

# استفاده از قابلیت‌های GIS در مدل‌سازی تأخیر فوق‌اشباع

مسعود نادرنژاد<sup>۱</sup>، حبیب‌الله نصیری<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشگاه صنعتی شریف

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

## چکیده

در این محاسبه زمان تأخیر و شناخت آن در تقاطع‌های چراغدار که خود از مهمترین ارکان سیستم حمل و نقل شهری محسوب می‌شود، از آنجا که بر میزان اتلاف وقت افراد، هزینه مصرف سوخت، آلودگی هوا و در کل بر هزینه استفاده از شبکه موثر می‌باشد، در مطالعات ترافیک از جایگاه خاصی برخوردار است. در این تحقیق با استفاده از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به محاسبه زمان تأخیر در تقاطع‌های چراغدار در حالت فوق‌اشباع پرداخته می‌شود. این بررسی بر مبنای اطلاعات جمع‌آوری شده از دو تقاطع در شهر تهران بوده و مهمترین نتیجه این تحقیق، یافتن رویکرد مناسبی برای تخمین تأخیر فوق‌اشباع بر مبنای سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است. در این مقاله تلاش شد که با بررسی چند مدل پیشنهادی برآورد تأخیر و مقایسه آن با شرایط میدانی، مدل مناسبی ارائه گردد. نتایج نشان می‌دهد که از بین ۲۰ مدل بررسی شده، تنها سه مدل برآورد مناسبی داشتند.

**کلید واژه:** سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مدل‌سازی، تأخیر، تقاطع چراغدار، فوق‌اشباع

امروزه با افزایش جمعیت و همچنین بالا رفتن سرانه مالکیت اتومبیل، معضلی به نام ترافیک، در بیشتر شهرهای بزرگ دیده می‌شود. یکی از عوامل افزایش زمان سفر خیابان‌های شهری، وجود تقاطع‌های چراغدار است. تقاطع‌های چراغدار نقاط کنترل‌کننده جریان ترافیک در سطح شبکه هستند که مقدار تأخیر در آنها معیار اندازه‌گیری مناسبی است که برای بیان خصوصیات عملکردی تقاطع چراغدار بکار می‌رود [۱]. تأخیر در حالت کلی عبارت است از زمان اضافی لازم برای گذر از مسافتی که در آن طول، عاملی از حرکت جریان ممانعت می‌کند، لذا وجود چراغ راهنمایی در تقاطع، از مهمترین عوامل در شکل‌گیری جریان متقاطع (Interrupted Flow) است [۲].

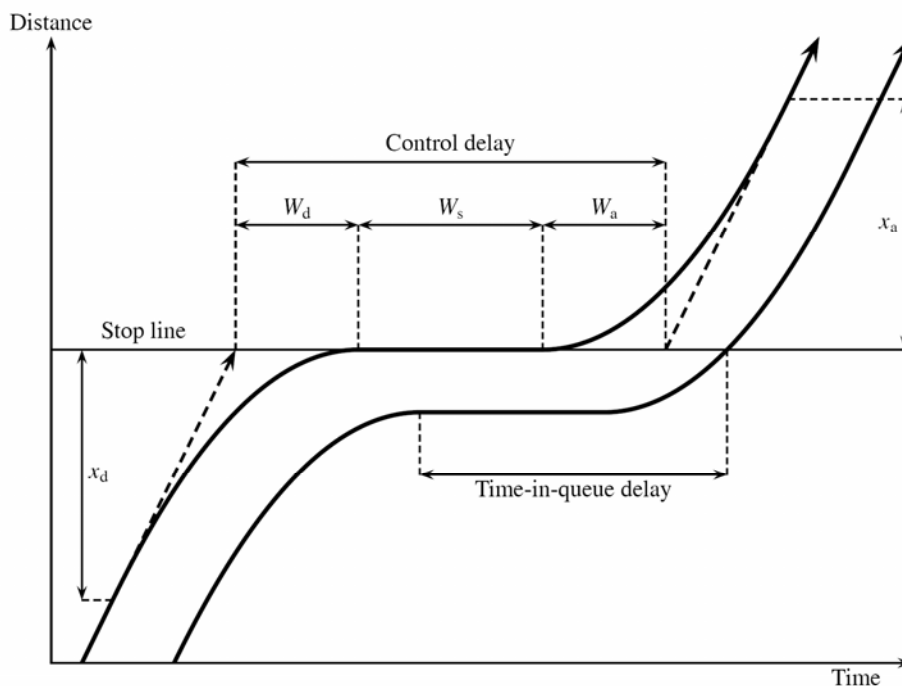
<sup>۱</sup> مسئول واحد مطالعات سازمان ترافیک مشهد، ۷۲-۸۴۵۲۶۷۰-۰۵۱۱، پست الکترونیکی: [Masoud.Nadernejad@gmail.com](mailto:Masoud.Nadernejad@gmail.com)

