرد و گـرم کـردن شبیهسـازی شـده بـرای حـل مسألهبهصورتزیراست:

گام ۰- تعیین مقدار اولیه برای دما c و پیکربندی اولیهi

گام ۱- فرآیندتولید: انتخـاب (تصـادفی) پیکربنـدیj، از همسـایگی پیکربنـدیi و محاسبهٔاختلاف تابع هدف برای این دو پیکربندی$\Delta C_{ij} = C(j)-C(i)$،

گـام ۲- معیارپذیرشـمتروپولیس: اگـر $\Delta C_{ij} \leq 0$ آنگـاه i←j وگرنـه اگـر $\exp(-\Delta C_{ij}/c)$ بزرگتر از عدد تصادفی در بازه [۰ ,۱] آنگاه i←j

گام ۳- اگر روند پیکربندی در دمای کنونی به اندازه کافی به تعـادل نزدیـک شـده باشد به گام بعد برو، به جز اینبهگام ۱ برگرد.

گام ٤- کاهشدما: c←w(c)

گام ۵- اگر معیار توقف برقرار است پایان، وگرنه به گام ۱ برگرد.

باتوجهبهتعریفهاییکهدربند ۲ مقالهصورتگرفت،تعدادتصمیمهایهمزمان و مجاز دو

خیابان i و j برابر است با

$|d_i| \times |d_j|$. اگر Sd_{ij} مجموعه تصمیم‌هایمجازهم‌زمان دو خیابان i و j باشد،آن‌گاهمی‌توان نوشت که $Sd_{ij} = d_i \times d_j$. با وجود محدودیت‌هایدیگر در حالت کلی $d_i 4Sd_{ij} \times d_j$ می‌شود. ازجملهاینمحدودیت‌هاواثرآن‌هابرمجموعهتصمیم‌هایهم‌زمان در خیابان i و j به شرح زیرند:

الف- محدودیتهم‌سویی کامل: $Sd_{ij} = d_i \times d_j \cap \{(۳،۳) \text{ و } (۲،۲) \text{ و } (۱،۱)\}$

ب- محدودیتهم‌سویی نسبی: $Sd_{ij} = d_i \times d_j - \{(۲،۳) \text{ و } (۳،۲)\}$

پ- محدودیتناهم‌سویی کامل: $Sd_{ij} = d_i \times d_j \cap \{(۲،۳) \text{ و } (۳،۲) \text{ و } (۱،۱)\}$

ت- محدودیتناهم‌سویی نسبی: $Sd_{ij} = d_i \times d_j - \{(۳،۳) \text{ و } (۲،۲)\}$

محدودیت (الف) ازمیانترکیب‌های مجاز تصمیم برای دو خیابان i و j، آن ترکیب‌ها را باهر دو خیابان‌دوطرفهیایک‌طرفههم‌سومی‌کندو برای انتخاب مجاز می‌شمارد. نمونه‌های این‌گونه‌محدودیت‌هابرایخیابان‌هاییکههم‌راستاهستندبهکار می‌رود. محدودیت (ب) تنهاشرطمی‌کندکهدوخیابانهم‌راستاخلافهمیک‌طرفهنباشند. محدودیت (پ) ازمیانترکیب‌های مجاز تصمیم برای دو خیابان i و j، آن ترکیب‌هاراکهظرفیتبرابریبرایدوجهتحرکتایجادمی‌کندمجازمی‌شمارد. نمونهاینگونه‌محدودیت‌هابرایدوخیابانموازیهمقابلکاربرداست. محدودیت (ت) تنهاشرطمی‌کندکهحرکتدردوجهتامکان‌پذیرباشد، اگر چه ضرورتی ندارد که، براینمونه،ظرفیتبرابررادردوجهتایجادکرد.

۲-٤. مدل تخصیص ترافیک

مدلتخصیص‌ترافیکتعیینکننده، مقدار تابع هدف دستور حل مسألهطراحیشبکهخیابان‌هاییک‌طرفهازروشگرموسردکردنشبیه‌سازیشدهاست. تابع هدف مورد نظر در این روش، کل زمان سفر استفاده کنندگان شبکهٔحملونقلنظیرهرجوابموردنظراست. جواب مسألهتخصیص ترافیک برایک شبکه مورد نظر جریان تعادل استفاده کننده در آن شبکه استکه با استفاده از روش فرانک –

ولف بهدستآوردهمی‌شود. برایشناختویژگی‌هایمسألهتخصیص ترافیکیادآوری نکات زیر بی مناسبت نیست (ممتحن، ۱۳۷۹).

