



تخمین و برورسانی ماتریس مبدا مقصد برای شبکه‌های حمل و نقل بزرگ با استفاده از شبکه‌های بیزی و به کمک شمارش حجم ترافیک کمان‌ها

علی فلاح، کارشناسی ارشد، گرایش راه و ترابری دانشگاه صنعتی اصفهان¹
سید نادر شتاب بوشهری²، استادیار، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها
بهروز تکبیری¹، کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی عمران
علی ابراهیمی³ کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها
fallah.en@gmail.com¹

چکیده

ماتریس مبدا-مقصد یک ورودی اساسی برای بسیاری از مسائل مربوط به برنامه‌ریزی و مدیریت سیستم‌های حمل و نقل می‌باشد. این مقاله یک روش را توسعه می‌دهد که ماتریس مبدا مقصد را برای شبکه‌های حمل و نقل خیلی بزرگ، در زمان‌های کوتاه و با دقت بسیار بالا تخمین می‌زند. برای این منظور از یک ساختار دو سطحی استفاده شده است که در مساله سطح بالا ماتریس مبدا مقصد به کمک شبکه‌های بیزی تخمین زده می‌شود و در مساله سطح پائین از یک مساله تخصیص ترافیک تعادلی استفاده شده است که درصد استفاده از هر کمان را برای زوج‌های مبدا مقصد مختلف نشان می‌دهد. در پایان روش بر روی چند شبکه حمل و نقل مجازی و حقیقی آزمایش شده است. که نتایج و تحلیل نتایج این روش برای شبکه حمل و نقل سایوکس فالز آورده شده است. نتایج بدست آمده بسیار رضایتبخش بوده اند.

کلیدواژه: ماتریس مبدا مقصد، تخصیص ترافیک، الگوریتم دوسطحی، شبکه‌های بیزی، فرانک وولف

تحلیل و طراحی سیستم های حمل و نقل نیازمند به تخمین تقاضای سفر فعلی و پیش بینی تقاضای سفر آینده است. این تخمین ها و پیش بینی ها می توانند به کمک تنوعی از منابع اطلاعاتی و روندهای آماری بدست آیند. اطلاعات مربوط به تقاضای سفر منطقه مورد نظر در ماتریسی به نام ماتریس مبدا- مقصد ذخیره می شود. در واقع مولفه های این ماتریس تعداد سفرهای بین ناحیه ای در این منطقه را نشان می دهند. در واقع اطلاعات مبدا-مقصد مهندسی ترافیک را در شناسایی تقاضای سفر روی تسهیلات موجود و یا آتی حمل و نقل، کافی بودن پارکینگ ها و ترمینال ها، کافی بودن تسهیلات حمل و نقل عمومی موجود، بهترین محل برای پل ها و ترمینال های جدید، اطلاعات مورد نیاز برای برنامه ریزی، تعیین محل و طراحی سیستم خیابان های جدید، مکانیابی و طراحی یا توسعه سیستم های حمل و نقل عمومی، الویت های اجرائی و راه حل های اقتصادی برای برنامه های توسعه و غیره کمک می کند.

اطلاعات مربوط به این ماتریس به دو شیوه مستقیم و غیر مستقیم قابل دستیابی است. روش های مستقیم جمع آوری اطلاعات شامل روش های پرسشنامه ای، مصاحبه ای و مشاهده ای می باشند، با توجه به صرف وقت و هزینه بسیار زیاد برای جمع آوری اطلاعات سفر افراد یک منطقه به روش مستقیم، در چند دهه گذشته روش های غیرمستقیم تخمین ماتریس تقاضای سفر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفت. این روش ها با استفاده از حجم ترافیک کمان های شبکه حمل و نقل و به کمک مدل های برنامه ریزی ریاضی به اصلاح و بروزرسانی یک ماتریس مبدا-مقصد قدیمی می پردازند (یانگ و همکاران [1]، وردی [2]، ماهر و ژانگ [3]، هازلتون [4, 5] دیده شود). بسیاری از مولفان مانند کستتا و نگوین [6] مساله تخمین ماتریس مبدا مقصد را بوسیله یک مساله بهینه سازی حل کردند (کستتا [7]، ماهر و همکاران [8]، و دابلاس و بنیتز [9]) که فرمول بندی آن در زیر آمده است.

$$\arg \min_{T \in S} \left[(\hat{T} - T)^t Z^{-1} (\hat{T} - T) + (\hat{v} - v(T))^t W^{-1} (\hat{v} - v(T)) \right] \quad (1)$$

$$s. t. \quad T_{ij} \geq 0$$

که در آن \hat{T} ماتریس تقاضای سفر پیشین و T ماتریس تقاضای سفر تخمینی می باشد. \hat{v} و $v(T)$ به ترتیب حجم جریان ترافیک کمان های شبکه حمل و نقل حاصل از شمارش و تخصیص ماتریس تقاضای سفر به شبکه حمل و نقل می باشد. Z ماتریس پراکندگی جریان های مبدا مقصد اولیه \hat{T} ، و W ماتریس پراکندگی داده های شمارش ترافیک \hat{v} می باشند که قطری در نظر گرفته می شوند.



یکی از روش هایی که اخیرا مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است استفاده از شبکه های بیزی برای تخمین ماتریس مبدا مقصد می باشد. (تبادل و وست [10]، سان و همکاران [11]، کاستیلو و همکاران [12, 13]، پراکسیس و همکاران [14]).

کاستیلو و همکاران در سال 2008 با استفاده از شبکه های بیزی یک روش برای تخمین ماتریس مبدا مقصد توسعه دادند که علیرغم دقت بسیار بالا در تخمین ماتریس مبدا مقصد دارای یک ضعف عمده بود که روش برای شبکه حمل و نقل بزرگ بسیار زمان بر بوده است [12]. هدف این مقاله پیدا کردن راهکارهایی برای بکار بردن این روش برای شبکه های حمل و نقل با مقیاس بسیار بزرگ می باشد.

