متدولوژی و ارزیابی کاربرد مدل‌های لاجیت در انتخاب مسیر رانندگان

حمید بهبهانی، استاد دانشکده عمران، دانشگاه علم وصنعت ایران، تهران
فرشیدرضا حقیقی، نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی حمل ونقل، دانشکده عمران، دانشگاه علم وصنعت ایران، تهران
Email: Farshidreza@gmail.com

چکیده

فرضیات مختلف رفتاری رانندگان در انتخاب مسیر موجود است که یکی از زمینه‌های توسعه مدل‌های انتخاب مسیر رانندگان می‌باشند. معمولاً انتخاب مسیر بر اساس هزینه عمومی هر گزینه (مسیر) انتخابی صورت می‌گیرد که البته بصورت قطعی قابل تعیین نیستند. مفهوم عدم قطعیت مدل‌های انتخاب، منجر به استفاده از مدل‌های احتمالی و در راس آنها مدل‌های لاجیت در تخصیص ترافیک شده است. شرط استقلال گزینه‌های نامرتبط در مدل‌های لاجیت-که در مدل لاجیت چندجمله‌ای نقض می‌شد-در تحقیقات متعدد، پیشرفت و توسعه مدل‌های لاجیت جدید را در پی داشته است که از آن به مدل‌های لاجیت توسعه‌یافته یاد می‌شود. در این تحقیق ضمن جمع‌آوری مبانی ریاضی مدل لاجیت چندجمله‌ای به همراه مدل‌های لاجیت توسعه یافته، این مدل‌ها بصورت یک‌جا روی شبکه آلسوپ اجرا و پیاده‌سازی شد تا امکان‌سنجی و مقایسه‌ای بین نتایج آنها صورت گیرد. نتیجه مقایسه، تفاوت در خروجی‌های مدل‌های لاجیت مختلف در حجم‌های تقاضای میانی بوده است؛ به نحوی که در حجم‌های پایین تقاضا و در حجم‌های بالای تقاضا (در حدود دو برابر حجم‌های پایین تقاضا) تفاوتی در نتایج مدل‌های مختلف وجود ندارد. جدا از امکان مقایسه و تحقیق نتایج این مدل‌ها روی یک شبکه، بحث پیاده‌سازی و بکارگیری الگوریتم بارگذاری شبکه، استفاده از توابع هزینه وابسته به حجم، ساختار الگوریتم متوسط متوالی و اثرات تقاطعات نیز در این تحقیق مدنظر قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: *تخصیص ترافیک، لاجیت چندجمله‌ای، لاجیت توسعه‌یافته، شبکه آلسوپ*

۱. مقدمه

نیاز به مدل‌های انتخاب مسیر بمنظور تعیین مسیر افراد بین مناطق، به سال‌های-۱۹۵۰ و اوایل دهه ۱۹۶۰-پس از ساخت بزرگراه‌های اصلی شهرهای آمریکا برمی‌گردد و روی این بحث ساده متمرکز بود که چه تعداد رانندگان از مسیرهای موجود به مسیر تازه ساخته‌شده منتقل می‌شوند. مدل‌های انحراف مسیر از اولین این مدل‌ها بودند که درصد انحراف حجم وسایل نقلیه از مسیرهای موجود به مسیرهای جدید را با توجه به نسبت کاهش زمان سفر بین دو مسیر مشخص می‌کردند [۱]. در سال ۱۹۵۲ دو قانون توسط واردراپ بیان شد که زمینه ساخت و ارائه مدل‌های تخصیص پس از آن بر پایه فرضیات موجود در این قوانین بوده است. واردراپ با فرض قانون اول خود که انتخاب هر راننده بر اساس زمان سفر حداقل صورت می‌گیرد انتخاب مسیرها را تخمین می‌زد که البته در واقعیت شواهد تجربی بر وقوع آن موجود نمی‌باشد. فرض اینکه رانندگان در مسیرهای دارای زمان سفر کمترین، سفر می‌کنند شرایطی را ایجاد می‌کند که هیچ راننده‌ای نمی‌تواند نتیجتاً زمان سفر خود را با تعویض مسیرکاهش دهد و این فرض اولین بار در سال ۱۹۲٤ توسط نایت[1] ارائه شد. این فرض مفهوم تعادل کاربر[2] را نتیجه می‌دهد که با قانون اول واردراپ نیز قابل توجیه است. درحالی‌که قانون اول ورادراپ اصل تعادل را در حالت فردی فرض می‌کند؛ بر اساس قانون دوم واردراپ اگر فرض کنیم که توزیع رانندگان بین مسیرهای مختلف به نحوی صورت می‌گیرد که زمان متوسط سفر کل وسایل نقلیه حداقل گردد؛ و نتیجتاً مفهوم تعادلی جدیدی بوجود می‌آید که به تعادل سیستم بهینه[3] از آن یاد می‌شود [۲]. قانون‌های توصیف‌شده انتخاب را بر اساس هزینه عمومی هر گزینه انتخابی (مسیر بین زوج مبدا و مقصد از بین مسیرهای ممکن) تشریح می‌کردند. آنچه که مشخص است آن است که هزینه مسیرهای انتخاب شده بصورت قطعی قابل تعیین نیستند. با فرض امکان تعیین قطعی هزینه‌های عمومی مسیرها، روش کوتاه‌ترین مسیر یکی از ساده‌ترین روش‌های قطعی انتخاب مسیر رانندگان است. عوامل عدم قطعیت عبارتند از [۵]: عدم اطلاعات کافی رانندگان از شرایط ترافیک؛ امکان انتخاب یک مسیر به سبب آزمایش و جستجوی زمان سفر آنها؛ تغییرات در هزینه عمومی یک مسیر به علت وجود چراغ‌ها، تصادف، صف‌ها و ...؛ رفتار و عادات نه لزوما یکسان در انتخاب مسیر رانندگان و یا اینکه رانندگان لزوماً توابع تجمیع هزینه عمومی (توابع مطلوبیت مسیر) یکسانی ندارند. با توجه به گستردگی عوامل تصادفی‌بودن انتخاب مسیرها، عموماً فرض می‌شود که تصادفی‌بودن انتخاب‌ها صرفاً به علت دو حالت درک متفاوت رانندگان از شرایط ترافیک و تفاوت در توابع مطلوبیت بین رانندگان باشد که معمولاً حالت دوم نیز در نظر گرفته نمی‌شوند. در سال ۱۹۷۷ مفهوم عدم قطعیت در هزینه عمومی مسیرهای شبکه توسط شفی[4] و داگانزو[5] مطرح شد که نتیجتا به ایجاد مدل جدیدی از انتخاب مسیر وسایل نقلیه به نام انتخاب تصادفی[6] ختم شد [۳]؛ مدل‌های تصادفی انتخاب مسیر وسایل نقلیه تصویر واقع‌بینانه‌تری از اتفاقات تصادفی شبکه را دربر می‌گیرد که عدم قطعیت درک هزینه عمومی سفر بین کاربران مختلف پایه آنهاست. روش‌های متعددی برای مدل‌های تصادفی پیشنهاد شده‌اند که دو نوع از آنها نسبتاً بیشتر استفاده شده‌اند. یکی روش مبتنی بر شبیه‌سازی و دیگری روش مبتنی بر نسبت. روش اول از ایده شبیه‌سازی تصادفی هزینه عمومی درک شده توسط کاربران برای تعریف تغییرپذیری در هزینه ادراک شده استفاده می‌کند. در صورتی که روش‌های مبتنی بر نسبت، جریان را با توجه به نسبت محاسبه شده از عباراتی مانند روش لاجیت، به مسیرهای دیگر تخصیص می‌دهند. اولین مدل‌های تصادفی توسط وان[7] در سال ۱۹٦٦ ارائه شد که با مفهوم رقابت مسئله را حل کرد؛ در سال ۱۹٦۸ مدل‌های تصادفی دیگری با در نظرگیری هزینه سفر هر لینک شبکه به عنوان متغیر تصادفی که بصورت نرمال توزیع شده است توسط بورل[8] نیز ارائه شد. روش تصادفی انتخاب مسیر با زمان سفرهای ثابت و بر اساس توابع لاجیت مدلی بود که در سال ۱۹۷۱ توسط دیال[9] ارائه شد که بدلیل کابردی‌بودن مسئله و سادگی استفاده از مدل

لاجیت در بسیاری از مطالعات بعدی مورد استفاده قرار گرفت [٦]. در سال ۱۹۸۰ مدل بهینه‌سازی‌ای بر اساس مدل دیال و برپایه مدل‌های لاجیت، توسط فیسک[10] ارائه شد که تخصیص تصادفی تعادلی را نتیجه می‌داد. هرچند که در مدل فیسک مشکلاتی مانند کالیبره‌کردن پارامترها، نیاز به شمارش کلیه مسیرهای ممکن در هر زوج مبدا مقصد و نیز در نظرگیری روش حل مناسب، وجود دارد اما با توجه به ساختار ریاضی ساده آن کاربرد زیادی در انتخاب مسیرهای تصادفی دارند. در این مقاله برپایه مدل فیسک، مدل لاجیت چندجمله‌ای و مدل‌های توسعه‌یافته توسط محققان مختلف روی یک شبکه موردی بررسی و ارائه نتایج می‌گردد.