<sup>۲</sup> استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، ۶۶۱۶۴۱۹۷-۰۲۱، پست الکترونیکی: [Nassiri@sharif.edu](mailto:Nassiri@sharif.edu)

هنگامیکه حجم رویکردهای یک تقاطع چراغدار افزایش می‌یابد و از ظرفیت آن تجاوز می‌کند، در ورودی‌های تقاطع بتدریج صف تشکیل می‌شود و این شرایط تا زمانی که تقاضای وسایل نقلیه برای عبور، در رویکردهای تقاطع کاهش پیدا نکند، ادامه می‌یابد. در این حالت تقاطع را فوق اشباع می‌گویند [۳].

## ۲- تعریف مسأله و اهداف تحقیق

تأخیر در تقاطع‌های چراغدار، مطابق شکل (۱)، اختلاف زمان سفر بین دو حالتی است که وسیله نقلیه بدون تأثیر پذیری از وجود چراغ راهنمایی از تقاطع گذر می‌کند و حالتی که چراغ راهنمایی در حرکت وسیله نقلیه مؤثر شده و باعث حرکت کند و توقف وسیله نقلیه می‌شود که شامل زمانهای کاهش سرعت، حرکت در صف، توقف و افزایش سرعت می‌باشد [۴].



شکل (۱): نمودار تأخیر در تقاطع‌های چراغدار [۴]

محاسبه زمان تأخیر در تقاطع‌ها به دلیل وابسته بودن به زمان و پیچیدگی ماهیت تشکیل صف، در تقاطع‌های فوق اشباع همواره مشکل بوده است [۵]. روش‌هایی برای محاسبه زمان تأخیر در تقاطع‌های فوق اشباع بوجود آمده که هر یک مبتنی بر فرضیات خاصی می‌باشد که در بیشتر اوقات جواب‌های مناسبی برای شرایط ایران، ارایه نمی‌دهند. لذا پیشنهاد مدلی برای تخمین تأخیر در تقاطع‌های فوق اشباع که بیشتر به رفتار رانندگان و شرایط کشور ما شبیه است و بتواند تأخیر وسایل نقلیه را در هر نقطه از شبکه معابر که دارای تراکم است؛ مسأله‌ای است که هدف این تحقیق می‌باشد.

از طرفی امروزه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) توانایی خود را در ایجاد یک بستر مناسب برای شناسایی نقاطی از شبکه معابر که دارای تراکم می‌باشد، نشان داده است. بنابراین اگر مدلی داشته باشیم که بتواند تخمین مناسبی از تأخیر ارائه دهد، با استفاده از امکانات GIS و دانستن محل هر نقطه بر تراکم، می‌توان تأخیر را در یک معبر پیش‌بینی نمود.

### ۳- آمارگیری

یکی از مهمترین عناصر مدلسازی، اطلاعات ورودی است. برای گردآوری اطلاعات تقاطع‌هایی براساس ملاک‌های مشخص مانند شیوه کنترل و درجه اشباع انتخاب شد و اطلاعات لازم از این تقاطع‌ها جمع‌آوری گردید. در این تحقیق تقاطع‌های با چراغ راهنمایی زمان ثابت و با درجه اشباع بزرگتر از واحد انتخاب شدند، زیرا هدف از این تحقیق ارائه مدل برآورد تأخیر در تقاطع‌های چراغدار در حالت فوق اشباع بود.