2- روش کار:

کستیلو در سال 2008 با استفاده از ماتریس های واریانس کوواریانس تمام متغیرهای موجود در مدل و ساختار شبکه بیزی روابط زیر را برای تخمین و بروز رسانی ماتریس مبدا مقصد بکار گرفت:

$$\sum_{TT} = co_1^2 * t_0 * t'_0 + D_\eta \quad (2)$$

$$\sum_{TV} = \sum_{TT} \beta^t \quad (3)$$

$$\sum_{VV} = \beta \sum_{TT} \beta^t + D_\epsilon \quad (4)$$

که t_0 یک ماتریس $n \times 1$ می باشد که n تعداد زوج های مبدا-مقصد می باشد و β یک ماتریس $m \times n$ می باشد که m تعداد کمان های شمارش شده و n همان تعداد زوج های مبدا-مقصد می باشد، به این ماتریس، ماتریس تخصیص نیز گفته می شود. زمانی که برخی از متغیرها مشاهده شوند، معادلات زیر اجازه بروز رسانی میانگین و ماتریس کوواریانس متغیرها را می دهد.

$$\mu_{T|V=v} = \mu_T + \sum_{TV} \sum_{VV}^{-1} (\hat{v} - v(T)) \quad (5)$$

$$\sum_{T|V=v} = \sum_{TT} - \sum_{TV} \sum_{VV}^{-1} \sum_{VT} \quad (6)$$

که در آن T و V به ترتیب مجموعه ای از متغیرهای مشاهده نشده و متغیرهای مشاهده شده می باشند. در این معادلات متغیر V و T به ترتیب به مبدا مقصد و کمان مشاهده شده و مشاهده نشده اشاره دارد. و $\mu_{Y|Z=z}$ تغییر شکل یافته ماتریس مبدا مقصد است که بصورت یک ماتریس ستونی با تعداد سطر های برابر با تعداد زوج های مبدا مقصد می باشد.



بعد از تمرکز و تحقیق فراوان بر روی الگوریتم کستیلو این نتیجه حاصل شد که دو عامل باعث طولانی شدن زمان حل این الگوریتم می‌شد که یکی محاسبه ماتریس واریانس کوواریانس بین جریان های مبدا مقصد در مساله سطح بالایی (تخمین ماتریس مبدا مقصد) و دیگری محاسبه ماتریس β در مساله سطح پائینی (تخصیص ماتریس تقاضای سفر تخمینی به شبکه حمل و نقل) می‌باشد، بعنوان مثال برای شبکه حمل و نقل اصفهان که 321 ناحیه ترافیکی دارد تعداد زوج های مبدا مقصد آن (321×321) می باشد، از اینرو ابعاد ماتریس واریانس جریان های مبدا مقصد این شبکه $(321 \times 321)^2$ می‌باشد. این بدان معنی است که این ماتریس بیش از 10^{10} مولفه دارد که در هر تکرار می‌بایست محاسبه شود که نیاز به حافظه و زمان بسیار بالایی دارد. به همین دلیل اگر می‌توانستیم به نحوی این مشکل را حل کنیم کاهش قابل ملاحظه‌ای در زمان اجرای الگوریتم داشتیم.

پس از تلاش فراوان یک ساختار ریاضیاتی مناسب برای دور زدن این ماتریس پیدا و سپس به صورت کد وارد زبان برنامه‌نویسی گاووس شد. همانطور که در ساختار معادله تخمین ماتریس مبدا مقصد $\mu_{T|V=v}$ مشاهده می‌شود در این معادله نیازی به کاربرد مستقیم \sum_{TT} نیست و ماتریس واریانس - کوواریانس مورد نیاز این روش برای تخمین ماتریس مبدا مقصد \sum_{TV} می‌باشد که محاسبه آن بمراتب راحت تر و کم خرج تر از \sum_{TT} است. طبق معادله (3) این ماتریس از ضرب \sum_{TT} در ماتریس تخصیص (β) بدست می‌آید.

$$\mu_{T|V=v} = \mu_T + \sum_{TV} \sum_{VV}^{-1} (v - \mu_v) \quad (7)$$

برای محاسبه \sum_{TV} در فرمول (7) در تکرار اول مشکل چندانی نداریم و از خاصیت شرکت پذیری ماتریس‌ها مبدا مقصد \sum_{VT} را محاسبه می‌کنیم:

$$ite \ 1 \quad \sum_{TT} = co_1^2 * (t_0 * t'_0) \quad (8)$$

با ضرب طرفین در ماتریس β ، ماتریس کوواریانس بین جریان‌های کمان و مبدا مقصد، Δ_{VT} ، بدست می‌آید.

$$ite \ 1 \quad \sum_{VT} = co_1^2 * (\beta * t_0) \quad (9)$$

ولی در تکرارهای بعدی \sum_{TT} به طریق دیگری محاسبه می‌شود که در زیر آورده شده است.

$$ite \ 2 \quad \sum_{TT}^2 = \sum_{TT}^1 - \sum_{TV}^1 \sum_{VV}^{-1} \sum_{VT}^1 \quad (10)$$



که در این فرمول Σ_{TT}^1 ماتریس واریانس کوواریانس بین جریان های مبدا مقصد در تکرار اول می باشد که اگر معادل آن در تکرار اول را قرار دهیم و سپس طرفین این معادله را در ماتریس β ضرب کنیم ماتریس کوواریانس بین جریان های کمان و مبدا مقصد در تکرار دوم Σ_{VT}^2 بدست می آید.

$$ite\ 3 \quad \Sigma_{TT}^3 = \Sigma_{TT}^2 - \Sigma_{TV}^2 \Sigma_{VV}^{-1} \Sigma_{VT}^2 \quad (11)$$