۲. معرفی مدل‌های مبتنی بر نسبت

معمولا مدل‌های مبتنی بر نسبت بر پایه الگوریتمی نهاده شده ند که سفرهایی را که به یک گره می‌رسند، بین همه گره‌های خروجی ممکن تفکیک می‌کنند. این تفکیک براساس یک پارامتر از درک هزینه عمومی مسیرهای مختلف و البته با لحاظ تفاوت در درک کاربران صورت می‌گیرد که در تضاد با روش تعیین مسیر قطعی است. معمول‌ترین معادلات تخصیص قطعی بر اساس فرمولاسیون ریاضی رابطه ۱ در سال ۱۹۸۵ توسط شفی ارائه شده است [٤] که در آن f_k^{rs} جریان روی مسیر k و بین زوج مبدا و مقصد s و r می‌باشد؛ حجم ترافیک روی لینک a از مسیر k با x_a و هزینه عمومی آن با C_a نشان داده شده است. همینطور q^{rs} حجم کل تقاضا بین زوج مبدا و مقصد s و r را نشان می‌دهد.

$$\min \sum_a \int_0^{x_a} C_a(w)dw$$
$$\sum_k f_k^{rs} = q^{rs} \quad \forall r,s \qquad (۱)$$
$$f_k^{rs} \geq 0$$

بعد از شفی، در سال ۱۹۸۰، اولین بار توسط فیسک سری معادلات تعمیم‌یافته‌ای برای انتخاب مسیر تصادفی بر پایه حل معادلات پایه تخصیص قطعی شفی ارائه شد که توسط چن در سال ۱۹۹۱ [۱۱]، بل و همکاران در سال ۱۹۹۳ [۷]، لارنت[11] [۱۹] در سال ۱۹۹۵، دمبرگ[12] و همکاران در سال ۱۹۹٦ [۲۰] نیز ادامه یافت. بر اساس مدل پایه فیسک یک رابطه اضافی (برپایه آنتروپی) به منظور در نظرگیری تصادفی‌بودن انتخاب مسیر (مهم‌ترین آن عدم اطلاعات کافی و درک کامل از هزینه عمومی مسیرها توسط کاربران) به رابطه ۱ اضافه شد که نتیجه آن معادلات پایه فیسک ارائه شده در رابطه ۲ می‌باشد.

$$\text{Min } z = z_1 + z_2$$
$$z_1 = \sum_a \int_0^{x_a} C_a(w)dw$$
$$z_2 = \frac{1}{\theta}\sum_{r,s}\sum_k X_k^{rs} \ln X_k^{rs} \qquad (۲)$$

Subject to:

$$\sum X_k^{rs} = q^{rs}, \forall r,s$$
$$X_k^{rs} \geq 0$$

که در آن پارامترها مانند آنچه که قبلاً تعریف شده‌اند و θ ضریب پراکندگی در تابع آنتروپی است. در واقع بدین‌وسیله با اضافه شدن رابطه جدید (z_2) به تابع هدف مسئله تخصیص قطعی، انتخاب سفرهای تصادفی نیز درنظر گرفته می‌شود. با بکارگیری شرایط مرتبه اول کوهن تاکر در معادلات پایه فیسک با ضریب لاگرانژ λ^{rs} احتمال انتخاب یک مسیر از بین تمام مسیرهای ممکن بین زوج مبدا مقصد s و r بصورت رابطه ٤ بدست خواهد آمد.

$$L = Z + \lambda^{rs}(r_{rs} - \sum x_k^{rs}) \qquad (۳)$$

$$p_k = \frac{f_k}{q} = \frac{e^{(-\theta c_k)}}{\sum_l e^{(-\theta c_l)}} \qquad (٤)$$

همان‌طورکه مشاهده می‌شود رابطه ٤ همان رابطه ریاضی تابع لاجیت چندجمله‌ای می‌باشد که شرط اساسی در آن مستقل‌بودن انتخاب یک گزینه از گزینه‌های دیگر است که از آن به شرط استقلال گزینه‌های نامرتبط[13] یاد می‌شود. اما آنچه که مسلم است معمولا همپوشانی بین مسیرهای مختلف یک زوج مبدا-مقصد

خاص از نظر لینک‌های مشترک وجود دارد و نتیجتاً این شرط نقض خواهد شد. نقض شرط استقلال گزینه‌های نامرتبط در مسئله انتخاب مسیر سبب ایجاد خطاهای متوالی در تخمین جریان ترافیک توسط معادلات لاجیت چندجمله‌ای می‌گردد. این مشکل پایه و اساس توسعه مدل‌های لاجیت پس از مدل چندجمله‌ای در سال‌های بعد شده است که در پی حل این مشکل، اصلاح و بهنگام‌سازی معادلات لاجیت چندجمله‌ای بوده‌اند.

در مقایسه با مدل‌های لاجیت، مدل‌های پروبیت[14] نیز وجود دارند که درگیر شرط استقلال گزینه‌های نامرتبط نیستند. مدل‌های لاجیت بر اساس توزیع گامبل[15] استوار هستند و ساختار تحلیلی ساده‌ای دارند که زمینه توسعه کاربرد آنها را فراهم کرده‌اند؛ در مقابل، مدل پروبیت بر اساس توزیع گاوس[16] استوار است که نتیجتا نیاز به شبیه‌سازی دارند. کوشش‌هایی توسط مک فادن[17] در سال ۱۹۹۸ بمنظور استفاده از مدل‌های پروبیت در انتخاب مسیر رانندگان صورت گرفته که از مدل‌های منتج به مدل‌های لاجیت کرنل[18] یاد می‌شود. آنچه که در این مقاله به آن پرداخته می‌شود معرفی مدل‌های لاجیت توسعه‌یافته برپایه لاجیت چندجمله‌ای است.