این اطلاعات شامل شرایط هندسی، اطلاعاتی در مورد نحوه عملکرد چراغ راهنمایی و شرایط ترافیکی است [۴]؛ که در قالب آماربرداری از تقاطع‌ها، این اطلاعات گردآوری شدند. برای اندازه‌گیری زمان سفر شیوه‌های مختلفی از جمله روش وسیله نقلیه آزمایشی (The Floating Car Method)، شیوه ثبت پلاک وسایل نقلیه، شمارش وسایل نقلیه متوقف (Average Stopped Delay) و روشهای دقیقی مانند استفاده از روش فیلمبرداری از تقاطع وجود دارد. روش استفاده شده در این مطالعه، شیوه فیلمبرداری می‌باشد؛ که انتخاب این روش به دلیل دقت بالای آمار و همچنین قابل دسترس و مستند بودن آن است.

حجم ترافیک یکی از مهمترین اطلاعات برای تحلیل تقاطع‌های چراغدار است. در تقاطع‌های چراغدار حجم به دو قسمت اصلی عرضه و تقاضا تقسیم می‌گردد. منظور از عرضه در این پژوهش، تعداد وسایل نقلیه خروجی از تقاطع است که این تعداد، علاوه بر وابسته بودن نسبت به عرض رویکرد، بستگی به زمان‌بندی و فازبندی تقاطع دارد و تقاضا، حجم وسایل نقلیه‌ای است که قصد عبور از هر یک از رویکردهای تقاطع را دارند.

هنگامیکه نسبت حجم به ظرفیت ( $x$ ) کوچکتر از ۱ باشد، حجم‌های ورودی (تقاضا) با حجم‌های خروجی (عرضه) کمتر یا مساوی ۱ هستند. هنگامیکه نسبت حجم به ظرفیت ( $x$ ) بزرگتر از ۱ باشد، حجم‌های خروجی کمتر از حجم‌های ورودی است و نمی‌توان حجم‌های خروجی را بنای تجزیه و تحلیل قرار داد [۴]. در نتیجه کلیه محاسبات باید بر پایه احجام ورودی (تقاضا) صورت گیرد. در آمارگیری علاوه بر شمارش تعداد وسایل نقلیه خروجی از تقاطع به تفکیک نوع حرکت، تعداد وسایل نقلیه ورودی به تقاطع در انتهای صف رویکرد نیز در زمان آمارگیری به دست آمد.

## ۴- مدل سازی

### ۴-۱- معرفی متغیرها در ساخت مدل

دیگر متغیرهای مستقل بکار رفته در ساخت مدل‌ها عبارتند از عرض خیابان ورودی بر حسب متر ( $W$ )، نرخ تردد اشباع پایه در هر متر عرض خیابان بر حسب وسیله نقلیه سواری در ساعت ( $s$ ) که مقدار ۴۲۰ فرض می‌شود؛ و نزدیک به عدد ۴۲۸ است که برای شرایط ایران پیشنهاد شده است. همچنین ظرفیت خیابان ورودی بر حسب وسیله نقلیه سواری در ساعت ( $C$ ) که حاصل معادله (۱) و درجه اشباع ( $x$ ) که نتیجه معادله (۲) می‌باشد، در مدل‌سازی به عنوان متغیرهای مستقل تلقی می‌شوند.

$$C = \frac{g}{c} \times s \times W \quad (1)$$

$$x = \frac{V}{C} = \frac{V}{\left(\frac{g}{c} \times s \times W\right)} \quad (2)$$

لازم به ذکر است هرچند متغیرهایی مانند طول سیکل و زمان سبز هر یک از رویکردها، بر پایه میزان تقاضای ورودی در هر خیابان و ظرفیت معبر تعیین شده‌اند، اما چون چراغ راهنمایی بصورت از پیش زمان‌بندی شده کار می‌کند، لذا کارکرد آنها به صورت متغیرهای مستقل است. متغیر وابسته‌ای (Dependent Variable) که در ساخت مدل‌ها می‌توان به کار برد، زمان تأخیر مشاهده شده ( $d_{\text{Observed}}$ ) است. مطابق معادله (۳) زمان تأخیر را می‌توان به دو قسمت تقسیم کرد؛ که قسمت اول ( $d_1$ ) مربوط به تأخیر یکنواخت و قسمت دوم ( $d_2$ ) در ارتباط با تأخیر فوق اشباع است. از آنجا که تأخیر یکنواخت در مدل‌ها ( $d_1$ )، مطابق معادله (۴)، نصف زمان قرمز برای هر ورودی در نظر گرفته می‌شود، لذا می‌توان متغیر وابسته برای ساخت مدل‌ها را تنها قسمت دوم معادله تأخیر دانست که از معادله (۵) به دست می‌آید.