در بخش عرضهٔحملونقل،شبکهخیابانیدرشهرشیرازوراه‌های اطراف آن در محدودهٔموردمطالعهشامل ۱۰۷۷ گرهو ۱۶۱۰ کماندوطرفهیایکطرفهاست. شبکهٔخیابانی شهر شیراز شامل پایگاه‌هایاطلاعاتیمختلفدرزمینهگره‌هایشبکه، کمان‌هایشبکه،کمان‌هایمجازیمتصلکنندهنقاطتولیدوجذبسفربهشبکه،گردش-هایممنوع،زمان‌بندیچراغ‌های راهنماییوخطوطاتوبوسرانیاستکههریکازآن-هااطلاعاتموردنیازمدلتخصیصترافیکرادرخودجایداده‌اند.

در بخش تقاضای حمل و نقل تقاضای مبدا – مقصد ساعت اوج صبح (متوسط ساعت ۷ تا ۹ بامداد) و تقاضای مبدا- مقصد ساعت اوج بعدازظهر (متوسط ساعت ۱۲ تا ١٤) مورد استفاده تصمیم‌گیریاست. بهمنظوردرنظرگیریاثرسفرهایرفت (در صبح) وبازگشت (در بعدازظهر) درتصمیم‌هاییکطرفهسازیخیابان‌ها (که می‌توانناثریمخالفهمداشتهباشند)،مجموعکلزمان‌هایسفرهایرفتوبرگشتایندوتقاضایسفرمبد ا- مقصدملاکتصمیم‌گیریبراییکطرفهکردنخیابان‌ها قرار گرفته است. بدین ترتیب طراحیشبکهٔخیابان‌هاییکطرفهبهگونه‌ایکهمناسبهردوتمایلحرکتازخانه (سفر رفت) وبهآن (سفر بازگشت) باشد،صورتمی‌گیرد (ممتحن، ۱۳۷۹).

۳. خیابان‌های مورد تصمیم‌گیری

بدیهیاستکهتعریفخیابان‌هایموردتصمیم‌گیری (نظیرپروژه‌هایمسألهطراحی شبکه) در نتیجهٔکاراثراساسیدارد. ازاین‌روشناساییخیابان‌هایمناسببراییکطرفه شدن کار حساسی در طراحیشبکهٔخیابان‌هاییکطرفه است.

خیابان‌هاییکطرفهوضعموجود،مجموعهدیگریازاینخیابان‌هارابهدستمی‌دهد. ازسویدیگر،روشناستکهدرصورتعدموجودشلوغیدریکخیابانعملکرددوطرفهبرایآنترجیحداد همی‌شود. زیرابدینترتیبدسترسیبهشبکهافزایشمی‌یابد. ازاین‌رو تلاشی در جهت دو طرفه کردن همهٔخیابان‌هاییکطرفهصورتگرفت.

دراینتلاشهمهخیابان‌هاییکهسوارهروآن‌هااجازهدوطرفهشدنآن‌هارامی‌داد (حداقل عرض ۷ متر) دوطرفهشدند. شکل (۱-الف) اینشبکهراکه«شبکه مبنا»خواندهمی‌شود،نشانمی‌دهد.

شکل (۱-ب) قسمتی از شبکهٔخیابانیشهرشیرازراکهشاملخیابان‌هایموردنظراستارائهمی‌کند. تعدادخیابان‌هاینامزدیک‌طرفه شدن در این مطالعه ۳٤ مورد بوده است که بهطور معمول درمرکزشهرشیرازقراردارند.