۳. تعریف مسئله مدل‌های لاجیت توسعه‌یافته

اولین کوشش‌ها در حل مشکل استقلال مسیرهای نامرتبط داشت به سال ۱۹۹٤ توسط بل[19] با بکارگیری مدل لاجیت در سیکل‌های متوالی- بدین‌صورت که از یک لینک در هر مسیر تنها در یک سیکل استفاده شود- برمی‌گردد [۸]. بعد از بل در سال ۱۹۹٦ این کستا[20] و همکاران او بودند که اولین مدل انتخاب مسیر وسایل نقلیه کاملاً مبتنی بر مدل پایه فیسک و یا همان مدل لاجیت را ارائه کردند که صرفاً جهت حل مشکل استقلال مسیرهای نامرتبط یک ضریب اصلاحی به معادلات وارد کرده بود [۹]. پس از او کوشش‌های فراوانی برای حل این مشکل در تحقیقات مختلف صورت گرفت که لیست جامعی از مدل‌های بر پایه مدل لاجیت و یا به اصطلاح مدل‌های توسعه‌یافته لاجیت[21] عبارتند از: مدل لاجیت پایه فیسک و دیال [٦] و یا مدل لاجیت چندجمله‌ای[22] در سال ۱۹۸۰؛ مدل لاجیت اصلاح شده c-logit ارائه‌شده توسط کستا [۹] و همکاران در سال ۱۹۹٦؛ مدل لاجیت توسعه‌یافته PSL توسط بن اکیوا[23] [۱۰] و همکاران در سال ۱۹۹۹؛ مدل PCL[24] در سال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۹۷، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۳ توسط چو[25]، کوپلمن[26]، رشکر[27]، گلیب[28] و چن[29] [۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱٤، ۱۵، ۱٦ و ۱۷]. تمامی این مدل‌ها مشخصاً در چگونگی در نظرگیری پارامتر شباهت بین مسیرها در مدل احتمالی متفاوت هستند. آنچه که در تمام کارهای گذشته مورد اتفاق نظر بوده است بکارگیری مدل لاجیت چندجمله‌ای در مطالعات و سپس بررسی نتایج هریک از مدل‌ها به تنهایی با نتایج مدل چندجمله‌ای در یک شبکه می‌باشد. از آخرین تحقیقات صورت گرفته در زمینه استفاده از مدل‌های لاجیت در انتخاب مسیر وسایل نقلیه می‌توان به بررسی گسترده این مدل‌ها در کار سون[30] و بن کوهال[31] در سال ۲۰۰۷اشاره کرد[۱۸].

۳-۱. معرفی مدل‌های لاجیت توسعه‌یافته

از اولین مدل‌های توسعه‌یافته بر پایه مدل لاجیت چندجمله‌ای در انتخاب مسیر وسایل نقلیه، مدل C-logit ارائه شده توسط کستا و همکاران در سال ۱۹۹٦ می‌باشد که بصورت رابطه ۵ با درنظرگیری فاکتور CF بعنوان فاکتور شباهت بین مسیرها ارائه شده است [۸].

$$p_k = \frac{e^{(-\theta c_k - CF_k)}}{\sum_l e^{(-\theta c_l - CF_l)}} \qquad (۵)$$

فاکتور CF_i که صرفاً به طول قسمت همپوشانی (مشترک) بین مسیرهای یک زوج مبدا- مقصد مرتبط است از رابطه ٦ قابل محاسبه است.

$$CF_k = \beta In \sum_l \left(\frac{L_{kl}}{\sqrt{L_k L_l}} \right)^{\gamma} \qquad (٦)$$

که در آن L_{kl} طول قسمت مشترک بین دو مسیر k و l با طول‌های L_k و L_l می‌باشد. β و γ نیز پارامترهایی به منظور

درنظرگیری سطح همپوشانی استفاده می‌شوند که به ترتیب ۰/۵ و ۱ پیشنهاد شده‌اند که قابل کالیبراسیون می‌باشند.

در سال ۱۹۹۹ پس از کستا و همکاران، مدل PSL[۳۲] توسط بن اکیوا و همکاران ارائه شد که احتمال انتخاب یک مسیر را با توجه به رابطه ۷ ارائه می‌کند. در این رابطه از فاکتور S_i به منظور در نظرگیری همپوشانی مسیرها استفاده می‌شود [۹] که در واقع مجموع سهم هر لینک مسیر منتخب نسبت به استفاده از لینک در همه مسیرها می‌باشد که از رابطه ۸ قابل محاسبه می‌شود.

$$p_k = \frac{e^{(-\theta c_k + InS_k)}}{\sum_l e^{(-\theta c_l + InS_l)}} \quad (۷)$$

$$S_k = \sum_{a \in routk} \frac{l_a}{L_k} \frac{1}{\sum_l \delta_{al}} \quad (۸)$$

نوع دیگری از مدل‌های توسعه‌یافته لاجیت مدل‌های ترکیبی لاجیت PCL می‌باشند که توسط چن و همکاران در سال ۲۰۰۳ بر پایه تحقیقات کستا در سال ۱۹۹۶ و رشکر و بخور[۳۳] در سال ۱۹۹۹ بنیان نهاده شده است. مدل ترکیبی لاجیت اثرات همپوشانی مسیرهای جریان تعادلی را با استفاده از ضریب شباهت بین مسیرهای $\alpha_{ij} = \frac{L_{ij}}{\sqrt{L_i L_j}}$ در نظرمی‌گیرد. حل مدل ترکیبی لاجیت از معادلات تعادلی فیسک به همراه دو رابطه آنتروپی جدید و محقق شدن شرایط کوهن تاکر قابل حصول است که در رابطه ۹ ارائه شده است [۱۲ و ۱۴].

$$p_k = \frac{e^{\left(\frac{-\theta c_k}{1-\alpha_{kj}}\right)}}{e^{\left(\frac{-\theta c_k}{1-\alpha_{kj}}\right)} + e^{\left(\frac{-\theta c_j}{1-\alpha_{kj}}\right)}} * \frac{(1-\alpha_{kj})\left[e^{\left(\frac{-\theta c_k}{1-\alpha_{kj}}\right)} + e^{\left(\frac{-\theta c_j}{1-\alpha_{kj}}\right)}\right]^{(1-\alpha_{kj})}}{\sum_m \sum_{l \neq m} (1-\alpha_{lm})\left[e^{\left(\frac{-\theta c_m}{1-\alpha_{lm}}\right)} + e^{\left(\frac{-\theta c_l}{1-\alpha_{lm}}\right)}\right]^{(1-\alpha_{lm})}} \quad (۹)$$

مدل لاجیت آشیانه‌ای متقاطع از دیگر مدل‌های لاجیت می‌باشد که در سال ۱۹۸۵ توسط بن اکیوا و لرمان ارائه شد و بدلیل ساختار آشیانه‌ای، درگیر مشکلات مدل‌های لاجیت چندجمله‌ای مانند استقلال گزینه‌های نامرتبط نبود. در این مدل برای هر مسیر یک پارامتر بسته به آشیانه این مسیر از بین زوج مبدا مقصدهای s و r محاسبه می‌شود و احتمال انتخاب مسیر از رابطه ۱۰ بدست می‌آید.

در رابطه ۱۰ ضرایب α_{kj} و μ_j از توپولوژی شبکه و بوسیله رابطه‌های ۱۱ و ۱۲ که توسط رشکر و بخور ارائه شده‌اند، قابل محاسبه می‌باشد.

$$p_k = \frac{e^{(-\theta c_k) + \ln \sum_m \alpha_{mk} (\sum_l \alpha_{ml} e^{(-\theta c_l)})^{\mu - 1}}}{\sum_j e^{(-\theta c_j) + \ln \sum_m \alpha_{mj} (\sum_l \alpha_{ml} e^{(-\theta c_l)})^{\mu - 1}}} \quad (۱۰)$$

$$\alpha_{kj} = \frac{L_m}{L_k} \delta_{mk} \quad (۱۱)$$

$$\mu_j = 1 - \frac{\sum_k \alpha_{jk}}{\sum_k \delta_{jk}} \quad (۱۲)$$

٤. الگوریتم پیاده‌سازی تخصیص تصادفی با استفاده از مدل لاجیت

همان‌طورکه در بخش‌های پیشین به آن پرداخته شد مدل‌های مختلفی بر پایه مدل لاجیت چندجمله‌ای پیشنهاد شده‌اند که از آنها به مدل‌های لاجیت توسعه‌یافته یاد می‌شود. در واقع تمامی این مدل‌ها به نوعی همان مدل پایه چندجمله‌ای هستند که به واسطه نحوه برخورد با شرط عدم استقلال گزینه‌های احتمالی نامرتبط به شکل‌های گوناگونی توسعه یافته‌اند.