$$d = d_1 + d_2 \quad (3)$$

$$d_1 = \frac{(c - g_e)}{2} \quad (4)$$

$$d_2 = d_{\text{Observe}} - d_1 \quad (5)$$

#### ۲-۴- معرفی مدل‌ها

در این مرحله پس از معرفی کلیه متغیرها که در ساخت مدل‌ها از آنها استفاده خواهد شد، روند انجام مدل‌سازی گروه‌های مختلف شرح داده می‌شود. در این پژوهش ۲۰ مدل در قالب ۷ گروه آرایه خواهد شد و برای یافتن پارامترهای هر یک از مدل‌ها، با استفاده از نرم‌افزار SPSS، رگرسیون داده‌ها انجام می‌شود.

در اولین گروه از مدل‌های پیشنهادی، هدف تعیین پارامتر مدل با توجه به تغییرات توان  $x$  است و در گروه دوم، به جای تغییر توان  $(x)$ ، توان  $(x-1)$  افزایش می‌یابد؛ که معادله‌های گروه اول و دوم در جدول (۱) گزارش شده‌اند. در این دو گروه، توان‌های  $n$  ام  $(x)$  و  $(x-1)$  به عنوان متغیر مستقل و  $d_2$  که حاصل معادله (۵) است، به عنوان متغیر وابسته فرض می‌شود. در گروه سوم تعیین پارامترها در چندجمله‌ای‌های بر حسب  $(x)$  هدف است و در گروه چهارم که شبیه گروه سوم است، هدف تعیین پارامترها در چندجمله‌ای‌های بر حسب  $(x-1)$  است.

معادله‌های گروه سوم و چهارم در جدول (۲) گزارش شده است. در این دو گروه از مدل‌ها نیز، توان‌های  $n$  ام  $(x)$  و  $(x-1)$  به عنوان متغیر مستقل و  $d_2$ ، به عنوان متغیر وابسته فرض شده؛ با این تفاوت نسبت به دو گروه قبل که در گروه‌های اول و دوم، تنها یک جمله از توان‌های  $n$  ام  $(x)$  و  $(x-1)$  به عنوان متغیر وابسته وجود داشت، اما در گروه‌های سوم و چهارم چندجمله‌ای‌های بر حسب توان‌های  $n$  ام  $(x)$  و  $(x-1)$  به عنوان متغیر وابسته استفاده می‌شود.

جدول (۱): مدل‌های گروه اول و دوم

مدل	$R^2$
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + ax$	منفی
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + ax^2$	۰٫۵۱
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + ax^3$	۰٫۷۹
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + ax^4$	۰٫۷۷
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + a(x-1)$	۰٫۷۸
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + a(x-1)^2$	۰٫۵۹
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + a(x-1)^3$	۰٫۲۳
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + a(x-1)^4$	منفی

جدول (۲): مدل‌های گروه سوم و چهارم

مدل	R <sup>۲</sup>
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + (ax^2 + bx)$	۰/۷۵
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + (ax^3 + bx^2 + cx)$	۰/۷۶
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + (ax^3 + cx)$	۰/۷۵
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + [a(x-1)^2 + b(x-1)]$	۰/۷۵
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + [a(x-1)^3 + b(x-1)^2 + c(x-1)]$	۰/۷۶

گروه پنجم مدل‌سازی، یافتن پارامترها در مدل‌های ریاضی سه سطر اول جدول (۳) مد نظر است و در گروه ششم، هدف تعیین پارامترها در مدل‌های ریاضی سه سطر آخر جدول (۳) است.

