# استفاده از دوگان گراف و تبدیل موجک در ارزیابی و برنامه ریزی سیستم‌های حمل‌ونقل

جواد صابریان (مسئول مکاتبات)، دانشجوی دکترای، دانشکده نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی،تهران، ایران

محمد رضا ملک، استادیار، دانشکده نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی،تهران، ایران

مجید همراه، استادیار، دانشکده نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، تهران، ایران

Email: javadsaberian@yahoo.com

دریافت: ۹۲/۰۳/۱۸ پذیرش: ۹۲/۰۷/۲۹

**چکیده:**

**سیستم‌های اطلاعات مکانی در زمینه مدیریت حمل‌ونقل قابلیتهای فراوانی را در اختیار کاربران خود قرار می دهند. در این زمینه قابلیتهای تجزیه و تحلیل شبکه در سیستم‌های اطلاعات مکانی از جمله محاسبه کوتاه ترین مسیر می‌تواند بسیار مفید واقع شود. برای انجام آنالیزهای شبکه از تئوری گراف استفاده می شود. دیدگاه رایج برای مدل‌سازی شبکه‌های حمل‌ونقل توسط گرافها به این صورت است که ایستگاه‌ها به عنوان گره و مسیرهای بین ایستگاه‌ها به عنوان یال مدل می شوند. در این مقاله در روشی جدید به مدل‌سازی شبکه‌های حمل‌ونقل از منظر دوگان گراف پرداخته شده است. دوگانهای گراف برای ساده‌سازی و یا حل مسایل گراف اولیه ارائه شده‌اند. طبق تعریف یکی از انواع دوگان گراف که در این مقاله به آن اشاره شده است هر خط در سیستم حمل‌ونقل توسط یک گره و ارتباطات بین خطوط توسط یالهای گراف مدل‌سازی می شوند. نمونه عملی پیاده شده در این زمینه، شبکه حمل و نقل متشکل از ۵ خط اتوبوس را تنها با ۵ گره و ۵ یال مدلسازی کرد که می تواند بخصوص در ارزیابی سیستم حمل و نقل مفید واقع شود. در ادامه با استفاده از تبدیل موجک به ارزیابی مناسب بودن تعداد ناوگان اختصاص یافته به سیستم‌های حمل‌ونقل در هر ساعت از شبانه روز پرداخته می شود. تبدیل موجک یکی از تبدیلات ریاضی است که اطلاعات بسیار مفیدی از یک سری اطلاعاتی استخراج می کند. تاکنون از تبدیل موجک در بسیاری پدیده های متناوب استفاده شده است. اما در زمینه حرکت ناوگان حمل و نقل که پدیده‌ای متناوب است استفاده نشده است. برای نمونه در این مقاله ارزیابی تخصیص اتوبوس‌ها به ناوگان حمل‌ونقل اتوبوس شهری با استفاده از تبدیل موجک بررسی شده است. نمونه عملی پیاده شده، رابطه مستقیم تعداد اتوبوس مورد نیاز با ترافیک مسیر را به خوبی نشان داد به نحوی که در ساعات پیک ترافیک مسیر، تعداد ناوگانی که باید به خط اختصاص یابد بیشتر خواهد بود.**

**واژه های کلیدی:** دوگان گراف، ماتریس مجاورت، تبدیل موجک، سیستم حمل‌ونقل، فرکانس زمانی

## ۱. مقدمه

امروزه رشد شهرنشینی و افزایش جمعیت ساکن در شهرها موجب بروز مشکلات و مسائل عدیدهای در شهرها شده است. یکی از مسائل اساسی اکثر کلان شهرهای جهان، مشکلات پیش روی سیستم حمل‌ونقل شهری جهت پشتیبانی از حجم عظیم تقاضا برای جابجایی افراد و کالا در سطح شهر است. حمل‌ونقل یکی از زیرساخت‌های کشور است که تعیین کننده سطوح مختلف دسترسی مردم و اجناس در یک مکان به مکان‌های دیگر است [Kuswara et al. 2006]. سیستم حمل‌ونقل یک کشور می‌تواند نشان‌دهنده میزان توسعه آن کشور باشد.

برای طراحی و مدیریت سیستم‌های حمل‌ونقل با اطلاعات و دادههای مکان مبنای متنوعی روبرو هستیم. از این رو سیستم‌های اطلاعات مکانی با قابلیت‌های فراوانی که در این زمینه در اختیار کاربران میگذارند میتوانند بسیار مفید واقع شوند. یکی از داده‌های مکان مبنا در سیستم‌های حمل‌ونقل، شبکه خطوط ناوگان حمل‌ونقل است. به عنوان مثال در مورد سیستم حمل‌ونقل اتوبوس شهری این داده شامل مسیر خطوط حرکت اتوبوس‌ها و ایستگاه‌های موجود در هر خط است. سیستم‌های اطلاعات مکانی در زمینه آنالیزهای شبکه توانمندی‌های بسیاری دارند که از آن جمله میتوان آنالیز یافتن بهترین مسیر را نام برد.