در این تحقیق به مقایسه بین نتایج این مدل‌های احتمالی با یکدیگر و نیز شاخص‌های عملکرد شبکه منتج از مدل‌های مختلف پرداخته شده است و درصد تغییر شاخص عملکرد شبکه با استفاده از مدل‌های مختلف بررسی شده است. آنچه که مشخصاً این تحقیق را از مطالعات گذشته کاملاً متمایز می‌کند، پیاده‌سازی مدل‌های لاجیت چندجمله‌ای توسعه‌یافته روی شبکه آلسوپ؛ در نظرگیری اثر تقاطعات شبکه در مدل‌های انتخاب مسیر؛ استفاده

از زبان برنامه نویسی C++ و نحوه پیاده‌سازی خاص به منظور افزایش سرعت و کارایی الگوریتم؛ تابع سنجش عملکرد متناسب با حجم‌های هر لینک و زمان سفر آن لینک؛ امکان در نظرگیری زمان سفرهای واقعی وابسته به حجم هر لینک از شبکه و سرشماری تمام مسیرهای ممکن رقیب می‌باشد و البته با فرضیات: تقاطعات دو فازه می‌باشند؛ تقاطعات قبل از بهینه‌سازی دارای فازهای با سهم برابر زمان سفر می‌باشند؛ زمان طول سیکل ۱۲۰ و زمان زرد ۳ ثانیه در نظر گرفته شده است؛ از توابع وبستر[۳۴] و توابع اصلاح شده آن برای محاسبات زمان تأخیر تقاطعی استفاده شده است؛ از توابع BPR[۳۵] با ضرایب ثابت ٤ و ۰/۱۵ برای زمان سفر در لینک‌های شبکه استفاده شده است. به منظور انجام مطالعات نیز از شبکه پرکاربرد آلسوپ و چارزلورس[۳۶] مد نظر قرار گرفته است که در شکل (۱) به آن اشاره شده است [۲۱]. این شبکه دارای ۷ مبداء مقصد و ٦ تقاطع می‌باشد که جدول (۱) ورودی‌های پایه این شبکه نظیر ظرفیت لینک‌های شبکه، زمان سفر پایه حرکت آزاد در شبکه، شماره‌گذاری لینک‌های شبکه را نشان می‌دهد.

در بارگذاری شبکه از الگوریتم متوسط متوالی[۳۷] استفاده شده است؛ در الگوریتم متوسط متوالی، برپایه تخصیص تکراری، جریان جاری شده در یک کمان، به عنوان ترکیبی خطی از جریان جاری شده در تکرار قبل و یک جریان کمکی که از یک تخصیص همه یا هیچ در تکرار موجود بدست می‌آید محاسبه می‌شود که شرح گام‌های آن بدین صورت است:

گام اول: شروع- برداشت توپولوژی شبکه از ورودی شامل: تعداد مبدا – مقصدها؛ تعداد گره‌های تقاطعی؛ ماتریس توپولوژی شبکه؛ ماتریس زمان سفر حرکت آزاد لینک‌های موجود؛ ماتریس ظرفیت لینک‌های موجود؛ تعداد لینک‌های اضافی بین زوج گره‌ها؛ ماتریس مصرفی لینک‌های اضافی به همراه زمان سفر حرکت آزاد آنها و ظرفیت آنها؛ ماتریس حجم مبدا- مقصد؛ ماتریس ضرایب تابع BPR.

گام دوم: تشکیل شبکه و تعریف مسیرهای ممکن بین مبدا- مقصد از الگوریتم DFS[۳۸] برای تعریف مسیرهای ممکن بین مبدا- مقصد معرفی شده در ورودی استفاده شده است. در این تحقیق از تمام مسیرهای رقیب ممکن استفاده شده است که البته می‌توان k مین مسیر کمترین را درنظر گرفت.

گام سوم: محاسبه ضرائب مورد نیاز برای هریک از مدل‌های لاجیت توسعه‌یافته شامل: α, β, μ, cf

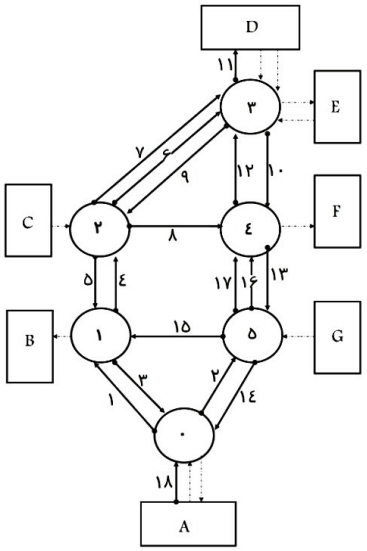
گام چهارم: حجم تخصیص یافته برابر صفر فرض می‌شود و با در نظرگیری n=۱ بعنوان گام اول تخصیص و سهم برابر فازها در تقاطعات، کار آغاز می‌گردد. با در نظرگیری حجم‌های صفر، زمان سفر لینک‌های غیرتقاطعی و زمان تأخیر در لینک‌های تقاطعی قابل محاسبه است.

گام پنجم: محاسبه زمان سفرهای منتسب به هر مسیر بر اساس جمع زمان سفرهای لینک‌های تقاطعی و غیرتقاطعی. با توجه به حجم هر لینک اجرای تابع تخصیص لاجیت فراخوان شده و تخصیص حجم به شبکه بر اساس احتمال هریک از مسیرها صورت می‌گیرد.

گام ششم: تنظیم روش متوسط متوالی؛

$x^{n+1}{}_a = x^n{}_a + (1/n)(y^n{}_a - x^n{}_a)$ و اضافه‌نمودن به شماره گام n=n+۱؛ در صورت عدم ارضای شرط توقف این روند از گام پنجم اجرا و تکرار می‌شود.

الگوریتم فوق در زبان برنامه‌نویسی C++ پیاده شده است و ضمن فراخوان هریک از توابع لاجیت توسعه‌یافته، و نتایج حاصل از اجرا در محیط اکسل ذخیره شده است.



شکل ۱- شبکه فرضی مسئله برگرفته از شبکه آلسوپ و چارزلورس [۲۱]

جدول۱- معرفی لینک های شبکه و زمان سفر حرکت آزاد و ظرفیت آنها[۲۱]

شماره لینک	زمان سفر آزاد	ظرفیت اشباع	شماره لینک	زمان سفر آزاد	ظرفیت اشباع
۱	۱	۲۰۰۰	۱۲	۱	۱۸۰۰
۲	۱	۱۶۰۰	۱۳	۱	۲۲۰۰
۳	۱۰	۳۲۰۰	۱٤	۲۰	۳۲۰۰
٤	۱۵	۳۲۰۰	۱۵	۱۵	۲٦۰۰
۵	۲۰	۱۸۰۰	۱٦	۱۰	۲۹۰۰
٦	۲۰	۱۸۵۰	۱۷	۱۰	۱۷۰۰
۷	۱۰	۱۸۰۰	۱۸	۱۵	۱۷۰۰
۸	۱۵	۱۸۵۰	۱۹	۱۰	۱۵۰۰
۹	۱۵	۱۷۰۰	۲۰	۱	۲۸۰۰
۱۰	۱۰	۲۲۰۰	۲۱	۱۵	۳۲۰۰
۱۱	۱	۲۰۰۰	۲۲	۱	۳٦۰۰
		۱۸۰۰	۲۳	۱۵	۳۲۰۰

۵. نکات خاص متدولوژی

براساس آنچه که در مطالعات گذشته ارائه شده در مراجع ۸، ۱۰، ۱۲، ۱٤ و ۱۷ به چشم می‌خورد، درنظرگیری تقاطعات بصورت گره‌هایی است که در آنها حرکات متقاطع بواسطه درنظرگیری لینک‌های یکطرفه و ساده حذف شده است؛ درواقع ساختار شبکه آنها به‌گونه‌ای است که در آنها تقاطعات به مفهومی که در شبکه واقعی شهری اتفاق می‌افتد وجود ندارد.

در این تحقیق الگوریتم و متدولوژی به نحوی پیاده‌سازی جامع شده‌اند که در شبکه‌ای با مشخصات و توپوگرافی مشابه شبکه شهری و بدون محدودیت از قبیل لینک‌های یک‌طرفه یا دوطرفه منطبق قابل پیاده‌سازی و اجرا باشند. واردسازی اثر تقاطعات شبکه در محاسبات از طریق شکست تقاطعات شبکه به لینک‌ها صورت گرفته است و اثر این لینک‌ها نیز در همپوشانی بین مسیرهای زوج مبدا- مقصد درنظر گرفته شده است. از زمان سفر کلی شامل جمع ضرب حجم و زمان سفر هر لینک بعنوان معیار سنجش کارایی شبکه استفاده شده است.