جدول (۳): مدل‌های گروه پنجم و ششم

مدل	R <sup>۲</sup>
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + ax^b$	۰/۷۵
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + ae^{(bx)}$	۰/۷۵
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + a \log(x)$	۰/۷۵
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + a(x-1)^b$	۰/۷۵
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + ae^{[b(x-1)]}$	۰/۷۵
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + a \log(x-1)$	منفی
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + ax^b$	۰/۷۵
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + ae^{(bx)}$	۰/۷۵

همانطور که در این جدول مشخص است، تفاوت این دو گروه در استفاده از (x) و (x-1) به عنوان متغیر مستقل است. در انتهای مدل‌سازی گروه هفتم قرار می‌گیرد که شامل تنها یک مدل است و هدف تعیین پارامتر مدل است.

دلیل آوردن این معادله به صورت منفرد در یک گروه اختصاصی، شکل ویژه معادله آن است. در این معادله با الهام از جزء دوم معادله تأخیر HCM معادله‌ای در جدول (۴) آورده شده است.

جدول (۴): مدل گروه هفتم

مدل	R <sup>۲</sup>
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + a \times \left[ (x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{4x}{C}} \right]$	۰/۷۹

#### ۳-۴- مدل‌های شاخص و ارزیابی آنها

پس از مقایسه مدل‌ها از نظر نتایج آماری، مدل‌های جدول (۵)، مدل‌هایی بودند که در بین مدل‌های دیگر، مناسب‌تر تشخیص داده شدند؛ لذا ارزیابی بر روی آنها صورت می‌گیرد. در این بخش مدل‌های مناسب در بین ۲۰ مدل معرفی شده، توسط اطلاعات یک پژوهش دیگر مورد اعتبارسنجی قرار می‌گیرد.

جدول (۵): مدل‌های شاخص

$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + 65.4x^3$
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + 43.75x^4$
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + 447.25(x-1)$
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + [529.8(x-1) - 168(x-1)^2]$
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + 1262.6 \log(x)$
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + 390.3(x-1)^{0.815}$
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + 222.7 \left[ (x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{4x}{C}} \right]$
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + 65.4x^3$

به منظور بررسی مدل‌های ارائه شده در جدول (۵)، مقدار تأخیر هر مدل با توجه به اطلاعات مرجع مورد اشاره محاسبه شده و در جدول (۶)، در کنار مقدار تأخیر مشاهده شده، آورده شده‌اند.

جدول (۶): مقایسه مقدار تأخیر مدل‌های شاخص

d <sub>Observed</sub> (ثانیه)	مدل ۱	مدل ۲	مدل ۳	مدل ۴	مدل ۵	مدل ۶	مدل ۷
۱۹۲	۲۴۷	۲۳۴	۲۴۵	۲۵۲	۲۵۲	۲۵۲	۲۴۵
۱۲۸	۱۶۳	۱۴۰	۱۲۸	۱۳۷	۱۳۸	۱۴۴	۱۳۱
۲۱۲	۱۶۸	۱۴۵	۱۲۰	۱۲۶	۱۲۶	۱۳۴	۱۲۶
۱۳۶	۱۷۱	۱۴۹	۱۱۲	۱۱۴	۱۱۴	۱۲۰	۱۲۵

به منظور مقایسه دقیق‌تر این مدل‌ها، نسبت تأخیر مدل به تأخیر مشاهده شده، تعیین و به عنوان پارامتر  $k$  در جدول (۷) گزارش شده است.

جدول (۷): نسبت تأخیر مدل ( $k$ )

مدل ۱	مدل ۲	مدل ۳	مدل ۴	مدل ۵	مدل ۶	مدل ۷
۱,۲۴	۱,۱۷	۱,۲۳	۱,۲۷	۱,۲۷	۱,۲۷	۱,۲۳
۱,۲۴	۱,۰۶	۰,۹۶	۱,۰۲	۱,۰۲	۱,۰۸	۰,۹۸
۱,۱۰	۱,۰۱	۱,۰۶	۱,۱۰	۱,۱۰	۱,۱۱	۱,۰۶
۱,۲۶	۱,۰۹	۰,۸۲	۰,۸۴	۰,۸۴	۰,۸۹	۰,۹۲

در جدول (۸)، مقدار  $\sum (k-1)^2$  برای هر مدل برآورد شده که هرچه مقدار آن به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده مناسب‌تر بودن مدل است. در این جدول مدل‌های ۲، ۳ و ۷ که معادلات آنها در قسمت‌های قبلی آورده شده، دارای مقبولیت بیشتری است که به عنوان مدل‌های پیشنهادی این تحقیق ارایه می‌گردد.