تاکنون در زمینه استفاده از آنالیزهای شبکه در سیستم‌های حمل‌ونقل تحقیقات زیادی انجام گرفته است به عنوان مثال میتوان به [Saberian and Mesgari,; Afandizadeh et al. 2010 ;Saberian et al. 2010; 2010] اشاره کرد. در زمینه ارزیابی سیستم‌های حمل و نقل نیز تحقیقاتی انجام گرفته است. از آن جمله می توان به [Lake and Fer-; Casey et al. 1994 reira, 2002] اشاره کرد که در آنها روش و دستورالعمل ارزیابی سیستم‌های حمل و نقل توضیح داده شده است. زمان و هزینه سفر در سیستم‌های حمل و نقل از جمله پارامترهای بسیار مهمی است که در ارزیابی سیستم‌های حمل و نقل مورد توجه قرار می گیرند. در زمینه ارزیابی زمان سفر می توان به تحقیقاتی همچون[Aminnaseri and Baradaran, 2010 and Sedigh-bavar and Hadigheh khani, 2002] اشاره کرد. در این مقاله نشان خواهیم داد که در روشی جدید می توان از دوگان گراف در زمینه ارزیابی سیستمهای حمل و نقل از منظر هزینه و زمان سفر بهره برد. نشان خواهیم داد که با استفاده از یکی از انواع دوگان گراف می توان سیستم حمل و نقل را از جهت تعداد تعویض خط که منجر به افزایش هزینه سفر و زمان سفر می‌شود مورد ارزیابی قرار داد.

موارد بسیاری در ارتقاء سطح خدمات‌دهی و رضایت عمومی از سیستم‌های حمل‌ونقل، موثر هستند. به عنوان مثال نرخ کرایه‌ها، امنیت مسافران، زمان سفر، تعداد ناوگان و میزان راحتی مسافران از جمله مواردی هستند که توسط محققان حمل‌ونقل تاکید شده‌اند [Eboli and Mazzulla, Andaleeb et al. 2007 2007]. تا کنون تحقیقاتی در مورد مساله تعداد ناوگان و فرکانس حرکت آن‌ها انجام شده است [Van Oudheusden and Zhu, Van der Perre and Van Oudheusden, 1997; 1995]. Yu و همکارانش [2010] روشی بر مبنای الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی فرکانس حرکت اتوبوس‌ها ارائه کرده‌اند. Raothana-chonkun و همکارانش [2009] از داده تقاضای سفر برای تعیین فرکانس حرکت اتوبوسهای شهری استفاده کرده‌اند.

یکی از مسائلی که در این تحقیقات به آن توجهی نشده است این است که تعداد ناوگانی که به هر خط در شبکه‌های حمل‌ونقل بایستی اختصاص یابد بر اساس شرایط ترافیکی متغیر در طول روز و در ساعتهای مختلف متفاوت خواهد بود. زیرا فرکانس طراحی برای حرکت ناوگان تحت‌الشعاع ترافیک مسیر خواهد بود و هر چه ترافیک بیشتر باشد حرکت ناوگان کندتر و فرکانس زمانی حرکت آن‌ها افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر تعداد ناوگان

بیشتری در زمان ترافیک شدید باید اختصاص یابد تا زمان انتظار مسافران در ایستگاه‌ها برای آمدن وسیله نقلیه بعدی تغییری نکند. در ادامه این مقاله نشان خواهیم داد که با استفاده از قابلیت‌های تبدیل موجک می‌توان تعداد ناوگان اختصاص یافته به یک خط در هر ساعت از شبانه روز که تاثیر مستقیم بر زمان سفر و در نهایت رضایت عمومی از سیستم حمل و نقل دارد را مورد ارزیابی قرار داد.

در ادامه ساختار مقاله بر اساس اهداف تحقیق به این صورت تنظیم شده است. در فصل دوم مبانی و تعاریف اولیه گراف و دوگان آن تشریح شده اند.

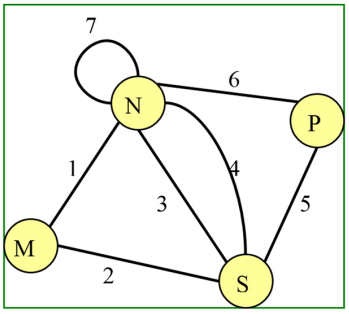
در فصل ۳ مدل‌سازی شبکه حمل‌ونقل از منظر فضاهای دوگان تشریح شده است و کاربردهای آن بیان شده است. فصل چهارم به معرفی تبدیل موجک و نحوه استفاده از تبدیل موجک در محاسبه تعداد اتوبوس مورد نیاز هر خط در هر ساعت از شبانه‌روز می‌پردازد.

در این زمینه از یک مطالعه موردی بر روی یکی از خطوط اتوبوس شهر تهران برای تبیین روش استفاده شده است. و بالاخره فصل پنجم به نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

## ۲. مبانی گراف و دوگان گراف

در این بخش ضمن پرداختن به اصول اولیه تئوری گراف، به معرفی دوگان گراف مرتبط با روش پیشنهادی تحقیق پرداخته می‌شود. ابتدا با تعریف گراف و بعضی مفاهیم مرتبط با تحقیق شروع می‌کنیم.

گراف G مجموعه‌ای شامل دو مولفه (N, E) است که مجموعه N به صورت یک مجموعه متناهی و ناتهی از گره‌ها و مجموعه E شامل یکسری ارتباطات دودویی بر روی مجموعه N تعریف می‌شود. N مجموعه گره‌ها در گراف و E مجموعه یال‌های گراف است[Boundy and Murty, 1999]. رشته‌ای از گره‌ها که در آن هر زوج عضو مجموعه یال‌ها باشد یک گشت[۳] نامیده می‌شود [Gross and Yellen, 2006]. گشتی که یال و گره تکراری ندارد یک مسیر است. ماتریس مجاورت[۴] یک گراف، ماتریسی مربعی $n \times n$ است که سطرها و ستون‌های آن گره‌های گراف می‌باشند و مقدار درایه برابر تعداد یالی است که گره i را به گره j وصل می‌کند. (شکل ۱)




$$\begin{array}{c} \\ M \\ N \\ P \\ S \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} M & N & P & S \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

**شکل ۱. ماتریس مجاورت یک گراف**

همانند بسیاری نظریه‌های دیگر که در آن‌ها برای بعضی مسائل راه‌حل‌هایی بر مبنای فضاهای دوگان ارائه شده است در گراف‌ها نیز چنین فضاهایی تعریف و استفاده شده‌اند.