زمان سفر وابسته به حجم در تقاطعات- آنچه که در مورد زمان سفر در لینک‌های تقاطعی باید به آن توجه کرد، آن است که درحالی‌که جریان نسبت به ظرفیت لینک افزایش می‌یابد، سرعت متوسط جریان از سرعت حرکت آزاد کاهش می‌یابد و به حداکثر سرعت تحت آن جریان محدود می‌گردد. در واقع با افزایش اثر متقابل وسایل نقلیه روی یکدیگر، شرایط ترافیکی مسیرها نظیر سطح سرویس بدتر می‌شود و از این پدیده در مطالعات گذشته صرف نظر شده بود و به نوعی زمان سفر ثابت مطابق با جریان حرکت آزاد به شبکه اعمال می‌شود درحالی‌که در واقعیت اتفاق دیگری می‌افتد.

شفی و پاول در سال ۱۹۸۳ از عبارت $S.\lambda$ به عنوان ساده‌ترین راه حل در لینک‌های تقاطعی استفاده کردند که به جای ظرفیت لینک در تابع BPR جایگزین می‌شود و تابع BPR به صورت رابطه ۱۳ نوشته می‌شود که در آن λ تنظیم چراغ برای لینک تقاطعی است.

$$w_{bpr} = t_0\left(1+\alpha\left(\frac{x}{s.\lambda}\right)^{\beta}\right) \qquad (۱۳)$$

اما برای لینک‌های تقاطعی رقیب بهتری از لحاظ محاسبه زمان سفر و یا همان زمان تأخیر تقاطع در سال ۱۹۵۹ توسط وبستر ارائه شده بود که در رابطه ۱٤ بدان اشاره شده است [۲۲ و ۲۳].

$$w = w_1 + w_2 = \frac{CL.s(1-\lambda)^2}{2(s-x)} + \frac{x}{2s.\lambda(s.\lambda-x)} \qquad (۱٤)$$

در این تحقیق از آنجایی‌که ممکن است در لینک‌های تقاطعی در مواقعی حجم‌ها بیشتر از ظرفیت شوند، می‌بایست با در نظرگیری میزان جریان ورود وسایل نقلیه به نسبت ظرفیت، تأخیر یا زمان سفر سازگار با این شرایط محاسبه شود. با درنظرگیری رابطه ۱٤ برای حالت $Vcr < 1$ ، برای حالت $Vcr > 1$ می‌باید رابطه تاخیر قطعی فوق اشباع جهت تخمین زمان تاخیر مورد استفاده قرار گیرد. بمنظور حفظ پیوستگی و مشتق‌پذیری رابطه زمان سفر لینک‌های تقاطعی در ناحیه $Vcr=1$ از ایده ارائه شده توسط ون وورن[۳۹] و ون ولیت[٤۰] [۲٤ و ۲۵] در سال ۱۹۹۲استفاده شده است که اتصال منحنی تاخیر قطعی با منحنی تاخیر وبستر با نقطه اتصال X_{kink} را فراهم می‌کند. نقطه اتصال، نقطه‌ای است

که شـیب منحنی وبستر با شـیب منحنی تأخیر قطعی برابر باشد و نتیجتاً تحقیق شـرایط KKT[٤١] بدلیل مشـتق‌پذیری و پیوستگی نمودار قابل انجام اسـت. نتیجه تحقیقات ارائه شـده توسـط ون وورن و ون ولیـت ارائه تابـع دوجمله‌ای رابطه ۱۵ با نقطه اتصال X_{kink} می‌باشـد. که در آن s ظرفیت اشـباع تقاطع، λ تنظیمات چراغ و T دوره زمانی مطالعات ترافیک می‌باشـد که در نظرگیری بازه ۱۵ دقیقه‌ای در مطالعات معقول به نظر می‌رسد.

$$\text{for } x \le \hat{x}_{kink} = s.\lambda - \sqrt{\frac{s.\lambda}{T}} \text{ Then} \qquad (۱۵)$$

$$w = w_1 + w_2 = \frac{CL.s(1-\lambda)^2}{2(s-x)} + \frac{x}{2s.\lambda(s.\lambda - x)}$$

$$\text{for } x \ge \hat{x}_{kink} \text{ Then}$$

$$w = w_1 + w_2 + w_{od} = (x - \hat{x}_{kink})\frac{T}{2s.\lambda} + w(\hat{x}_{kink})$$

$$w_{od} = \frac{CL.(1-\lambda)}{2} + \frac{T}{2}\left(\frac{x}{s.\lambda} - 1\right)$$

$$\hat{x}_{kink} = s.\lambda - \sqrt{\frac{s.\lambda}{T}}$$

٦. اجرا و ارائه نتایج

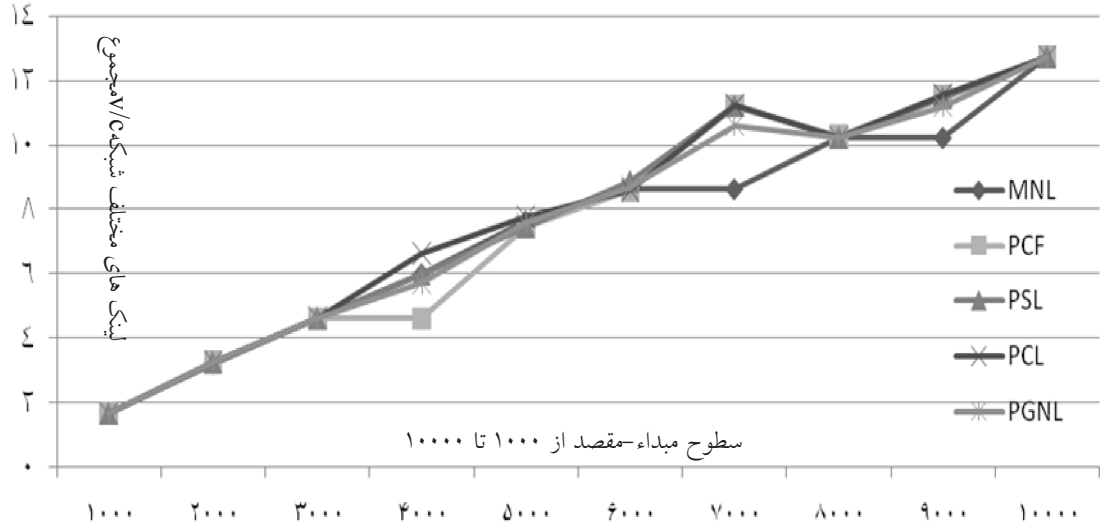
در اجرای شبکه فوق دو سـری از اجرای متدولوژی مدنظر قرار گرفته اسـت؛ اجرای اول شـبکه با صرفـا دو مبدا مقصد (AوD) و حجـم هـای متغیـر از ۱۰۰۰ تـا ۱۰۰۰۰واحد و اجرای دوم شـبکه کامل با حجم های تقاضای جدول (۲) که همان حجم های ورودی شـبکه آلسـوپ می‌باشد که نتایج آن درزیـرارائـه‌می‌گـردد.

در تمام اجراهای شـبکه اول، مقدار تقاضـای مبدا مقصدی از ۱۰۰۰ تـا ۱۰۰۰۰ واحد به شـبکه اعمال شـده و خروجیها ثبت و ارائه شـده اسـت. شـکل (۲) چگونگی پاسـخ توابع مختلف در شـبکه فرضی مسـئله و تحت الگوریتم مسـئله را نشـان می‌دهد. در سـطر افقی مقادیر مختلف سـطوح مبداء- مقصد از ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ ارائه شـده اسـت و در ستون قائم نیز مجموع Vcr لینک‌های مختلف شـبکه ارائه شـده اسـت. در این شـبکه، بر اسـاس مبدا- مقصد منتخب، تنها ۱۲ لینک مورداسـتفاده اسـت.