در این معادله نیز به جای $(\Sigma_{TT})^2$ معادل آن در تکرار دوم را قرار می دهیم. معادله $(\Sigma_{TT})^3$ بالا بصورت زیر می شود:

$$\Sigma_{TT}^3 = \Sigma_{TT}^1 - \left(\Sigma_{TV} \Sigma_{VV}^{-1} \Sigma_{VT} \right)^1 - \left(\Sigma_{TV} \Sigma_{VV}^{-1} \Sigma_{VT} \right)^2 \quad (12)$$

ماتریس واریانس کوواریانس جریان های مبدا مقصد در تکرار n از طریق استقرا بصورت زیر نتیجه می شود:

$$\Sigma_{TT}^n = \Sigma_{TT}^{n-1} - \left(\Sigma_{TV} \Sigma_{VV}^{-1} \Sigma_{VT} \right)^{n-1} \quad (13)$$

$$\Sigma_{TT}^n = \Sigma_{TT}^1 - \left(\Sigma_{TV} \Sigma_{VV}^{-1} \Sigma_{VT} \right)^1 - \dots - \left(\Sigma_{TV} \Sigma_{VV}^{-1} \Sigma_{VT} \right)^{n-1} \quad (14)$$

$$\Sigma_{VT}^n = (\beta^n * t_0) * t_0' - \dots - \left((\beta^n * \Sigma_{TV}) * (\Sigma_{VV}^{-1} * \Sigma_{VT}) \right) \quad (15)$$

برای محاسبه $(\Sigma_{VT})^n$ ، ماتریس کوواریانس بین جریان های کمان و مبدا مقصد در تکرار n م، طرفین معادله (14) را در ماتریس β ضرب می کنیم. همانطور که مشاهده می شود $(\Sigma_{VT})^n$ برابر است با $(\Sigma_{VT})^{n-1}$ منهای $(\Sigma_{TV} \Sigma_{VV}^{-1} \Sigma_{VT})^{n-1}$. پس اگر بتوانیم از تکرار یک Σ_{VT} هر تکرار را در جایی ذخیره کنیم و در تکرار بعدی از آن استفاده کنیم که معادل $(\Sigma_{VT})^{n-1}$ در تکرار بعدی می باشد صرفه جویی عمده ای در وقت داشتیم. و از محاسبات بی مورد در هر تکرار جلوگیری کرده ایم. این ابتکار سپس بصورت کد وارد زبان گاووس شد.

3- تخصیص ترافیک

جهت محاسبه ماتریس β که سطرهای آن تعداد کمان‌ها و ستون‌های آن تعداد زوج‌های مبدا مقصد را نشان می‌دهد، و به ماتریس تخصیص موسوم است، بسته به بزرگی شبکه حمل و نقل از یک مدل تخصیص ترافیک مناسب استفاده می‌شود. برای شبکه‌های کوچک و متوسط، از الگوریتم فرانک وولف و برای شبکه‌های حمل و نقل بزرگ از نرم‌افزار حمل و نقلی $EMME/3$ استفاده شده است.

3-1 روش تخصیص به کمک الگوریتم فرانک وولف

گام صفر. آماده‌سازی. حجم ترافیک کمان‌های شبکه را برابر صفر قرار داده و زمان سفر آزاد برای کمان‌های این شبکه حمل و نقل را بدست می‌آوریم.

گام یک. با استفاده از زمان سفر آزاد و تخصیص ترافیک همه و یا هیچ حجم ترافیک کمان‌های شبکه حمل و نقل را بدست می‌آوریم.

گام دو. با قرار دادن حجم ترافیک کمان‌های شبکه در تابع هزینه کمان، زمان سفر در این کمان‌ها بدست می‌آید.

گام سه. به کمک زمان سفر حجم ترافیک کمان‌های شبکه حمل و نقل را محاسبه می‌کنیم.

گام چهار. کنترل همگرایی. اگر رابطه زیر برقرار باشد انتهای الگوریتم،

$$\left| \frac{v - v^*}{v^*} \right| < \varepsilon \quad (16)$$

و در غیر اینصورت حجم ترافیک به کمک رابطه زیر محاسبه و سپس برو به گام دوم.

$$v^n = v^{n-1} + \alpha^{n-1} (v^{*n-1} - v^{n-1}) \quad (17)$$

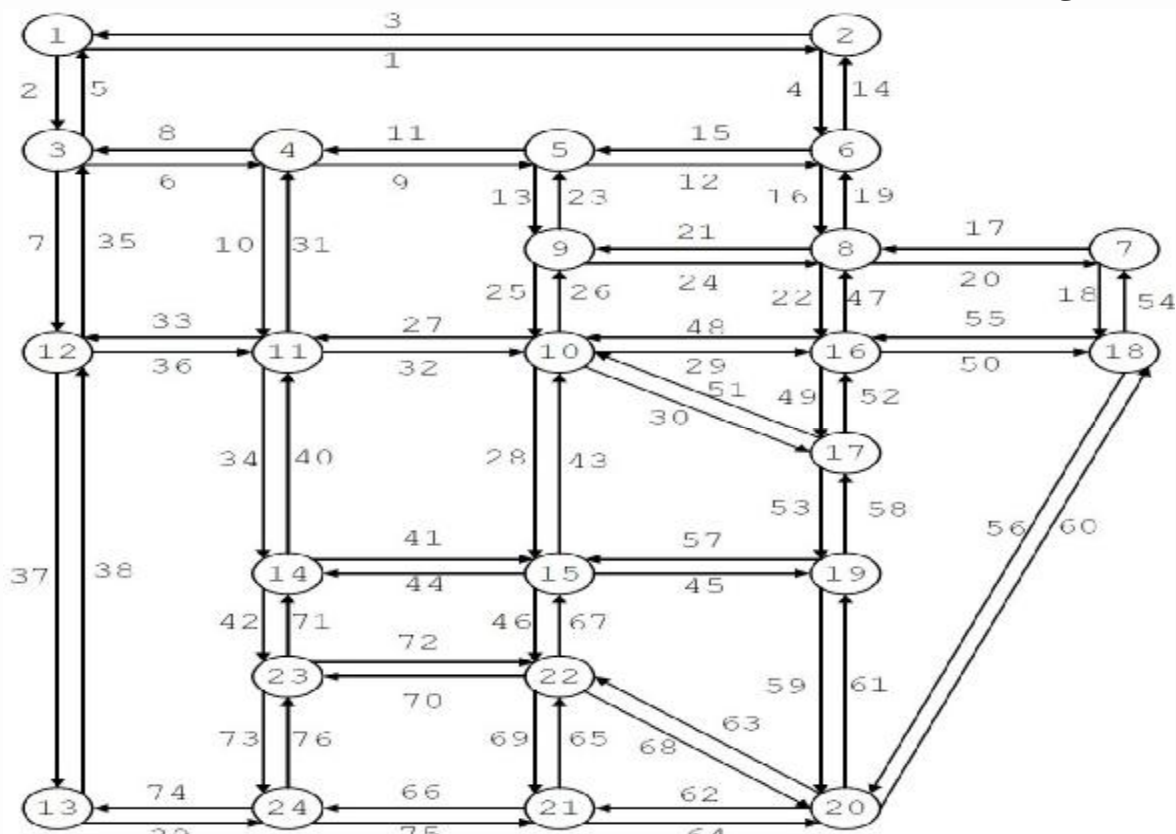
که در آن α طول گام الگوریتم می‌باشد که بین عدد صفر و یک می‌باشد، و n عدد تکرار الگوریتم است، ε عددی بسیار کوچک می‌باشد.