برایهرخیابانموردتصمیم‌گیرییکمجموعهازتصمیم‌هاوجوددارد. اینمجموعهازتصمیم‌هازیرمجموعه‌ایازمجموعهتصمیم‌های {۳، ۲، ۱} است کهدرآن ۱ بهمعنیوضعیتدوطرفهبرایخیابان و ۲ وضعیت حرکت یک‌طرفه در یک جهتو ۳ وضعیت حرکت یک‌طرفهدرجهتمخالفاست.

شکل ۱:

الف) شبکهمبنایخیابان‌هاییک‌طرفه

شکل ۱:

ب) منطقهموردمطالعهوناحیهبندیآن

جدول (۱) مجموعهتصمیمهایمربوطبههریکازخیابانهارانشانمیدهد. این جدولهمچنینمحدودیتهاییراکهخیابانهابایدازنظرهمسوییاناهمسوییدرارتباطباهمداشتهباشندنشانمیدهد. محدودیتدیگریدراینمطالعهمنظورنشدهاست، جزآنکهیکسویهکردنخیابانهانبایددسترسیهیکبخشازشبکهراازبینببرد.

جدول ۱: خیابانهایموردتصمیمگیریومجموعهتصمیمهایآنهاهمراهبا محدودیتهایدوتایی

شماره خیابان	نام خیابان	دنباله گرههای خیابان						مجموعه تصمیم ها*	شماره خیابانهای همسو		شماره خیابانهای ناهمسو	
1	نشاط	367	779	778	784			۱،۲،۳				
2	سمیه	841	854	861				۱،۲،۳				3
3	حر	842	872	855	862			۱،۲،۳				2
4	بازار انقلاب	714	715					۱،۲،۳				
5	فرمانداری	369	384					۱،۲،۳				
6	مشکین فام	725	715	861	862			۱،۲،۳	7			9
7	ساحلی شرقی	862	863					۱،۲،۳	6			
8	سعدی	351	374					۱،۲،۳				12
9	فردوسی	367	368	369	370	371	372	۱،۲،۳	10			6
10	فردوسی	372	373					۱،۲،۳	9	11		

شماره خیابان	نام خیابان	دنباله گره‌های خیابان						مجموعه تصمیم ها*	شماره خیابان‌های همسو		شماره خیابان‌های ناهمسو	
11	فردوسی		373	374				۱،۲،۳	10			
12	رودکی		350	372				۲،۳			8	
13	عبیرآمیز- عمادی		873	874	875			۱،۲،۳			14	
14	ساحلی شرقی		864	865				۱،۲،۳			13	
15	ساحلی شرقی		863	864				۱،۲،۳				
16	تختی		377	394	379	380		۱،۲،۳			17	
17	کشاورز		377	393				۱،۲،۳			16	
18	کشاورز		358	393				۱،۲،۳				
19	هجرت		352	365				۱،۲،۳				
20	۲۲بهمن		354	366	386	376		۱،۲،۳				
21	بازار نو		377	387				۱،۲،۳				
22	فردوسی		375	376	377			۱،۲،۳				
23	راهنمایی		393	394				۱،۲،۳				
24	هفت تیر		785	793	798	803	814	۱،۲،۳			25	26
25	فلسطین	812	783	792	797	802	807	۱،۲،۳			24	
26	فقیهی		786	794	799	804	815	۱،۲،۳			24	27
27	اسدآبادی		787	795	800	805	816	۱،۲،۳			26	
28	اردیبهشت	343	791	792	793	794	795	۱،۲،۳			29	
29	معدل	342	796	797	798	799	800	۱،۲،۳			28	33
30	حکیمی		806	807				۱،۲،۳				
31	هدایت		341	805				۱،۲،۳				
32	هدایت		803	804	805			۱،۲،۳	33			
33	هدایت		801	802	803			۱،۲،۳	32		29	
34	فرهنگ		363	364				۲،۳				

٤. نتایج حاصل از اجرای دستور گرم و سرد کردن شبیه‌سازی شده در حل مسأله

شکل (۲-الف) شبکه‌خیابان‌هایی‌یک‌طرفه‌وضع‌موجودرانشانمی‌دهد. همان‌گونه‌که‌پیش‌ترگفته‌شدبراساس‌اینشبکه، مبنایخیابان‌هایی‌یک‌طرفه‌بادوطرفه‌کردنهمه‌خیابان‌هایی‌که‌ازنظرفیزیکی (عرض خیابان) امکانعملکرددوطرفه‌دارندساختهشد. اینشبکه‌مبنادرشکل (۱-ب) نشانداده‌شده‌است.