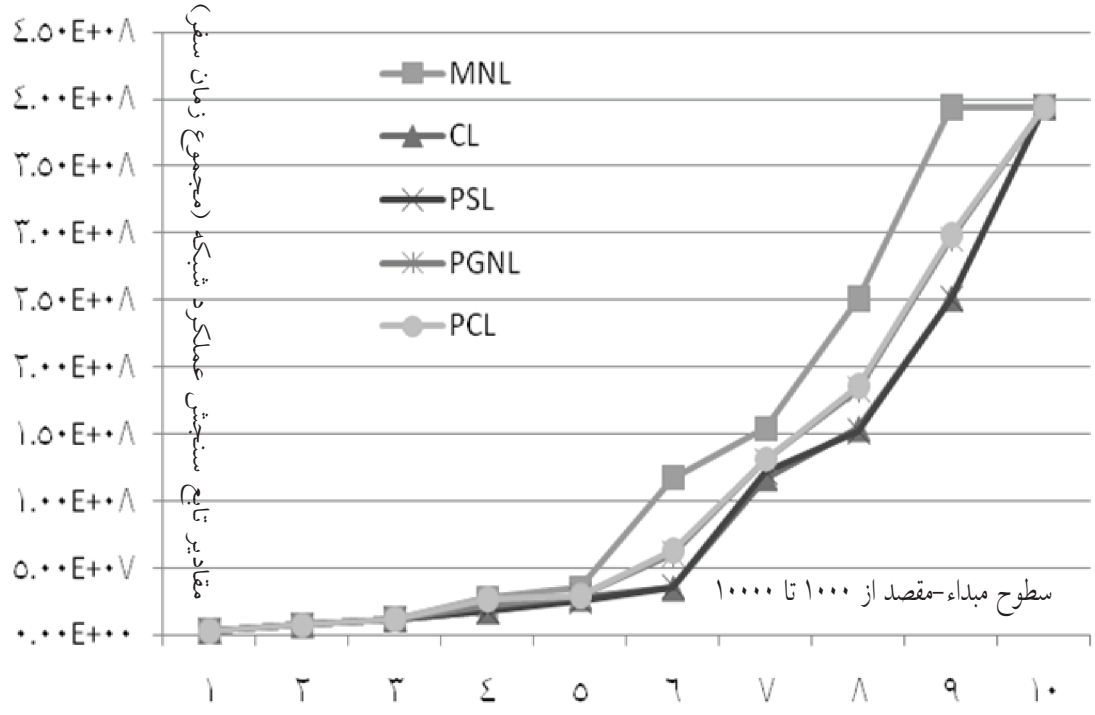
آنچه که از شـکل (۲) کاملاً مشـخص است افزایش مجموع Vcr لینک‌های شـبکه نسـبت به افزایش حجـم مبدا- مقصد می‌باشـد که کاملاً نیز معقول و مورد انتظار بوده اسـت. نکته قابل توجه دیگر در این شـکل روند تقریباً یکسان در افزایش بین توابع مختلف اسـت با شیبی تقریباً برابر است. قابل توجه اسـت که مدل‌های مختلف در حجم‌های پایین تا حدود حجم تقاضای ۳۰۰۰ تا ٤۰۰۰ نتایج یکسـان دارند و از مرز تقاضای ٤۰۰۰ تفاوت بین خروجی توابع مختلف مشـهود خواهد بود و سـپس در حجـم تقاضای ۹۰۰۰ تـا ۱۰۰۰۰، بار دیگر این مقادیـر مجموع Vcrها با یکدیگر برابر می‌شـود و بین توابع مختلف تفاوت چندانی وجود نخواهد داشـت.

شـکل (۳) نیز مقادیـر مختلف تابع سـنجش عملکرد توابع مختلف را به نسـبت حجم‌های مختلف مبداء مقصد از ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ را نشـان می‌دهد که روند تقریباً ثابت افزایش زمان سـفر بین توابع مختلف نشـان داده شده است. زمان سفرهای کل شـبکه همانند شکل (۲) تا سطح آستانه‌ای تقاضای ۳۰۰۰ و ٤۰۰۰ بین توابع مختلف تخصیص تا حدود زیادی یکسـان بوده و از مرز ٤۰۰۰ این تفاوت‌ها آشـکار می‌شـود.

در اجرای دوم، حجم‌های مبدا- مقصد جدول (۲) به شـبکه اعمال شـد که شـکل (٤) روند تغییرات مجموع نسبت حجم بـه ظرفیت لینک‌های شـبکه را نشـان می‌دهد. براسـاس این نتایـج، مـدل لاجیت آشـیانه‌ای کمترین و مـدل لاجیت چند جملـه‌ای بالاترین این نسـبت را دارا می‌باشـند. در کنار این شـکل، شـکل (۵) نیز موجود اسـت که همیـن ترتیب را در مقادیر شـاخص کلی شبکه نمایش می‌دهد. در جدول (۳) نیز جزئیات آماری نتایج اجرای دوم اشـاره شـده اسـت.



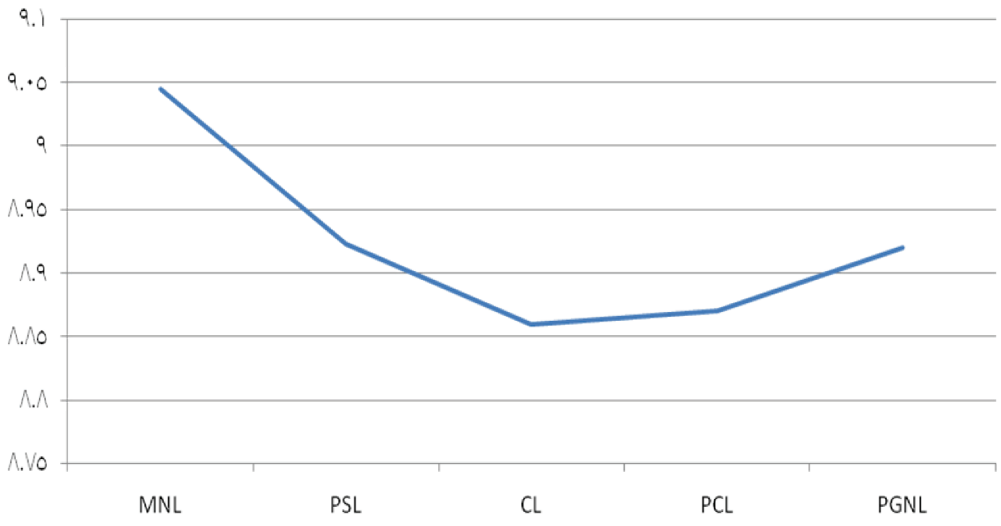
شکل ۲- روند نتایج مدلهای مختلف به نسبت سطوح مختلف تقاضا



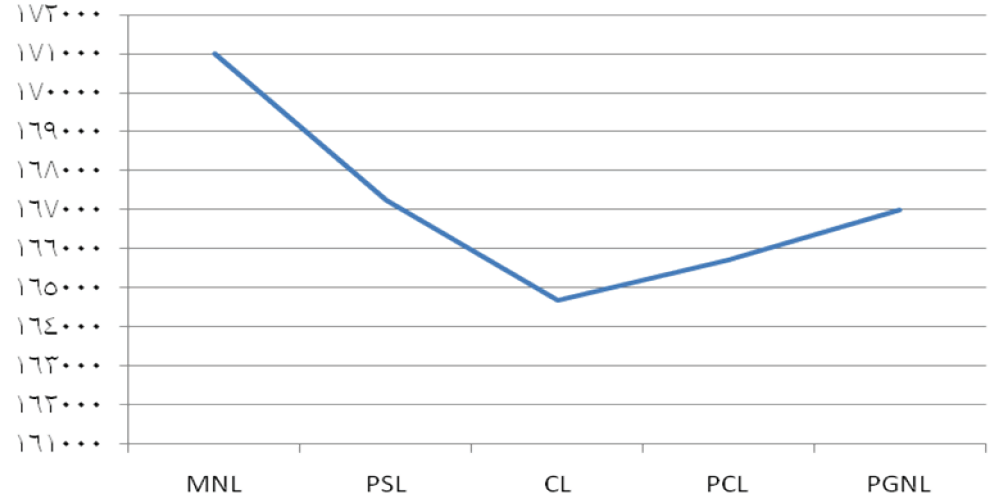
شکل۳- روند کلی تغییرات تابع سنجش عملکرد در مدلهای مختلف