برای شبکه‌های حمل و نقل بزرگ، پس از تخمین ماتریس مبدا مقصد به کمک روش پیشنهاد شده در مساله سطح بالایی در هر تکرار، این ماتریس به کمک نرم‌افزار حمل و نقلی $EMME/3$ به شبکه تخصیص داده و به کمک ماژول $Path-based$ ، ماتریس تخصیص را فقط برای کمان‌های مشاهده شده برآورد می‌کنیم، در این مرحله نیز از محاسبات بی‌مورد دوری شده است و تنها برای کمان‌های مشاهده شده این ماتریس را محاسبه می‌کنیم. در این مرحله نیز صرف‌جویی عمده‌ای در زمان اجرای الگوریتم حاصل شد.



4 - تحلیل نتایج

در این بخش روش پیشنهادی برای اعتبار سنجی بر روی شبکه حمل و نقل معروف سایوکس فالز آزمایش شده است. این شبکه حمل و نقل مربوط به بزرگترین شهر در ایالت داکوتای جنوبی ایالت متحده آمریکا می باشد، که دارای 24 ناحیه تولید و جذب سفر (576 زوج مبدا مقصد) است، تعداد کمان‌های این شبکه حمل و نقل برابر 76 می باشد. شبکه سایوکس فالز در شکل 1 نشان داده شده است. برای تخمین و بروزرسانی ماتریس مبدا مقصد برای این شبکه حمل و نقل از یک الگوریتم دوسطحی استفاده شده است که در مساله سطح بالایی ماتریس مبدا مقصد به روش پیشنهاد شده تخمین زده و سپس در مساله سطح پائین عملیات تخصیص ترافیک به کمک الگوریتم فرانک وولف حل می شود.



شکل 1: شبکه حمل و نقل سایوکس فالز

برای این شبکه حمل و نقل یک ماتریس مبدا مقصد وجود داشت که در جدول 1 آورده شده است. ماتریس مبدا مقصد تخمینی برای این شبکه حمل و نقل با استفاده از الگوریتم پیشنهادی در جدول 2 نشان داده شده است.