جدول (۸): مقایسه مدل‌های شاخص با توجه به  $\sum (\zeta - 1)^2$

مدل ۱	مدل ۲	مدل ۳	مدل ۴	مدل ۵	مدل ۶	مدل ۷
۰,۱۹	۰,۰۴	۰,۰۹	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۰۶

#### ۴-۴- انتخاب مدل

پس از ارزیابی مدل‌های شاخص برآورد تأخیر در حالت فوق اشباع، در نهایت ۳ مدل پیشنهاد می‌شود که معادلات آنها در جدول (۹) ارائه شده‌اند.

جدول (۹): مدل‌های پیشنهادی

معادله مدل	مدل‌های پیشنهادی
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + ax^4$	۲
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + a(x-1)$	۳
$d = d_1 + d_2 = \frac{(c - g_e)}{2} + a \times \left[ (x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{4x}{C}} \right]$	۷

#### ۵- ارائه چارچوبی در GIS برای پیش‌بینی تأخیر

در این چارچوب مدل‌های مناسب، روش‌های موجود و متغیرهای لازم با استفاده از ابزار تحلیل GIS تلفیق شدند، تا لایه تأخیر معبر به دست آمد. لازم به ذکر است با استفاده از امکانات تحلیل در GIS لایه ظرفیت معبر قابل دستیابی است. سپس ظرفیت تقاطع‌های متراکم نیز به لایه ظرفیت معبر اضافه می‌شوند. برای پیش‌بینی تأخیر معبر ابتدا عوامل مؤثر با استفاده از تکنیک تقسیم‌بندی پویا (Dynamic Segmentation) بر روی خطوط مربوط به معابر در GIS پیاده‌سازی شد. این روش بر اساس فاصله از مبدأ معبر عمل می‌کند [۶]. سپس با توجه به محدوده اثر هر عامل، یک ناحیه میانگیر (Buffer) دور آنها زده شد که طول این ناحیه میانگیر برای تقاطع چراغدار فوق اشباع ۲۰۰ متر در نظر گرفته شد. در ادامه مدل‌های مناسب، آمار و اطلاعات و متغیرهای لازم در GIS بکار گرفته شد. این نتایج با استفاده از ابزارهای مختلف در محیط مدلسازی طبق چارچوب ارائه شده تلفیق گردید تا لایه تأخیر مطابق شکل (۲) به دست آمد.



شکل (۲): لایه بدست آمده از آنالیزهای GIS

## ۶- مراجع

۱- Kang, Y., Delay, Stop and Queue Estimation for Uniform and Random Traffic Arrivals at Fixed-Time Signalized Intersections, Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, USA, ۲۰۰۰.

۲- T Martin, P. and Perrin, J., Real Time Measures of Effectiveness, Department of Civil and Environmental Engineering of University of Utah Traffic Lab, Salt Lake City, Utah, USA, ۲۰۰۲.

۳- Kamarajugadda A., and Byungkyu B., Stochastic Traffic Signal Timing Optimization, Center for Transportation Studies, University of Virginia, UVACTS-۱۵-۰۰-۴۴, Charlottesville, USA, ۲۰۰۳.

۴- TRB, Highway Capacity Manual ۲۰۰۰, Transportation Research Board, Chapter ۱۶, National Research Council, Washington, D.C., USA, ۲۰۰۰.

۵- Fu, L. and Hellinga, B., Delays Variability at a Signalized Intersections, Paper presented at the TRB, ۷۹th Annual meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., USA, ۲۰۰۰.

۶- Cadkin, j. ۲۰۰۲, Understanding Dynamic Segmentation, Website: [www.esri.com](http://www.esri.com) (accessed December, ۱۰, ۲۰۰۶).