دوگانهای گراف برای ساده‌سازی و یا حل مسایل گراف اولیه ارائه شده‌اند. تا کنون دوگانهای گراف متعددی در علوم کاربردی گوناگون تعریف و استفاده شده‌اند.

در این مقاله از دوگان گرافی که در تئوری نحو فضا[۵] بکار گرفته شده برای رسیدن به اهداف تحقیق استفاده شده است [Hiller and Hanson, 1984].

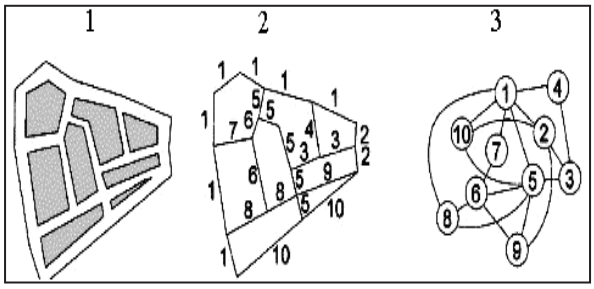
این نوع دوگان گراف بر خلاف دیگر دوگانها از گراف اولیه استخراج نشده و از ابتدا بر اساس نگرشی متفاوت تولید می‌شود. در نگرش رایج برای تبدیل شبکه‌های شهری به گراف، تقاطع‌ها به عنوان گره‌های گراف و مسیرهای بین تقاطع‌ها به عنوان یالهای گراف در نظر گرفته می‌شوند.

در این نوع دوگان، خیابانها به عنوان گره و تقاطع‌ها به عنوان یالهای گراف تصویر می‌شوند. روش‌های متفاوتی برای تولید این دوگان در شبکه راه‌های شهری بر اساس نیاز و کاربرد تعریف و

استفاده شده‌اند که در ادامه به یکی از آن‌ها اشاره می‌شود.

## دوگان بر اساس نام راه

در این نوع دوگان راه‌ها بر اساس نام آن‌ها تبدیل به گره می‌شوند. به عبارت دیگر کل یک راه با یک نام واحد به عنوان یک گره تصویر می‌شود. راه‌های غیر همنامی که با هم متقاطع هستند بین گره‌های متناظر آن‌ها یک یال در دوگان گراف رسم خواهد شد [Jiang and Claramunt, 2004]. شکل ۲ چگونگی تشکیل این نوع دوگان گراف را نشان می‌دهد.

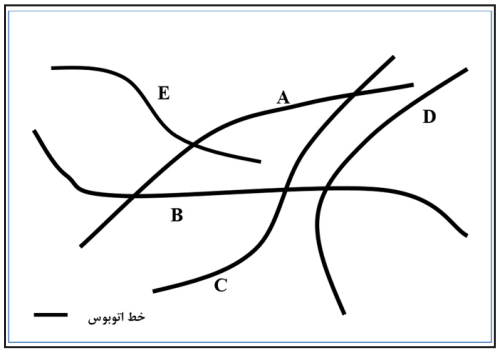



**شکل ۲. نحوه تشکیل دوگان گراف بر اساس نام خیابان. ۱)یک شبکه شهری به همراه ۲) کد گذاری مسیرها بر اساس نام آن‌ها و ۳) گراف حاصل از آن (مسیرها به عنوان گره و تقاطع‌ها به عنوان یال) [Jiang and Claramunt, 2004].**

## ۳. مدل‌سازی سیستم حمل‌ونقل شهری از دیدگاه دوگان گراف

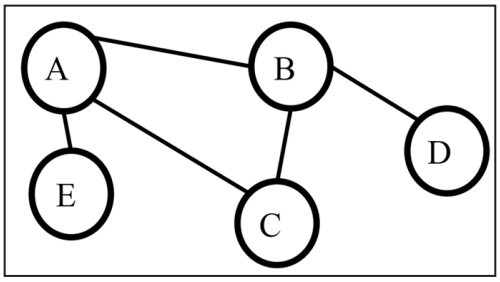
در این بخش ضمن تشریح نحوه مدل‌سازی شبکه حمل‌ونقل شهری از دیدگاه دوگان گراف بر مبنای نام راه بعضی فواید و کاربردهای آن نیز بیان می شود.

برای این منظور سیستم حمل‌ونقل اتوبوس شهری را به عنوان نمونه انتخاب می‌کنیم. هرچند روش ارائه شده در اینجا قابل تعمیم به دیگر سیستم‌های حمل‌ونقل و حتی سیستم حمل‌ونقل چند ساختی است. فرض کنید شکل ۳ خطوط شبکه حمل‌ونقل اتوبوس شهری را نشان میدهد. این شبکه از ۵ خط A، B، C، D و E تشکیل شده است.