جدول ۲- مقادیر مبدا مقصد شبکه آلسوپ

مبدا –مقصد	A	B	D	E	F	مقادیر
A	-	۲۵۰	۷۰۰	۳۰	۲۰۰	۱۱۸۰
C	٤۰	۲۰	۲۰۰	۱۳۰	۹۰۰	۱۲۹۰
D	٤۰۰	۲۵۰	–	۵۰	۱۰۰	۸۰۰
E	۳۰۰	۱۳۰	۳۰	–	۲۰	٤۸۰
G	۵۵۰	٤۵۰	۱۷۰	٦۰	۲۰	۱۲۵۰
مقادیر	۱۲۹۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۲۷۰	۱۲٤۰	۵۰۰۰



شکل ٤- تغییرات مجموع نسبت حجم به ظرفیت لینکها در مدلهای مختلف



شکل ۵- تغییرات شاخص کارایی کل شبکه در مدلهای مختلف

۷. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

همان‌طور که در بخش‌های اول تحقیق ذکر شد استفاده از مدل لاجیت چندجمله‌ای در دهه قبل در انتخاب مسیرهای تصادفی به شبکه ورود داشته است که در طی زمان به جهت عدم ارضای شرط استقلال گزینه‌های (مسیرهای) نامرتبط و آنهم به علت اشتراک بین مسیرهای مختلف به نسبت لینک‌های مختلف، مدل‌های دیگری از لاجیت مانند لاجیت‌های توسعه‌یافته (PSL، CL، PCL، PGNL، PCF) بر پایه مدل لاجیت چندجمله‌ای پیشرفت و بسط داده شده‌اند. پیاده‌سازی هم زمان این توابع مختلف در یک شبکه در تحقیقات گذشته بطور جامع صورت نگرفته بود که در این تحقیق به آن پرداخته شد. ارائه مدل انتخاب سفر بر پایه لاجیت با در نظرگیری تقاطعات شبکه، توابع زمان سفر وابسته به حجم امکان درنظرگیری زمانبندی و فازبندی از نقاط قوت این تحقیق است که این تحقیق امکان‌پذیری این امتیازات را در یک شبکه فرضی با استفاده از الگوریتم پیاده‌سازی شده متوسط متوالی در محیط زبان برنامه‌نویسی C++ نشان می‌دهد. امکان مقایسه هریک از توابع تحت حجم‌های مختلف تقاضا از ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ در این تحقیق نشان داده شده است.

آنچه از خروجی‌های مدل‌ها قابل مشاهده است آن است که تا حجم‌های تقاضای ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ در این شبکه فرضی و یا بطورکلی در حجم‌های تقاضای پایین، تفاوتی بین توابع مختلف از نظر میزان حجم‌های تخصیص به تقاضا وجود ندارد. و یا به عبارتی دیگر شرط عدم استقلال گزینه‌های نامرتبط در حجم‌های پایین تأثیری در خروجی تابع چندجمله‌ای با دیگر توابع بسط داده شده ندارد. مهم‌تر در این یافته، تکرار همین وضعیت در حجم‌های تقاضای دو برابر این آستانه در حدود ۹۰۰۰ برای این شبکه فرضی ویا بطورکلی در حجم‌های بالا است که بازهم عدم ارضای شرط استقلال گزینه‌های نامرتبط در مدل چندجملهای لاجیت تأثیری در خروجی‌ها با توجه به توابع گسترش‌یافته لاجیت ندارد. در حجم‌های تقاضای بین این دو کاملاً مشهود است که توابع مختلف دارای حجم‌های مختلف در لینک‌ها می‌باشند که دلیلی بر اثبات و درستی خروجی هریک از آنها وجود ندارد و صرفاً بوسیله یک شبیه‌سازی و یا بوسیله یک مطالعات میدانی قابل تحقیق و جستجو است چه‌بسا جوامع مختلف بر اساس

جدول ۳- جزئیات آماری نتایج اجرای دوم

		MNL	PSL	CL	PCL	PGNL
	متوسط	۰/۳۲۳۰۱۱	۰/۳۱۸۶۸۲	۰/۳۱۶۴۱۲	۰/۳۱۶۷۸۶	۰/۳۱۸۵۵۹
	خطای استاندارد	۰/۰۳۰۹۱۸	۰/۰۳۰۴۰۲	۰/۰۳۰۷۳۶	۰/۰۳۰۳۹	۰/۰۳۰۵۸
	میانه	۰/۲۸۷۴۶۳	۰/۳۰۳۱۰۱	۰/۲۸۵۲۴۴	۰/۲۸۵۰۵۸	۰/۲۸۸۵۵۹
	مد	۰/۲۸۷۴۶۳	۰/۲۷۴۰۲۳	۰/۲۸۰۱۵۵	۰/۲۸۵۰۵۸	۰/۲۸۱۵۶۶
	انحراف معیار	۰/۱۶۳۶۰۲	۰/۱۶۰۸۷۱	۰/۱۶۲۶۴۱	۰/۱۶۰۸۱۱	۰/۱۶۱۸۱۲
	حداقل	۰/۰۷۳۳۳۳	۰/۰۷۳۳۳۳	۰/۰۷۳۳۳۳	۰/۰۷۳۳۳۳	۰/۰۷۳۳۳۳
	حداکثر	۰/۷۹۷۸۵	۰/۷۵۵۵۸۴	۰/۷۸۴۵۴۲	۰/۷۷۶۴۵۸	۰/۷۷۸۹۸۳
	مجموع	۹/۰۴۴۳۱۸	۸/۹۲۳۰۸۷	۸/۸۵۹۵۳۲	۰/۸۷۰۰۱۵	۸/۹۱۹۶۴۳
حدود سطح سرویس نسبت حجم به ظرفیت	<۰/۲۸	۱۰	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰
	<۰/۴۴	۱۲	۱۱	۱۲	۱۲	۱۲
	<۰/۶۴	۴	۴	۴	۴	۴
	<۰/۸۷	۱	۱	۱	۱	۱
	<۱/۰	۰	۰	۰	۰	۰

خصوصیات رفتاری، منطبق بر یکی از توابع گسترش یافته لاجیت و یا لاجیت پایه چندجمله‌ای باشند که در تحقیقات آتی نیازمند بررسی و کالیبره می‌باشد.

از نتایج اجرای دوم شبکه نیز می‌توان به این نکته اشاره نمود که اصولا تابع لاجیت چندجمله‌ای به نسبت مقادیر حجم به ضرفیت متوسط بالاتری را نتیجه می‌دهد. در این میان کمترین حدود حجم به ظرفیت در تابع لاجیت آشیانه‌ای ساده بدست می‌آید.

لاجیت آشیانه‌ای متقاطع کمترین و لاجیت چندجمله‌ای بالاترین مقادیر انحراف معیار را نتیجه می‌دهند؛ در عین حال که حداکثر حجم به ظرفیت در مدل‌های مختلف از ۰/۷۹ هیچ‌گاه بالاتر نرفته است. اگر سطوح حجم به ظرفیت را مانند سطوح سطح سرویس دسته‌بندی کنیم، بین مدل‌های مختلف تفاوت آنچنانی وجود ندارد.

بنابراین با استفاده از اجراهای دوم می‌توان قابلیت مدل‌های مختلف را در پیش‌بینی شرایط انتخاب مسیر رانندگان در شبکه مشاهده نمود که با فرض کالیبره‌نمودن در جوامع مختلف می‌توان دریافت که تابع لاجیت چندجمله‌ای شرایطی را نتیجه می‌دهد که نسبت به بقیه مدل‌ها، شاخص شبکه با مقدار بیشتری و مقادیر حجم به ظرفیت بالاتر را نتیجه می‌دهد.