همـــــــان گونهکهازاینشکلپیداســـــــت، جزمعـــــــدودیازخیابان هایشـــــــبکه، بـــــــیش تراینخیابـــــــان هابهصـــــــورتدوطرفهعملمی کننـــــــد. شـــــــکل (۲-ب) جوابروشسردوگرمکردنشـــبیه‌سازیشـــدهبراییک‌طرفهکردنخیابـــان هایشبکهرانشـــانمیدهد. اینشبکهدرادامهبحثموردارزیابیدرجزییاتقرارمی گیرد.

شکل۲: الف)شبکهٔ خیابان‌هاییک‌طرفه وضع موجود

شکل ۲: ب)شبکهٔ خیابان‌هاییکطرفه طراحی شده بر اساس روش گرم و سرد کردن شبیه‌سازیشده

۵. گزینه‌های خیابان‌هاییک‌طرفه

روشدیگریکهدراینمطالعهبرایساختگزینه‌هایخیابان‌هاییک‌طرفهوتشخیصپیکربندیبرترا زآنموردبررسیقرارگرفت،روشگزینه‌سازیاست. بامراجعهبهشکل (۱-الف)،یادآوریمی‌شودکهمرزناحیه‌هایمحدودهموردمطالعهطراحیخیابان‌هاییک‌طرفهکهخیابا ن‌هایشریانی،بلوارها،یابزرگراه‌هاو تندراه‌هاست،بهصورتیکاستخوان‌بندیحرکتشهرقابلطرحاست. ازاین‌رو،اینمرزهابهگونه‌ایخیابان‌هایهرناحیهراازناحیه‌هایدیگرجدامی‌کند. بافرضآنکهتصمیم‌هایمربوطبهخیابان‌هاییک‌طرفههرناحیهمستقلازناحیه‌هایدیگراست،می‌توا ن با استفاده از تجزیهمسألهبهاینناحیه‌هابهیک (یاچند) جوابخوبدستیافت.

بااستفادهازاطلاعاتجدول (۱) انواعگزینه‌هایمعقولممکنبرایهریکازناحیه‌های ۱۰-گانهمحدودهموردمطالعهدرزمینهعملکردیک‌طرفهخیابان‌هاساختهشد. درهریکازاینگزینه‌هایخیابان‌هاییک‌طرفه،غیرازناحیهموردنظربرایطراحیخیابانیک‌طرفه،دیگر بخش‌هایشبکهخیابانیشیرازهمانشبکهاست.

جدول (۲) نتایج حاصل از اجرای مدل تخصیص ترافیک در محیط نرم افزار EMME/2 را برای هر یک از گزینه‌هایهریکازناحیه‌هابهدستمی‌دهد. همین جدول گزینه برتر آن ناحیه را نیز براساس کارآییشبکهٔمربوطمعرفیمی‌کند.

جدول ۲: نتایج حاصل از اجرای مدل تخصیص ترافیک در محیط نرم افزار EMME/2

۰۸ ۰	۰۶ ۰۱ ۰۶ ۰۶	شاخص کارایی (میزان ارزیابی)	