**شکل ۳. یک شبکه حمل‌ونقل اتوبوس شهری متشکل از ۵ خط**

برای مدل‌سازی این شبکه از دیدگاه دوگان گراف بر مبنای نام راه، هر خط شبکه را توسط یک گره و ارتباطات بین خطوط را به عنوان یال مدل میکنیم. ارتباطات بین خطوط به معنی وجود ایستگاه مشترک و یا وجود دو ایستگاه در دو خط که به فاصله نزدیکی از یکدیگر قرار دارند است. یعنی مثلا فرض می کنیم که اگر فاصله دو ایستگاه در دو خط مجزا کمتر از ۲۰۰ متر باشد بین آن دو خط ارتباط وجود دارد و باید در دوگان مربوطه بین دو گره متناظر آن دو خط یک یال ترسیم شود. شکل ۴ دوگان گراف شبکه شکل ۳ با فرض اینکه در محل تقاطع دو خط، ایستگاه مشترک موجود باشد و یا اینکه فاصله دو ایستگاه در دو خط متقاطع کمتر از ۲۰۰ متر باشد را نشان می دهد.




**شکل ۴. دوگان گراف شبکه شکل ۳**

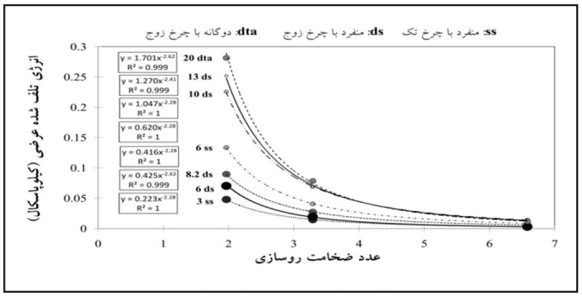
حال که دوگان گراف شبکه اتوبوس شهری شکل۳ استخراج شد، میتوان از آن برای ارزیابی تعداد تعویض خط برای حرکت بین خطوط استفاده کرد. برای این منظور از ماتریس مجاورت گراف استفاده میشود. طبق تعریف، ماتریس مجاورت گراف شکل ۴ به صورت زیر خواهد بود:

$$\text{ماتریس مجاورت } (A) = \begin{matrix} \\ A \\ B \\ C \\ D \\ E \end{matrix} \begin{matrix} A & B & C & D & E \\ \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

در این ماتریس درایه‌های صفر بیانگر عدم ارتباط بین دو گره هستند و به عبارت دیگر به این معنی است که برای رفتن از این خط اتوبوس به خط اتوبوس دیگر باید حداقل یک اتوبوس دیگر سوار شد. برای مشخص کردن گشتهای به طول ۲ که معادل با سه خط اتوبوس میباشند بر اساس قضیه زیر از توان دوم ماتریس مجاورت استفاده می کنیم

قضیه. اگر A ماتریس مجاورت گراف G باشد، درایه $A_{ij}$ در ماتریس $A^k$ تعداد گشتهای با طول k از راس i به j را نشان می‌دهد.

توان دوم ماتریس مجاورت گراف شکل ۴ به صورت زیر است:




این ماتریس نشان می دهد که مثلا خط D و خط E که در ماتریس قبل ارتباط مستقیم نداشتند، اینجا نیز ارتباطی ندارند. یعنی اگر کسی بخواهد از خط D به خط E برود یا برعکس، حداقل دو خط اتوبوس دیگر نیز باید سوار شود. در نهایت اگر توان سوم ماتریس مجاورت استخراج شود معلوم می شود که بین خط D و خط E یک گشت به طول ۳ وجود دارد.

$$A^3 = A^2A^T = \begin{matrix} \\ A \\ B \\ C \\ D \\ E \end{matrix} \begin{matrix} A & B & C & D & E \\ \end{matrix} \begin{bmatrix} 2 & 5 & 4 & 1 & 3 \\ 5 & 2 & 4 & 3 & 1 \\ 4 & 4 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 1 & 0 & 1 \\ 3 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

از دوگان گراف استخراج شده همچنین می‌توان برای انجام مسیریابی استفاده کرد. مثلا فرض کنید در شبکه شهری شکل۳ بخواهیم با اتوبوس از یک نقطه به نقطه دیگر سفر کنیم. اگر معیار سفر کمترین تعویض خطوط اتوبوس باشد که تقریبا معادل با کمترین کرایه پرداختی است، می‌توان از گراف شکل ۴ که حجم آن به مراتب کوچک‌تر از گرافی است که با دیدگاه غیردوگان تولید شده باشد، استفاده کرد. این گراف تنها از ۵ گره و ۵ یال تشکیل شده است درحالی‌که در گراف با دیدگاه غیر دوگان تعداد گره ها برابر با مجموع تعداد ایستگاههای خطوط و تعداد یالها برابر با تعداد ارتباطات بین ایستگاهها است. چون در اینجا تعویض خط ملاک مسیریابی است، وزنی که باید به هر یال اختصاص یابد برابر ۱ است. در انتها با انجام مسیریابی توسط یکی از الگوریتمهای کوتاه ترین مسیر مثل دایجسترا می‌توان مسیر با کمترین تعویض خط بین دو نقطه را مشخص کرد.