از میان توابع مختلف، تابع اشتراکی PCL مقادیر نسبت حجم به ظرفیت نسبتا پایین و البته با انحراف معیار کمترین را نتیجه می‌دهد. تابع لاجیت آشیانه‌ای CL با پایین‌ترین متوسط نسیت حجم به ظرفیت، حداکثر این مقدار را در یکی از لینک‌های خود نسبت به سایر مدل‌ها ارائه می‌دهد.

۸. سپاسگزاری

تحقیق حاضر یکی از نتایج مطالعات سه‌ساله در یک رساله دکتری نگارنده دوم در دانشگاه علم و صنعت در رشته عمران گرایش برنامه‌ریزی حمل‌ونقل می‌باشد که در روند انجام مطالعات و خصوصاً در جمع‌آوری و مطالعه ادبیات گذشته از تحقیقات افراد مختلفی چون رحیم فرحناک بن کوهال، دازهی سون، مهدی قطعی استفاده شده است که بدین‌وسیله از آنها تشکر و قدردانی می‌گردد. در روند پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی نگارنده در محیط برنامه‌نویسی C++ از کمک و راهنمایی‌های آقای احسان عادلی مسبب دانشجوی دکتری کامپیوتر دانشکده کامپیوتر علم و صنعت نیز استفاده شده است که از ایشان نیز بدین‌وسیله تشکر می‌شود. ایده کار و الگوریتم پیشنهادی پیاده‌سازی شده توسط نگارنده بارها توسط آقایان دکتر جلیل شاهی، دکتر شهریار افندی‌زاده و دکتر افشین شریعت، اعضای هیئت علمی عمران اصلاح و توسط راهنمایی‌های آنها بهبود یافت که از آنها نیز در این فرصت تشکر می‌شود.

۹. پیشنهادات آتی

آنچه که در این مقاله ارائه شد، تحقیق روش‌های انتخاب مسیر رانندگان برپایه مدل‌های احتمالی لاجیت چندجمله‌ای و لاجیت‌های توسعه‌یافته می‌باشد که روی یک شبکه مثال اجرا و نتایج ارائه شد. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی زمینه‌های اعتبارسنجی و پیاده‌سازی هریک از روش‌ها روی شبکه‌های واقعی نیز صورت گیرد؛ با وجود انواع نرم‌افزارهای کاربرپسند مختلف در ارائه نتایج انتخاب مسیر، اما این روش‌های احتمالی و کوشش‌های پیاده‌سازی آنها در شبکه‌های واقعی زمینه‌های توسعه و افزایش قابلیت نرم‌افزارها را فراهم می‌کنند.

تنظیم و کالیبراسیون ضرایب مدل‌های توسعه‌یافته لاجیت در انتخاب مسیر و روی شبکه‌های واقعی نیز از زمینه‌های کاری پیش رو می‌باشد.

۱۰. پانویس‌ها

1. F.H.Kinght
2. User Equilibrium
3. System Optimum
4. Sheffi
5. Daganzo
6. Stochastic assignment
7. Von Falkellhausen
8. Burrell
9. Dial
10. Fisk
11. Laurent

12. Damberg
13. Independence of Irrelevant alternatives
14. Probit models
15. Gumbel distribution
16. Gaussian distribution
17. McFadden
18. Logit Kernel
19. Bell
20. Cascetta
21. Extended Logit Models
22. Multinominal Logit
23. Ben – akiva
24. Paired combinatorial Logit
25. Chu
26. Koppelman
27. Prashker
28. Gliebe
29. Chen
30. Sun
31. Ben Kohal
32. Path size Logit
33. Bekhor
34. Webster
35. Bureau of Public Roads
36. Allsop & Charlsworth
37. Method of successive average
38. Direct First Search
39. VanVuren
40. Vanvliet
41. Karush–Kuhn–Tucker conditions

۱۱. مراجع

[1] Ortuzar, J., Willumsen, L.,(2001)., Modeling transport, John Wiley and Sons Ltd; ISBN-13: 978-0471861102, 3rd edition.

[2] Wardrop, J. G. (1952)., "Some theoretical aspects of road traffic research", in Proceedings of Institution of Civil Engineers, 1(2), 325–78.

[3] Sheffi, Y., (1985)., "Urban Transportation Networks" , Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

[4] Daganzo, C., and Y. Sheffi (1977)., "On Stochastic Model of Traffic Assignment", Transportation Science, 11, pp.253 – 274

[5] Dial, 1971. R.B. Dial , Probabilistic multipath traffic assignment model which obviates path enumeration. Transpn Res. 5 (1971), pp. 83–111Fisk, C. (2007)., "Some Development in Equilibrium Traffic Assignment", Advances in Transportation Studies, Section A 11, pp. 243-255.

[6] Sheffi, Y. and Powell, W., (1983)., "Optimal signal settings over transportation networks". Journal of Transportation Engineering 109 6, pp. 824–839.

[7] Chen, M., and A. S. Alfa (1991)., "Algorithms for Solving Fisk's Stochastic Traffic Assignment Model", Transportation Research 25B, pp.405-412

[8] Bell, M. G. H., W. H. K. Lam, G. Ploss, and D. Inaudi (1993)., "Stochastic User Equilibrium Assignment and Iterative Balancing", Proceedings of 12th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, pp.427-439, Berkeley, California

[9] Leurent, F.M. (1996)., "Contribution to Logit Assignment Model", Transportation Research Record 1493, pp.207-212

[10] Damberg, O. Lundgren, Patriksson, M. (1996)., "An algorithm for the stochastic user equilibrium problem", Transportation Research Part B: Methodological Volume 30, Issue 2, April 1996, Pages 115-131.

[11] Cascetta, E., A. Nuzzolo, F. Russo, and A. Vitetta (1996)., "A Modified Logit Route Choice Model Overcoming Path Overlapping Problems: Specification and Some Calibration Results for Interurban Networks", Proceedings of International Symposium on Transportation and Traffic Theory, pp.697-711, Lyon.

[12] Ben-Akiva, M. and Bierlaire, M.(1999)., "Discrete choice methods and their appliciton to short term travel decisions", Handbook of Transportation Science, pp. 5-33.

[13] Prashker, J. N. and S. Bekhor (1999). "Stochastic User-Equilibrium Formulations for Extended-Logit Assignment Models", Journal of Transportation Research Record 1676, pp. 145-152

[14] Prashker, J. N. and S. Bekhor (2004), "Route Choice Models used in the Stochastic User Equilibrium Problem: A Review", Transport Review, Vol 24 No.4, pp. 437-463

[15] Prashker, J. N. and S. Bekhor, (1998)., "Investigation of Stochastic Network Loading Procedures", Journal of Transportation Research Record 1645, pp. 94-102

[16] Chen, A., P. Kasikitwiwat, and Z. Ji. (2003)., "Solving the Overlapoing Problem in Route Choice using Paired Combinatorial Logit Model", Proceedings of the 82nd annual meeting of the Transportation Research Board, Washing D.C. USA

[17] Gliebe, J.P., Koppelman, F.S. and Ziliaskopoulos, A. (1999)., "Route choice using a paired combinatorial logit model", Paper presented at the 78th meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C.

[18] Sun, D., Benekohal, R. F.(2007)., "A Study on Logit-based Route Choice Models for Stochastic User Equilibrium Problem" Advances in Transportation Studies an international Journal Section A 11.

[19] Yang, H., Yagar, S. (1994)., "Traffic assignment and traffic control in general freeway-arterial corridor systems", Transportation Research Part A: Policy and Practice Volume 29, Issue 2, Pages 125-139.

[20] Allsop, R. E. and Charlesworth J. A. (1977)., "Traffic in a single-controlled road network: an example of different signal timings inducing different routings". Traffic Engineering and Control, Vol. 18, pp. 262-264.

[21] Webster, F. V. (1958)., "Traffic Signal Settings", Road Research Technical Paper No. 39, HMSO, London.

[22] TRB, Highway Capacity Manual 2000.

[23] Van Vuren, T. Van Vliet,D. (1992)., " Rout choice and signal control", athenaeum press ltd, Newcastle, great Britain.

[24] Lee, ch., Machemehl, R.B, (2005)., "Combined traffic signal control and traffic assignment" , Phd thesis, university of Texas at Austin.