نشر NOX (kg)	نشر HC (kg)	نشر CO (kg)	مصرف بنزین (لیتر)	درصد حرکت کند و بحرانی منطقه۱	درصد حرکت کند و بحرانی کل شبکه	کل مسافت طی شده	متوسط سرعت در جمع کننده و شریانی ۲	متوسط سرعت حرکت منطقه۱	متوسط سرعت حرکت کل شبکه	کل زمان سفر		
816	3845	32565	84556		10/6	677218	24/8	28/1	32/8	20624	1	2
815	3839	32522*	84447*	19/6*	10/4*	677047*	24/8*	28/1*	32/9*	20616*	گزینه مبنا	2
816	3839	32521*	84469	13/4	10/4	677222	24/8	26/7*	32/9*	20612*	1	3
815	3839	32522	84447*	12/4*	10/4*	677047*	24/8*	26/6	32/9*	20616	گزینه مبنا	3
818	3866	32718	85155	27/6	10/8	680007	24/4	26/2	32/6	20852	1	4
816	3847	32594	84589	26/8	10/6	678425	24/9	26/3	32/9	20650	2	4
817	3849	32608	84675	26/6	10/6	677725	24/7	25/9	32/8	20664	3	4
816	3846	32579	84628	27/0	10/6	677643	24/7	26/1	32/8	20651	4	4
816	3847	32586	84622	27/2	10/6	677638	24/7	26/0	32/8	20657	5	4
815	3839	32522*	84447*	25/6*	10/4*	677047*	24/8*	26/3*	32/9*	20616*	گزینه مبنا	4
817	3848	32603	84574	13/6	10/4	677003*	24/8	26/6	32/9	20614*	1	6
816	3845	32557	84531	13/0	10/4	677144	24/9*	26/6	32/8	20617	2	6
815	3839	32522*	84447*	12/4*	10/4*	677047	24/8	26/6*	32/9*	20616	گزینه مبنا	6
816	3842	32551	84510	22/6*	10/2*	677455	24/9	26/8*	32/9	20588*	1	7
816	3847	32591	84639	28/0	10/6	677889	24/8	26/5	32/8	20665	2	7
817	3849	32596	84697	28/8	10/6	677615	24/7	26/1	32/8	20672	3	7
816	3841	32539	94499	26/2	10/6	677246	24/8	26/2	32/8	20635	4	7

شماره ناحیه مطالعه خیابان‌های یکطرفه	شماره گرینه ناحیه	شاخص کارایی (میزان ارزیابی)									
		کل زمان سفر	متوسط سرعت حرکت کل شبکه	متوسط سرعت حرکت منطقه۱	متوسط سرعت در جمع کننده و شریانی ۲	کل مسافت طی شده	درصد حرکت کند و بحرانی کل شبکه	درصد حرکت کند و بحرانی منطقه۱	مصرف بنزین (لیتر)	نشر CO (kg)	نشر HC (kg)	نشر NOX (kg)
7	گزینه مبنا	20616	32/9*	26/3	24/8	677047*	10/4	25/6	84447*	32522*	3839	815
14	1	20583	32/9	28/3	24/9	677227	10/4	18/6*	84426*	32508*	3837	816
14	2	20619	32/8	28/2	24/8	677195	10/4	19/4	84537	32560	3845	816
14	3	20574*	32/9	28/4*	24/9*	677301	10/4	18/8	84446	32533	3839	816
14	4	20610	32/9	28/1	24/8	676900*	10/4	18/8	84601	32588	3549	817
14	5	20613	32/9	28/1	24/8	677325	10/4	19/4	84557	32545	3843	816
14	6	20598	32/9	28/2	24/8	677053	10/4	19/4	84457	32510	3838	815
14	7	20647	32/8	27/9	24/8	677302	10/4	19/6	84624	32583	3847	816
14	گزینه مبنا	20616	32/9*	28/1	24/8	677047	10/4*	19/6	84447	32522	3839	815

برایایجادتنوعدرطیفگزینه‌ها،اینکارآبیازجنبه‌هایزیردیدهشدهاست: کل زمان سفر در شبکهٔشهرشیراز،متوسطسرعتحرکتدرکلشبکه،متوسطسرعتحرکتدرمنطقه ۱ (مرکز شهر)،متوسطسرعتدرجمعکننده‌هاو شریانی‌هایدرجه ۲،کلمسافتطیشدهدرشبکهشیراز، درصد وسیله-کیلومتر حرکت در شرایط کند و بحرانی در کل شبکهٔشیراز،درصدوسیله-کیلومترحرکتدرشرایطکندوبحرانیدرمنطقه ۱،مصرفبنزین (لیتر)، نشر آلایندهCO(کیلوگرم)، نشر آلایندهHC (کیلوگرم)، و نشر آلایندهNO_x (کیلوگرم) بهطورمتوسطدریکساعتصبحویکساعتعصر. ازبههمپیوستنگزینه‌هایبرترهرناحیهدرهریکاز

زمینه‌هایکارآییشبکهیادشده‌دربالاپیکربندی‌هاینوییبرایارزیابینهاییبهدست‌می‌آید. بهاینگزینه‌هادوگزینهخیابان‌هاییک‌طرفهوضعموجود(شکل ۲-الف)، شبکهمبنا (شکل ۱-ب) نیزاضافهشد. بهعلاوه،گزینهبرتروشگرموسردکردنشبیهسازیشده (شکل ۲-ب)، نیزبهمجموعهاخیرافزودهشدند.