## ۴. تخصیص تعداد ناوگان مناسب با توجه به فرکانس زمانی طراحی‌شده

یکی دیگر از مسائلی که باید در خطوط شبکه‌های حمل‌ونقل مثل اتوبوس شهری ارزیابی شود، فرکانس زمانی حرکت ناوگان در هر خط است. یعنی باید مشخص شود که مثلا از یک ایستگاه یک خط هر چند دقیقه یک اتوبوس باید عبور کند. فرکانس زمانی که برای حرکت ناوگان در هر خط در نظر گرفته می‌شود، بایستی متناسب با نیاز هر خط باشد. در کل طراحی باید به گونه‌ای انجام شود که میزان منتظر ماندن افراد برای سوار شدن به یک اتوبوس در تمامی خطوط تقریباً برابر باشد. به عبارت دیگر چون بعضی خطوط از حجم مسافر بالاتری برخوردار هستند، افراد برای سوار شدن به اتوبوس بایستی در صف قرار گیرند و ممکن است که چند اتوبوس بگذرد و سپس نوبت به سوار شدن آن‌ها برسد. بنابراین اختصاص فرکانس مناسب برای حرکت اتوبوس‌ها در هر

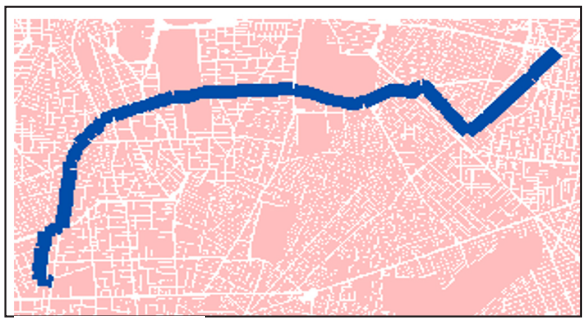
خط باید بر اساس میزان انتظار برای سوار شدن به اتوبوس انجام شود. برای به دست آوردن فرکانس مناسب نیاز است که در هر ساعت از شبانه‌روز اطلاعات تقاضای سفر در هر خط را در اختیار داشته باشیم، زیرا میزان تقاضای سفر در هر ساعت متفاوت است و بالطبع فرکانسی که باید برای عبور هر اتوبوس در نظر گرفته شود نیز باید متفاوت باشد.

فرض کنیم که با در نظر گرفتن همه ملاحظات، فرکانس زمانی هر خط طراحی‌شده است. با توجه به اینکه فرکانس طراحی برای حرکت ناوگان تحت تاثیر ترافیک مسیر خواهد بود و حرکت ناوگان در زمان ترافیک کندتر می‌شود، در نتیجه تعداد ناوگانی که به هر خط در ساعات مختلف شبانه روز اختصاص می‌یابد باید بر اساس ترافیک متفاوت باشد تا فرکانس طراحی‌شده در تمامی ساعات رعایت شود. در ادامه نشان خواهیم داد که با استفاده از تبدیل موجک می‌توان تعداد ناوگان اختصاص یافته در هر لحظه از شبانه‌روز را مورد ارزیابی قرار داد.

زمینه ریاضی آنالیز موجک به آنالیز فوریه در قرن نوزدهم برمی‌گردد [Torrence and Compo, 1998] و مفهوم موجک در شکل حاضر به وسیله Jean Morlet ژئوفیزیکدان فرانسوی پیشنهاد شده است[Heil and Walnut, 1989; Goldburg, 1993]. تئوری موجک برای غلبه بر مشکلات تبدیل فوریه ارایه گردیده است.

بر خلاف تبدیل فوریه، به وسیله تبدیل موجک میتوان علاوه بر استخراج فرکانس های موجود در یک پدیده متناوب مثل حرکت ناوگان حمل و نقل، زمان رخداد آن فرکانسها در آن پدیده را نیز استخراج کرد.

برای نشان دادن نحوه استفاده از تبدیل موجک به یک نمونه موردی پیاده سازی شده اشاره می کنیم. شکل ۵ یکی از خطوط اتوبوس در منطقه مرکزی به سمت شرق شهر تهران را نشان می‌دهد.

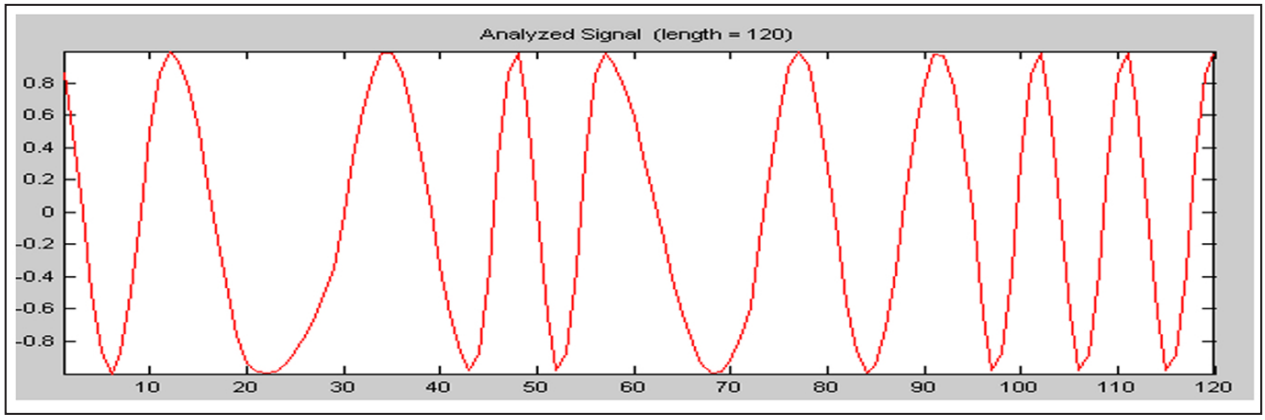



**شکل۵. خط اتوبوس مورد مطالعه**

فرض کنید فرکانس طراحی حرکت برای این خط ۱۰ دقیقه در نظر گرفته شده باشد. یعنی قرار است هر ۱۰ دقیقه یک اتوبوس از هر ایستگاه این خط عبور کند. می خواهیم تعداد اتوبوسی که به این خط در هر ساعت از شبانه‌روز باید اختصاص یابد را محاسبه کنیم. برای این منظور ابتدا باید نمودار مکان–زمان حرکت یک اتوبوس در این خط استخراج شود. شکل ۶ نمودار مربوطه را نشان می دهد.