The 12th International Conference on Traffic and Transportation Engineering

دوازدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک

جدول 1: ماتریس مبدا-مقصد اولیه برای شبکه حمل و نقل سایوکس فالز

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0.00	0.75	0.75	3.00	1.25	1.75	2.50	4.25	3.00	0.75	3.00	1.25	2.75	1.50	2.50	3.00	2.25	0.75	1.50	1.50	0.75	2.00	1.50	0.75
2	0.90	0.00	0.75	1.25	0.75	2.50	1.25	2.25	1.25	3.00	1.25	1.00	1.75	0.50	0.75	2.25	1.25	0.25	0.75	0.75	0.50	0.75	0.50	0.25
3	0.75	0.75	0.00	1.50	0.50	1.75	0.50	1.25	0.75	1.75	1.75	1.25	1.00	0.75	0.50	1.25	0.75	0.25	0.25	0.50	0.25	0.75	0.50	0.50
4	3.00	1.25	1.50	0.00	2.50	2.50	2.50	3.50	3.75	6.25	7.50	3.50	3.00	2.75	2.50	4.00	2.75	0.75	1.25	2.00	1.25	2.25	2.50	1.25
5	1.25	0.75	0.50	2.50	0.00	1.50	1.25	3.00	4.25	5.25	2.75	1.25	1.00	1.00	1.50	2.75	1.50	0.25	0.75	1.00	0.50	1.25	0.75	0.50
6	1.75	2.50	1.75	2.50	1.50	0.00	2.00	4.25	2.25	4.00	2.25	1.50	1.25	0.75	1.25	5.00	2.75	0.50	1.50	1.75	0.75	1.50	0.75	0.50
7	2.50	1.25	0.75	2.25	1.25	2.00	0.00	5.25	3.00	9.50	2.75	3.75	2.25	1.50	2.75	7.25	5.25	1.50	2.25	3.00	1.50	2.75	1.25	0.75
8	4.25	2.25	1.25	3.50	3.00	4.25	5.25	0.00	4.25	8.25	4.50	3.25	3.25	2.00	3.25	11.25	7.00	1.50	3.75	4.75	2.00	3.00	2.00	1.25
9	3.00	1.75	1.00	3.75	4.75	7.75	3.00	4.75	0.00	14.75	7.75	3.75	3.00	3.00	5.00	7.50	4.75	1.00	2.50	3.50	1.75	3.75	2.75	1.75
10	6.75	3.00	1.75	6.25	5.25	4.00	9.50	8.25	14.25	0.00	23.25	10.25	3.75	10.75	20.25	22.25	19.75	3.50	9.25	12.75	6.50	13.50	9.25	4.25
11	3.00	1.25	1.50	7.50	2.75	2.25	2.75	4.50	7.25	20.00	0.00	7.25	5.25	8.00	7.25	7.25	5.25	1.00	2.50	3.50	2.25	5.75	6.75	3.00
12	1.25	1.00	1.25	3.50	1.25	1.50	3.75	3.25	3.25	10.25	7.25	0.00	7.00	3.50	4.00	3.50	3.25	1.25	1.75	2.50	2.00	3.75	3.75	2.75
13	2.75	1.75	1.80	3.00	1.00	1.25	2.25	5.25	3.00	9.50	5.25	7.00	0.00	3.25	3.75	5.25	3.00	0.50	1.75	3.50	3.25	6.50	4.25	4.00
14	1.50	0.50	0.50	2.75	1.00	0.75	1.50	2.00	3.00	10.75	8.00	3.50	3.25	0.00	6.75	3.50	3.50	0.75	1.75	2.50	2.25	6.25	5.50	2.25
15	2.50	0.75	0.50	2.50	1.25	1.25	2.75	3.25	5.00	20.25	7.25	3.75	3.75	0.75	0.00	6.25	7.75	1.25	4.25	5.50	4.25	11.00	5.00	2.25
16	3.00	2.25	1.25	4.00	2.75	5.00	7.25	11.25	7.50	22.25	7.25	3.50	3.25	3.50	6.25	0.00	14.25	2.50	6.75	8.50	3.25	6.25	2.75	1.75
17	2.25	1.25	0.75	2.75	1.50	2.75	5.25	7.00	4.75	19.50	5.25	3.25	3.00	3.50	7.75	14.25	0.00	3.25	8.75	8.75	3.25	8.75	3.25	1.50
18	0.75	0.25	0.15	0.75	0.25	0.50	1.00	1.50	1.00	3.50	1.00	1.25	0.50	0.50	1.25	2.50	3.25	0.50	1.75	2.25	0.75	1.75	0.50	0.25
19	1.50	0.75	0.25	1.25	0.75	1.50	2.25	3.75	2.50	9.25	2.50	1.75	1.75	1.75	4.25	6.75	8.75	1.75	0.00	6.25	2.25	6.25	2.00	1.00
20	1.50	0.75	0.50	2.00	1.00	1.75	3.00	4.75	3.50	12.75	3.50	2.50	1.50	2.50	5.50	6.50	8.75	2.25	6.25	0.00	6.25	11.50	3.50	2.50
21	0.75	0.50	0.15	1.00	0.50	0.75	1.50	2.00	1.75	6.50	2.25	2.00	3.25	2.25	4.25	3.25	3.25	0.75	2.25	6.25	0.00	9.25	3.75	3.00
22	2.00	0.75	0.75	2.25	1.25	1.50	2.75	3.00	3.75	13.50	5.75	3.75	3.50	6.25	13.00	6.25	8.75	1.75	6.25	12.50	9.25	0.00	11.00	6.00
23	1.50	0.50	0.75	2.50	0.75	0.75	1.25	2.00	2.75	9.25	6.75	3.75	4.25	3.50	5.00	2.75	3.25	0.50	2.00	3.50	3.75	11.00	0.00	4.00
24	0.75	0.25	0.50	1.25	0.50	0.50	0.75	1.25	1.25	4.25	3.00	2.75	4.00	2.25	2.25	1.75	1.50	0.25	1.00	2.50	3.00	6.00	3.75	0.00





جدول 2. ماتریس مبدا-مقصد تخمینی برای شبکه حمل و نقل شهر سایوکس فالز با استفاده از روش پیشنهادی