٦. ارزیابی گزینه‌های شبکه خیابان‌هایک‌طرفه

جدول(۳) نتایج حاصل از اجرای مدل تخصیص ترافیکEMME/2 بر ۸ شبکه برتر تجزیه ناحیه از نظر شاخص‌های مختلف کارآیی شبکه و گزینه‌های وضع موجود، شبکهٔ مبنا و نیز شبکهٔ برتر روش گرم و سرد کردن شبیه‌سازی شده (شاخص‌ها براساس متوسط ساعت اوج صبح و عصر می‌باشند) راارائهمی‌کند.

جدول۳: نتایج حاصل از اجرای مدل تخصیص ترافیکEMME/2

شماره شناسه گزینه‌ها	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
گزینه‌ها / میزان ارزیابی	وضع موجود	شبکه مبنا	گزینه ۱	گزینه ۲	گزینه ۳	گزینه ٤	گزینه ٥	گزینه ٦	گزینه ۷	گزینه۸	SA
کل زمان سفر	20735	20582	20477	20581	20552	20560	20624	20622	20545	20536	20414

مبنای انتخاب گزینه	وضع موجود	عدم انجام کار یکطرفه کردن	کل زمان سفر	متوسط سرعت حرکت کل شبکه	متوسط سرعت در جمع کننده شریانی۲	مسافت طی شده	درصد حرکت کند و بحرانی کل شبکه	مصرف بنزین/ نشر کل آلاینده ها	نشر CO (kg)	روش گرم و سرد کردن
متوسط سرعت حرکت کل شبکه	33/0	33/0	33/2	33/1	33/2	33/1	33/0	33/1	33/1	33/4
متوسط سرعت در جمع کننده شریانی۲	25/3	25/0	25/3	25/3	25/4	25/1	25/0	25/4	25/1	25/7
مسافت طی شده	684138	679421	679828	681843	681889	679465	680568	681635	679721	680826
درصد حرکت کند و بحرانی کل شبکه	10/0	10/2	10/2	10/3	10/1	10/1	10/1	10/1	10/1	9/6
مصرف بنزین (لیتر)	85188	64574	84367	84703	84735	84550	84785	84965	84487	84291
نشر CO (kg)	32762	32612	32500	32641	32652	32574	32617	32709	32556	32455
نشر HC (kg)	3865	3850	3836	3849	3851	3845	3852	3857	3842	3828
نشر NOX (kg)	821	818	818	819	820	818	819	821	818	819

نتایجیادشده در قالب ۹ شاخص کارآیی شبکه کهمیزانهایارزیابیآنهستند،دادهشدهاند. بررسی اطلاعات جدول (۳) نشان میدهدکهازمیان ۱۱ گزینهموردنظردرارزیابیگزینهبهدستآمدهازروشگرموسردکردنشبیهسازی شده جزازنظرکلمسافتطیشده،بهترینکارآییراازهرنظردیگرداراست. اینگزینهدارایکمترینمقدارکلزمانسفر (تابع هدفاصلیطراحیشبکه)،بیشترینسرعتدرکلشبکهشیرازودرمنطقهیک (مرکز شهر) آن،کمترینددرصدوسیله- کیلومترحرکتدرشرایطکندوبحرانی (شلوغی غیرقابلقبولازترافیک) درشهرومنطقهیکآن، کمترین مصرف سوختو کمترینشرآلایندههایCO و HC (مربوط به وسایل نقلیه شخصی) است (از نظر آلایندهNOx تفاوت قابل توجهی بین