به منظور رسیدن به این نمودار، مکان قرار گرفتن اتوبوس در مسیر هر ۵ دقیقه یک‌بار اندازه‌گیری شده است. یعنی در مجموع ۱۲۰ اندازه‌گیری در طول ۱۰ ساعت کاری انجام شده است. نقطه میانی مسیر به عنوان مبدا در نظر گرفته شده است. مسیر رفت با تغییر دامنه مثبت و مسیر برگشت با تغییر دامنه منفی نمایش داده شده است. دامنه ۱– نقطه شروع مسیر را نشان می‌دهد. دامنه صفر نشان‌دهنده نقطه میانی مسیر و دامنه ۱ نقطه پایانی مسیر است. طبق نمودار شکل ۶، اتوبوس مربوطه در طول ۱۰ ساعت ۹ بار کل مسیر را به صورت رفت و برگشت طی کرده است.

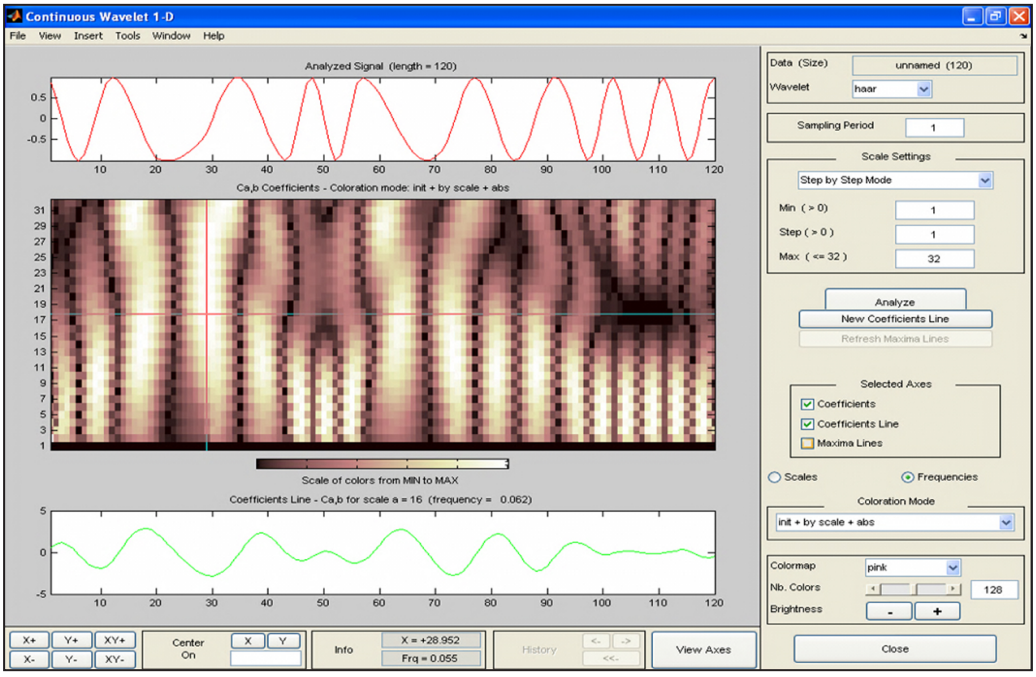
از آنجا که هدف، استخراج فرکانس‌های حرکت اتوبوس که وابسته به سرعت اتوبوس است، در طول این ۱۰ ساعت به همراه زمان وقوع هر فرکانس است، استفاده از تبدیل موجک یک روش مناسب برای این منظور است. این تبدیل با استفاده از نرم‌افزار Matlab قابل انجام است. مراحل کار به‌این صورت




**شکل۶. نمودار حرکت اتوبوس در مدت زمان ۱۰ ساعت در خط مورد نظر (محور x بیانگر زمان اندازه گیری و محور y بیانگر مکان اندازه گیری است که بین ۱- تا ۱ درجه بندی شده است.)**

است که ابتدا یک موجک مادر مثلا موجک Haar انتخاب می‌شود. موجکهای مادر مختلفی تعریف و استفاده شده اند که انتخاب هر یک در خروجی تبدیل موجک تاثیر زیادی ندارد. موجک مادر تابعی است که میزان شباهت آن با بخشهای مختلف سیگنال در حالتهای مختلف بررسی می شود و بر اساس میزان شباهت، فرکانس های موجود در سیگنال استخراج می شوند. سپس تبدیل موجک بر روی نمودار شکل ۶ اجرا می گردد. شکل ۷ خروجی تبدیل را با توجه به پارامترهای انتخاب شده نشان می‌دهد. رنگ‌های روشن در شکل ۷ بیانگر وجود شباهت بین فرکانس حرکت اتوبوس و فرکانس در مقیاس تابع موجک Haar است. به عبارت دیگر هر جا رنگ روشنتر است میتوان گفت که فرکانس حرکت اتوبوس به فرکانس متناسب با مقیاس موجک Haar نزدیک‌تر است. همان طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، تعداد ۳۷ مقیاس برای موجک Haar محاسبه و با سیگنال حرکت اتوبوس مقایسه شده است.

جدول ۱ خروجی تبدیل موجک را نشان میدهد. این جدول فرکانس‌های موجود در سیگنال حرکت این اتوبوس به همراه زمان وقوع آن‌ها در سیگنال را نشان می دهد.