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0.0000	0.7784	0.7695	3.0571	1.2690	1.7854	2.5107	4.1752	3.0422	6.9420	3.0389	1.2539	1.8321	1.5209	2.5045	2.9880	2.2387	0.5812	1.5231	1.5096	0.7704	2.0600	1.5613	0.7582
2	0.4988	0.2009	0.7421	1.2483	0.7572	2.5058	1.1600	2.1924	1.2531	3.0678	1.2592	1.0488	1.7400	0.5034	0.7331	2.2189	1.2273	0.2058	0.7501	0.7489	0.4944	0.7450	0.4905	0.2588
3	0.7575	0.7670	0.0000	1.4897	0.5002	1.7819	0.5110	1.2470	0.7598	1.7409	1.7988	1.2520	1.0231	0.7518	0.4913	1.2447	0.7558	0.1870	0.2519	0.4997	0.2528	0.7533	0.5891	0.4896
4	2.9501	1.2613	1.4904	0.0000	2.4958	2.5221	2.4348	3.4891	3.7011	6.3524	7.7005	3.4338	1.9849	2.7612	2.5084	3.9906	2.7990	0.0010	1.2608	1.9040	1.2503	2.2900	2.5792	1.2097
5	1.2462	0.7599	0.4988	2.5214	0.0000	1.5158	1.2484	2.5671	4.3361	3.4011	2.7178	1.2134	0.9540	0.9916	1.4880	2.7283	1.5258	0.1885	0.7549	0.9912	0.5041	1.2728	0.7489	0.3073
6	1.7988	2.5031	1.7806	2.5407	1.5006	0.0000	1.9167	4.1575	2.2774	4.0207	2.2485	1.5205	1.2704	0.7472	1.2175	4.9805	2.7570	0.3919	1.5123	1.7702	0.7453	1.5275	0.7567	0.4889
7	2.4099	1.7964	0.7671	2.3786	1.2437	1.9672	0.0000	3.7286	7.9547	9.5033	2.7338	3.7718	2.7931	1.4954	2.6834	7.1894	5.1193	0.8189	2.7187	3.0336	1.5006	2.7784	1.3783	0.7544
8	4.3158	2.2198	1.2585	3.4494	2.9256	4.2129	5.0669	0.0000	4.2911	8.1629	4.5093	3.2237	1.3212	1.9756	3.1654	11.5167	7.0376	1.1655	3.7486	4.8384	2.3269	2.9846	2.0146	1.2536
9	3.0482	1.2750	0.9992	3.7170	4.3149	2.2710	2.9832	4.1261	0.0000	14.4303	7.3008	3.2108	1.9845	3.0221	4.9505	7.7940	4.8063	0.7745	2.5127	3.4942	1.7557	3.8141	2.8265	1.2551
10	6.6890	2.3866	1.7551	6.2181	5.2876	4.0512	9.6256	8.1658	14.2882	0.0000	20.3282	9.8515	9.6147	10.4360	20.1622	28.7535	19.7052	2.6701	5.1110	13.0650	6.5141	14.0091	9.4127	4.3409
11	2.9755	1.2477	1.4911	7.3890	2.7171	2.2417	2.7385	4.1905	7.3585	20.5313	0.0000	7.2523	5.3276	7.7587	7.1133	7.4040	5.2363	0.7839	2.4850	3.5196	2.2231	3.8222	6.7756	2.9377
12	1.2386	0.7575	1.2682	3.5183	1.2128	1.4977	1.5111	1.2692	1.3625	10.5338	7.0374	0.0000	6.9077	1.4562	1.8701	3.5886	3.2452	1.0275	1.7126	2.4570	2.3179	1.6883	3.8813	2.6757
13	2.8316	1.3880	1.0107	3.1348	0.9998	1.2750	2.2695	3.1874	3.0689	9.8022	5.2195	6.8237	0.0000	3.2255	3.7083	3.3212	3.0531	0.3752	1.7658	3.5501	3.2681	6.4753	4.2712	3.9978
14	1.5084	0.5071	0.4988	2.7731	1.0077	0.7549	1.4344	2.0108	2.9757	10.7740	8.1858	3.4348	1.2250	0.0000	6.4567	3.4551	3.4331	0.9906	1.7235	2.4406	2.2314	6.2137	5.5370	2.2937
15	2.5368	0.7558	0.5036	2.4435	1.2305	1.2565	2.5343	3.1636	5.0715	19.8364	7.0348	3.8190	1.7517	6.6289	0.0000	6.1582	7.7748	1.0231	4.2434	5.2820	4.2293	12.8876	5.0140	2.2391
16	3.0991	2.2094	1.2757	4.0530	2.7890	4.9370	7.2768	11.3523	7.7752	23.4189	7.2505	3.6128	1.3545	3.5488	6.2197	0.0000	14.2964	1.9700	6.8970	8.9770	3.2928	6.4040	2.7781	1.8014
17	2.2054	1.2760	0.7512	2.7127	1.5154	2.7946	5.1993	6.6935	4.7863	19.1482	5.3117	3.2346	1.9875	3.4635	7.7181	14.2693	0.0000	2.5743	6.9874	8.9876	3.2711	9.0714	3.2847	1.5106
18	0.5862	0.1947	0.1921	0.5404	0.1944	0.8911	0.7620	1.1587	0.7767	2.8105	0.7725	0.9546	6.8893	0.3871	0.9553	1.9125	2.5569	0.0000	1.8623	1.7823	0.5811	1.3777	0.3887	0.1957
19	1.4882	0.7528	0.2512	1.2112	0.7616	1.5047	2.2487	2.7484	2.4682	9.1153	2.4860	1.7251	1.7821	1.7910	4.1696	6.8694	8.7358	1.2514	0.0000	6.2135	3.2708	6.2621	1.9869	1.0085
20	1.5316	0.7637	0.5045	2.0878	1.0129	1.7634	2.9371	4.8095	3.4935	13.0390	3.4946	2.5778	1.5225	2.4895	5.4835	8.9387	9.1360	1.8722	6.1619	0.0000	6.3641	12.9967	3.5483	2.4939
21	0.7534	0.5047	0.2549	1.0856	0.5029	0.7544	1.4900	2.0061	1.7274	6.3783	2.2697	1.9747	1.2796	2.2417	4.1113	3.3889	3.2713	0.5643	2.2476	6.3341	0.0000	9.2239	3.7845	3.0594
22	2.0611	0.7889	0.7701	2.2927	1.2680	1.4954	2.7806	3.6641	3.8147	13.3200	5.7761	3.8054	6.7152	6.3270	12.9731	6.5854	8.7112	1.3683	6.3139	12.9022	9.5264	0.0000	11.4729	6.0999
23	1.5688	0.5128	0.7663	2.5136	0.7575	0.7613	1.2587	2.0430	2.7884	9.2459	6.8740	3.7801	4.3774	5.6115	4.9773	2.8129	3.2371	0.3919	2.0427	3.5975	3.7498	11.2628	0.0000	4.0642
24	0.7805	0.3492	0.3097	1.2441	0.3044	0.5068	0.7384	1.2507	1.2833	4.1888	3.0318	2.7857	4.0231	2.2948	2.2094	1.7783	1.3257	0.2007	1.0185	2.5333	2.9832	3.9578	3.8194	0.0000