گزینه‌هایمختلفنیستووضعیتگزینهخیابان‌هاییکطرفهوشگرموسردکردنشبیه‌سازیشدهازاینظرنسبتبهدیگرگزینه‌هامطلوب‌تراست) ازنظروسیله-کیلومترطیشدهدرشهرشیرازشبکهمبناوضعیتبرترراداراست. اینپدیدهقابلانتظاراست، زیرا بادو طرفه کردنهمهٔخیابان‌هاییکطرفهموجودغیرازآن‌هاکهازنظرعرضخیابانامکانحرکتدوطرفهترافیکرا دارانیستند،دسترسیافزایشمی‌یابدوبرایرفتنازمبدابهمقصد (به هزینهافزایشزمانسفر) ازمسیرهایباطولکوتاه‌تریمی‌توانعبورکرد. درنتیجهباتوجهبهجدول (۳) گزینهبرتر، گزینهSA با شناسه ۱۱ است که از نظر زمان صرف شده،مصرفبنزین، نشرآلاینده CO،سرعت و حرکت در شلوغی در موقعیت ممتازی قرار دارد.

۷. نتیجه‌گیری

دراینمقالهیکیازکاربردهایروشگرموسردکردنشبیه‌سازیشدهبرایطراحیشبکهخیابان‌هاییکطرفهبررویکشبکهواقعیارائهشد. نتایجاینمطالعهنشانمی‌دهدکهاینروشبرایحلمسائلطراحیشبکهمعابریکطرفهبسیارمناسبمی‌باشدومی‌توانداابزاریدراختیارکارشناسانترافیکبرایمدیریتتنظیمجهتمعابردرشبکهخیابان‌های شهری قرار گیرد.

در پایانباید که به یک نکته مهم اشاره شود. بدیهی است که چنین مطالعه‌ایکهباهدف‌هایی محدودنظیر کل زمان سفر و مسافت طی شدهنسبت به طراحی شبکه خیابان‌هاییکطرفهمبادرتمی‌ورزد،نمی‌تواندهمهجوانبکارکردیشبکهرادرنظرگیرد؛بنابراینبرر سیشبکهازمنظرهویتتاریخیواجتماعیو... هرخیابانمی‌تواندرطراحیبهینهشبکهمعابرتاثیرگذارباشد.

منابع

۱. افندی زاده، شهریار. (۱۳۹۰). ارائه مدل طراحی شبکه با تقاضای الاستیک با استفاده از الگوریتمSA.*یازدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک*،

تهران.

۲. مرکز مطالعاتوتحقیقاتحملونقل (ممتحن). (شهریور ۱۳۷۹).تابعزمانسفر– حجم، مطالعات جامع حمل و نقل شیراز، *گزارش شماره ۰۸-۷۹*، پژوهشکده حمل و نقل شریف، دانشگاه صنعتی شریف.

۳.مرکزمطالعاتوتحقیقاتحملونقل (ممتحن)، (اسفند ۱۳۷۹).مدلتخصیصترافیکوعملکردسیستمحملونقلشهرشیراز، مطالعاتجامعحملونقلشیراز، *گزارششماره ۱۷-۷۹*، پژوهشکدهحملونقلشریف، دانشگاهصنعتیشریف.

٤.میرجلالیهشیرازی، داود (۱۳۸۰).طراحی شبکه خیابانهاییک-طرفهبااستفادهازگرموسردکردنشبیهسازیشده.*پایاننامهکارشناسیارشد، گرایش برنامهریزیحملونقل، دانشکدهمهندسیعمران*، دانشگاهصنعتیشریف، بهمن.

ب. انگلیسی

5.Drezner, Z. andWesolowsky, G.O. (1997). Selecting configuration of one-way and two-way routes.*Transportation Research*, 31 (4), Nov.

6.Lee C.K. and Yang,K.I. (1994). 'Network Design of one-way streets with simulated annealing, *Papers inregional science*, 73 (2), 119-134.

7. Farahani, R.Z.; Miandoabchi, E.; Szeto,W.Y. and Rashidi,H. (2013). ReviewonUrbanTransportation NetworkDesignProblems, *European Journal of Operational Research*, 229 (2), 281-302.

8.Xu, T.,et al,(2009). Study on continuous network design problem using Simulated annealing and genetic algorithm. *Expert Systems with Applications*, 36 (2), 1322-1328.