**شکل۷. خروجی تبدیل موجک بر روی سیگنال حرکت اتوبوس در نرمافزار Matlab**

**جدول ۱. فرکانس حرکت هر اتوبوس و زمان رخداد آن‌ها بدست آمده از تبدیل موجک**

| زمان (ساعت) | مقیاس تابع Haar | فرکانس در مقیاس مربوطه (دور در ۵ دقیقه) |
|---|---|---|
| ۷–۷:۳۰ | ۷ | ۰/۰۷۶ |
| ۷:۳۰–۸ | ۷ | ۰/۰۷۶ |
| ۸–۸:۳۰ | ۱۰ | ۰/۰۹۹ |
| ۸:۳۰–۹ | ۱۱ | ۰/۰۹۰ |
| ۹–۹:۳۰ | ۸ | ۰/۱۲۴ |
| ۹:۳۰–۱۰ | ۶ | ۰/۱۶۶ |
| ۱۰–۱۰:۳۰ | ۴ | ۰/۲۴۹ |
| ۱۰:۳۰–۱۱ | ۴ | ۰/۲۴۹ |
| ۱۱–۱۱:۳۰ | ۴ | ۰/۲۴۹ |
| ۱۱:۳۰–۱۲ | ۱۳ | ۰/۰۷۶ |
| ۱۲–۱۲:۳۰ | ۱۲ | ۰/۰۸۳ |
| ۱۲:۳۰–۱۳ | ۱۱ | ۰/۰۹۰ |
| ۱۳–۱۳:۳۰ | ۹ | ۰/۱۱۰ |
| ۱۳:۳۰–۱۴ | ۸ | ۰/۱۲۴ |
| ۱۴–۱۴:۳۰ | ۷ | ۰/۰۷۶ |
| ۱۴:۳۰–۱۵ | ۴ | ۰/۲۴۹ |
| ۱۵–۱۵:۳۰ | ۴ | ۰/۲۴۹ |
| ۱۵:۳۰–۱۶ | ۴ | ۰/۲۴۹ |
| ۱۶–۱۶:۳۰ | ۴ | ۰/۲۴۹ |
| ۱۶:۳۰–۱۷ | ۴ | ۰/۲۴۹ |

در نهایت تعداد اتوبوس از رابطه ۲ قابل محاسبه است:

$$B.N = \frac{f}{v}, \quad f = \frac{h/d}{h/l} \qquad (۲)$$

در این رابطه B.N تعداد اتوبوس، d پریود زمانی طراحی‌شده برای عبور هر اتوبوس از یک ایستگاه که در این نمونه موردی ۱۰ دقیقه فرض شده است، $\upsilon$ فرکانس حرکت اتوبوس در هر ۵ دقیقه به دست آمده از تبدیل موجک در جدول ۱، h بازه تقسیم‌بندی به دقیقه که در اینجا ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شده و در نهایت $l$ بازه برداشت نمونه است که در این مورد ۵ دقیقه است.

جدول ۲ تعداد اتوبوس مورد نیاز در هر نیم ساعت را با توجه به رابطه ۲ و جدول ۱ نشان می دهد.

## ۴. نتیجه‌گیری

قابلیتهای سیستم‌های اطلاعات مکانی در زمینه مدیریت سیستم‌های حمل‌ونقل روزبه‌روز بیشتر مورد توجه کاربران این حوزه قرار می‌گیرد. برای اینکه این سیستم‌ها بتوانند هر چه بیشتر اعتماد کاربران خود را جلب کنند لازم است که دقت محاسبات و قابلیتهای آن‌ها افزایش یابد. در این مقاله به بررسی دور روش

جدول۲. تعداد اتوبوس مورد نیاز بر اساس فرکانس طراحی در هر نیم ساعت

| زمان (ساعت) | تعداد اتوبوس مناسب با توجه به مقیاس |
|---|---|
| ۷-۷:۳۰ | ۷ |
| ۷:۳۰-۸ | ۷ |
| ۸-۸:۳۰ | ۶ |
| ۸:۳۰-۹ | ۶ |
| ۹-۹:۳۰ | ۵ |
| ۹:۳۰-۱۰ | ۴ |
| ۱۰-۱۰:۳۰ | ۳ |
| ۱۰:۳۰-۱۱ | ۳ |
| ۱۱-۱۱:۳۰ | ۳ |
| ۱۱:۳۰-۱۲ | ۷ |
| ۱۲-۱۲:۳۰ | ۷ |
| ۱۲:۳۰-۱۳ | ۶ |
| ۱۳-۱۳:۳۰ | ۵ |
| ۱۳:۳۰-۱۴ | ۵ |
| ۱۴-۱۴:۳۰ | ۷ |
| ۱۴:۳۰-۱۵ | ۳ |
| ۱۵-۱۵:۳۰ | ۳ |
| ۱۵:۳۰-۱۶ | ۳ |
| ۱۶-۱۶:۳۰ | ۳ |
| ۱۶:۳۰-۱۷ | ۳ |

جدید برای ارزیابی شبکه های حمل و نقل از منظر هزینه و زمان سفر پرداخته شد. نشان دادیم که می‌توان با استفاده از دوگان گراف اولا حجم گراف حاصل از مدلسازی شبکه های حمل‌ونقل در قالب گراف را به شدت کاهش داد و ثانیا به تحلیلهایی مفید در ارزیابی ارتباطات بین خطوط دست یافت. نتایج این تحلیل‌ها اطلاعات مفیدی در زمینه هزینه و زمان سفر بین خطوط در یک سیستم حمل و نقل را در اختیار می گذارد. نمونه عملی اجرا شده نشان داد که گراف متناظر با شبکه ای شامل ۵ خط مجزا می تواند تنها ۵ گره و ۵ یال داشته باشد.