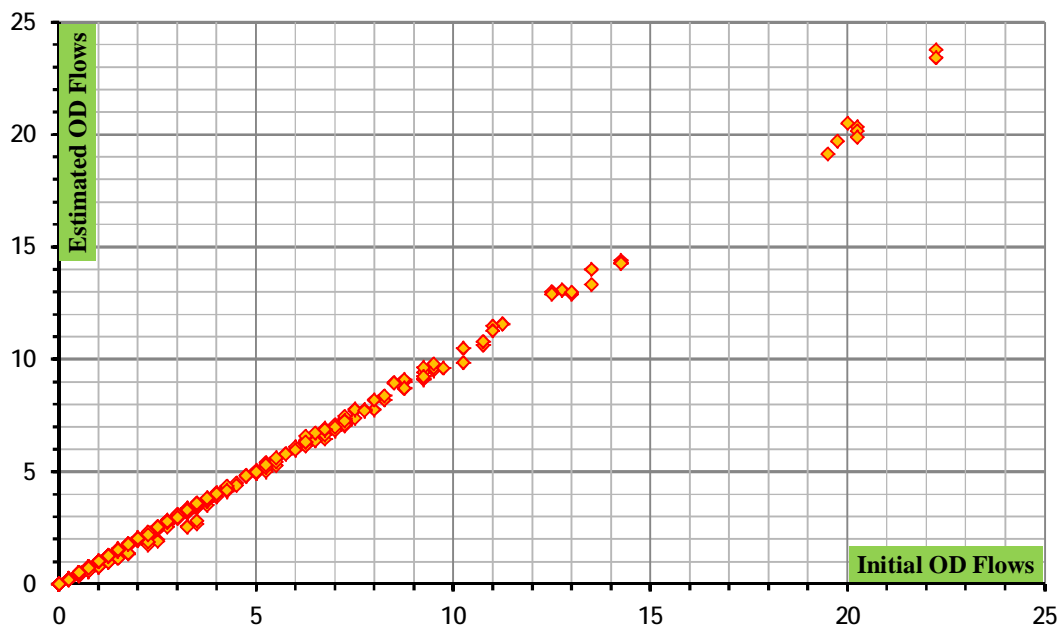
برای پیدا کردن میزان و نوع ارتباط بین متغیرهای داده‌های تخمینی و اولیه از ضریب همبستگی خطی استفاده شد. در واقع همبستگی درجه وابستگی بین دو متغیر را اندازه‌گیری می‌کند. برای محاسبه این ضریب، نرم افزار تحلیل آماری SPSS بکار برده شد و چون داده‌های ما بصورت کمی می‌باشند از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. برای مقایسه ماتریس مبدا مقصد تخمینی با ماتریس مبدا مقصد اولیه، این ماتریس‌ها به دو بردار تغییر شکل یافته، و وارد نرم‌افزار آماری SPSS شد. سپس ضریب همبستگی خطی پیرسون مابین این داده‌ها محاسبه شد که در جداول زیر آورده شده است.

جدول 3. مقادیر ضریب همبستگی پیرسون از نرم افزار SPSS برای روش پیشنهادی

Correlations			
		0	0
0	Pearson Correlation	1	0,999**
	Sig. (2-tailed)		0,000
	N	576	576
0	Pearson Correlation	0,999**	1
	Sig. (2-tailed)	0,000	
	N	576	576

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

از مقدار ضریب همبستگی پیرسون در این جدول که برابر 0,999 می باشد می توان استدلال کرد که ارتباط بالایی بین داده های جریان ترافیک مبدا مقصد پیش بینی شده و جریان مبدا-مقصد اولیه برقرار است، نمودار پراکنندگی این داده ها در شکل 2 نشان داده شده است.



شکل 2: نمودار پراکنندگی داده های تقاضای سفر اولیه در برابر داده های تقاضای سفر تخمینی. از نمودار پراکنندگی برمی آید که رابط خطی بین متغیرها برقرار باشد به همین منظور از رگرسیون خطی برای یافتن رابطه تابعی بین این متغیرها استفاده شد. در این پژوهش جهت تحلیل رگرسیون و تعیین روابط تابعی بین متغیرهای وابسته و مستقل، داده های مربوط به جریان های مبدا مقصد اولیه به



انجمن مهندسان ترافیک



انجمن مهندسان ترافیک



صورت یک متغیر مستقل و داده‌های جریان مبدا مقصد تخمینی به صورت یک متغیر وابسته در نظر گرفته شدند.

$$T = \alpha + \beta \hat{T} \quad (18)$$

در رابطه (2-4)، T بردار تقاضای سفر تخمینی به روش پیشنهاد شده می‌باشد، \hat{T} بردار تقاضای سفر اولیه می‌باشد که از مطالعات پیشین منطقه مورد مطالعه بدست آمده است. سپس تحلیل رگرسیون به کمک نرم‌افزار آماری SPSS انجام شد که در زیر آورده شده است.

جدول 4: جداول نتایج تحلیل رگرسیونی برای روش پیشنهادی

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.999 ^a	0.998	0.998	0.1448476

ANOVA^b

Model	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.	
1	Regression	7167.653	1	7167.653	341628.598	0.000 ^a
	Residual	12.043	574	0.021		
	Total	7179.696	575			

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-0.053	0.008		-6.284	0.000
	0	1.015	0.002	0.999	584.490	0.000

تحلیل نتایج این جدول به این صورت می‌باشد، ضریب همبستگی و R Square در جدول بالا ضریب تعیین می‌باشد، برای روش پیشنهادی نشان می‌دهد که 0,998 از تغییرات متغیر وابسته توسط متغیر مستقل قابل بیان است، یعنی 99,8 درصد از تغییرات متغیر وابسته به علت تغییرات متغیر مستقل مورد استفاده در مدل می‌باشد. جدول ANOVA آزمون معنی‌داری رگرسیون است. در این جدول Sig سطح معنی‌داری را تعریف می‌کند. برای مقادیری از این ضریب که کوچکتر از 0,01 باشد، رگرسیون معنادار است. و در اصطلاح آماری گفته می‌شود که رگرسیون بدست آمده در سطح 0,01 معنادار می‌باشد. با این تفسیر رگرسیون برای این روش معنادار می‌باشد.