همچنین در این مقاله نحوه استفاده از تبدیل موجک در ارزیابی تعداد ناوگان اختصاص یافته به هر خط در یک سیستم حمل و نقل توضیح داده شد. از آنجایی که تبدیل موجک برای استخراج فرکانسهای موجود در یک پدیده متناوب مثل حرکت ناوگان حمل و نقل در خطوط به همراه زمان وقوع هر فرکانس ارائه شده است میتواند اطلاعات بسیار مفیدی در مورد تصمیم گیری و ارزیابی تعداد ناوگان هر خط در اختیار بگذارد. نمونه موردی انجام گرفته در این زمینه لزوم تخصیص ناوگان بیشتر در زمانهای پرترافیک که سرعت و فرکانس حرکت کاهش می یابد را بخوبی و بصورت دقیق نشان داد.

پرداختن به دیگر مواردی که در ارزیابی سیستم حمل و نقل

اهمیت دارند به عنوان ادامه این کار تحقیقی پیشنهاد می‌شود. همچنین تحقیق در مورد نحوه استفاده از تبدیل موجک در دیگر پدیده‌های متناوب موثر در حمل و نقل مثل ترافیک شهری پیشنهاد می‌شود. در نهایت بررسی نحوه مدلسازی شبکه‌های حمل و نقل چند ساختی با استفاده از دوگان گراف به عنوان ادامه این کار تحقیقی پیشنهاد می‌شود.

## ۵. پی نوشتها

1- Dual space
2- Wavelet
3- Walk
4- Adjacency matrix
5- Space syntax

## ۶. مراجع


– امین ناصری، م. ر. و برادران، و. (۱۳۸۸) «بررسی عوامل موثر بر زمان سفر در سیستم حمل و نقل عمومی و پیش بینی زمان سفر مورد کاوی: سیستم اتوبوسرانی شهر تهران»، پژوهشنامه حمل و نقل، جلد ششم، شماره ۳.

– صدیق باور، م. و حدیقه جوانی، م. (۱۳۹۱) "ارزیابی و تحلیل عملکرد سیستم حمل و نقل سریع اتوبوس رانی در کلان شهرها"، دهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک. ایران.

-Afandizadeh, S., Javanshir, H. and Elyasi, R. (2010) "Development of a model for designing urban bus transit network based on tabu search", Transportation Engineering, 1(4): pp.13-26.

-Andaleeb, S. S., Haq, M. and Ahmed, R. I. (2007) "Reforming inner city bus transportation in a developing country: A passenger-driven model", Journal of Public Transportation, 10 (1): pp.1-25.

-Boundy, J. A. and Murty, U. S. R. (1999) "Graph theory with applications", London: McMillan.

-Casey, R. F., Collura, J. and Volpe, J. (1994) "Advanced public transportation systems: evaluation guidelines", Office of Technical Assistance Federal Transit Administration 400 Seventh Street SW Washington, DC 20590.

-Eboli, L. and Mazzulla, G. (2007) "Service quality attributes affecting customer satisfaction for bus transit", Journal of Public Transportation, 10(3): pp.21-34.

-Goldburg, M. (1993) "Applications of Wavelets to Quantization and Random Process Representation", Stanford University. PhD dissertation.

-Gross, J. L. and Yellen, J. (2006) "Graph theory and its applications", Chapman & Hall.

-Heil, C. and Walnut, D. F. (1989) "Continuous and Discrete Wavelet Transforms", SIAM Review, 31(4): pp. 628-666.

-Hiller, B. and Hanson, J. (1984) "The Social logic of space", Cambridge, UK, Cambridge University Press.

-Jiang, B. and Claramunt, C. (2004) "Topological analysis of urban street networks", Environment and Planning B: Planning and Design, 31(1): pp.151-162.

-Kuswara, M., Prihandana, R. and Desriani, R. (2006) "Characteristics of urban development and commuters in metropolitan Bandung", MapAsia.

-Lake, M. and Ferreira, L. (2002) "Towards a methodology to evaluate public transport projects", Physical Infrastructure Centre Research Report 02-03. Queensland University of Technology, Brisbane, School of Civil Engineering.

-Raothanachonkun, P., Indra-Payoong, N. and Sumalee, A. (2009) "A practical approach to determine optimal bus frequencies: An empirical study of a Bangkok bus service", The 13th International Conference of Honk Kong Society for Transporation Studies. Hong Kong: pp. 61-64.

-Saberian, J. and Mesgari, M. S. (2010) "Optimum path finding base on time criteria under traffic variation", Transportation Engineering, 1(4): pp. 53-66.

-Saberian, J. Mesgari, M. S. and Shirzadi, A. (2010) "A new method for planning of urban bus transportation paths using of GIS", Journal of Transportation Research, 7(1): pp. 67-78.

-Torrence, C. and Compo, G. P. (1998) "A practical guide to wavelet analysis", Bulletin of the American Meteorological Society, 79(1): pp. 61-78.

-Van der Perre, P. G. and Van Oudheusden, D. L. (1997) "Reducing depot-related costs of large bus operators: a case study in Bangkok", European Journal of Operational Research, 96(1): pp.45-53.

-Van Oudheusden, D. L. and Zhu, W. (1995) "Trip frequency scheduling for bus route management in Bangkok", European Journal of Operational Research, 83(3): pp.439-451.

-Yu, B., Yang, Z. and Yao, J. (2010) "Genetic algorithm for bus frequency optimization", Journal of Transportation Engineering, 136(6): pp.576-583.