جدول *Coefficients* ضرائب الگوی رگرسیون یا همان پارامترهای مدل خطی را نشان می‌دهد. مقدار *Sig* بدست آمده برای هر دو روش کمتر از 0,01 است و این نشان‌دهنده این است که ضرایب بدست آمده در سطح 0,01 معنادار می‌باشد. چون جریان‌های مبدامقصد تخمینی تا آنجایی که ممکن است باید به جریان‌های تقاضای سفر اولیه نزدیک باشد، بنابراین هر چه ضریب α به صفر و ضریب β به یک نزدیک‌تر باشد، روش موفق‌تر عمل می‌کند. این ضرایب در زیر در قالب معادلات رگرسیون خطی آورده شده است.

$$T = -0.053 + 1.015\hat{T}$$

در انتها، روش برای شبکه حمل‌ونقل اصفهان با 321 ناحیه تولید و جذب سفر (103041 زوج مبدامقصد) و بیش از 8000 کمان آزمایش شد. برای این شبکه در مساله سطح بالایی مساله تخمین ماتریس مبدا به کمک شبکه‌های بیزی پیشنهاد شده در این مقاله حل و سپس در مساله سطح پایین به کمک نرم‌افزار حمل‌ونقلی *EMME/3* عملیات تخصیص انجام و سپس ماتریس تخصیص از آن بیرون کشیده شد.

5 - نتیجه گیری

- تعدادی از هدف‌ها و نتایجی که در این تحقیق به آن رسیده شد در زیر لیست شده است.
1. مهم‌ترین نتیجه کاهش قابل ملاحظه زمان اجرای الگوریتم بود که هدف اصلی تحقیق بود.
 2. سرعت همگرایی در این روش بسیار بالا می‌باشد به‌طوری‌که در چند تکرار اول، الگوریتم به همگرایی موردنظر می‌رسد.
 3. به نظر می‌رسد که الگوریتم به خوبی جریان‌های مبدامقصد را بازتولید می‌کند.
 4. در شبکه‌های حمل‌ونقل بزرگ تعداد کمان‌های انتخاب شده برای شمارش در زمان اجرای الگوریتم موثر است، و با افزایش تعداد آنها زمان اجرا نیز طولانی‌تر می‌شود.
 5. مقایسه آماری روش پیشنهاد شده با روش معتبر و سریع گرادیان اسپایس حاکی از دقت بسیار بالای این روش دارد. که به دلیل محدودیت تعداد صفحه ناگزیر، نتایج مقایسه‌ای حذف شده است.

6 - قدردانی

از معاونت حمل‌ونقل شهرداری اصفهان، و به خصوص از هادی کریمی عزیز تشکر ویژه‌ای دارم که در طول تحقیق کمک‌های شایانی داشتند. از پروفسور کستیلو نیز تشکر ویژه‌ای دارم که استادی واقعا براننده ایشان است و در طول پژوهش بارها راهنمایی‌شان، سهم زیادی در پیشرفت کار داشت.

- [1] Yang, H., Sasaki, T., Iida, Y., and Asakura, Y., "Estimation of origin-destination matrices from link traffic counts on congested networks", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 26, pp. 417-434, 1992.
- [2] Vardi, Y., "Network tomography: Estimating source-destination traffic intensities from link data", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 91, pp. 365-377, 1996.
- [3] Maher, M., and Zhang, X., "Algorithms for the solution of the congested trip matrix estimation problem", *Proceeding of. 14th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, 1999.
- [4] Hazelton, M.L., "Estimation of origin-destination matrices from link flows on uncongested networks", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 34, pp. 549-566, 2000.
- [5] Hazelton, M.L., "Some comments on origin-destination matrix estimation", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 37, pp. 811-822, 2003.
- [6] Cascetta, E., and Nguyen, S., "A unified framework for estimating or updating origin/destination matrices from traffic counts", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 22, pp. 437-455, 1988.
- [7] Cascetta, E., "Estimation of trip matrices from traffic counts and survey data: A generalized least squares estimator", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 18, pp. 289-299, 1984.
- [8] Maher, M.J., Zhang, X., and Vliet, D.V., "A bi-level programming approach for trip matrix estimation and traffic control problems with stochastic user equilibrium link flows", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 35, pp. 23-40, 2001.
- [9] Doblas, J., and Benitez, F.G., "An approach to estimating and updating origin-destination matrices based upon traffic counts preserving the prior structure of a survey matrix", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 39, pp. 565-591, 2005.
- [10] Tebaldi, C., and West, M., "Bayesian inference on network traffic using link count data", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 93, pp. 557-573, 1998.
- [11] Sun, S., Zhang, C., and Yu, G., "A Bayesian network approach to traffic flow forecasting", *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, Vol. 7, pp. 124-132, 2006.
- [12] Castillo, E., Menéndez, J.M., and Sánchez-Cambronero, S., "Traffic Estimation and Optimal Counting Location Without Path Enumeration Using Bayesian Networks", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol. 23, pp. 189-207, 2008.

- [13] Castillo, E., Menéndez, J.M., and Sánchez-Cambronero, S., “Predicting traffic flow using Bayesian networks”, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 42, pp. 482-509, 2008.
- [14] Perrakis, K., Karlis, D., Cools, M., Janssens, D., Vanhoof, K., and Wets, G., “A Bayesian approach for modeling origin–destination matrices”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 46, pp. 200-212, 2012.



Estimating and updating of origin-destination matrices using Bayesian Networks and links traffic counts in large transportation network

Ali Fallah, Master of science, Isfahan University of technology, civil engineering department

seyed nader shetab boshehri, Assistant professor, Isfahan University of technology, industrial engineering department

behrouz takbiri¹, ali ebrahimi, Master of science, Isfahan University of technology, industrial engineering department

Abstract

Origin-Destination Matrix is a fundamental input for planning and management problems of transportation systems. This paper develop the method for estimating and updating of OD matrices using bayesian network and links traffic count for very large transportation networks. We use of a bilevel algorithm that slove an OD matrix estimation model using bayesian network in a upper level and solve a user aqulbrium traffic assignment model in a lower level that can calculate assignment matrix. Method tested for several networks. And results for the Sioux Falls network have been brought in this paper. Results were satisfactory.

Keyword: *Origin-Destination Matrix, traffic assignment, Bayesian Networks, frank-wolf, bi-level algorithm*

