

## شمارش خودکار احجام گردشی تقاطع با استفاده از دستگاه‌های موجود کنترل چراغ

### مقاله علمی-پژوهشی

علی غلامی\*، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: a.gholami@gu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۷ - پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱

صفحه ۶۳-۷۶

### چکیده

هدف از این مقاله شناسایی و بررسی امکان به دست آوردن احجام گردشی از دستگاه‌های کنترل چراغ موجود و بررسی صحت آنها است. اکثر تقاطع‌های چراغ‌دار با حسگرهای القایی حلقه‌ای عمل می‌کنند. مطالعه ماکروسکوپی بر روی دو تقاطع انجام شد. دقت حسگر بر حسب میانگین درصد مطلق خطا و ریشه میانگین مربعات خطا بررسی شد. نتایج نشان داد که شمارش‌ها قابل اعتماد نیستند و دارای خطای بسیار بالایی هستند. با این حال، با استفاده از برنامه‌نویسی ژنتیک و سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی، شمارش حسگرها اصلاح شد و دوباره خطا محاسبه شد. روش پیشنهادی برای اصلاح شمارش حسگرها نشان می‌دهد شمارش‌های اصلاح شده برای همه شرایط دقت کافی پیدا نمی‌کنند. بنابراین، یک روش جایگزین برای به دست آوردن تعداد احجام گردشی فقط از اطلاعات چراغ بدون استفاده از شمارش حسگرها پیشنهاد شده است. برای تولید داده‌های مورد نیاز، شبیه‌سازی در VISSIM با حجم‌های ورودی مختلف انجام شد. بازه زمانی سبز و حجم در هر فاز از خروجی VISSIM استخراج و بر اساس این متغیرها مدل ساخته شد. این روش شمارش دقیقی را برای برخی موارد ایجاد می‌کند. به هر حال حتی زمانی که می‌توان احجام حسگرها را اصلاح کرد، با احجام گردشی را بر اساس اطلاعات چراغ ترافیک تخمین زد، نمی‌توان احجام گردشی را در خطوط مشترک تخمین زد. این مقاله همچنین سه روش را برای تخمین نسبت حرکات گردشی در خطوط مشترک پیشنهاد کرده است.

واژه‌های کلیدی: احجام گردشی، حسگر القایی حلقه‌ای، اطلاعات چراغ، ANFIS، برنامه‌نویسی ژنتیک

### ۱- مقدمه

حسگر مورد استفاده، و مسائل مربوط به نگهداری حلقه. هدف اصلی این مقاله بررسی این است که آیا اطلاعات حجم ترافیک قابل اعتماد می‌تواند به طور خودکار با استفاده از دستگاه‌های کنترل چراغ موجود جمع‌آوری شود یا خیر. این مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است: پس از بررسی ادبیات در بخش ۲، ابتدا در بخش ۳ دقت سیستم حسگرهای القایی حلقه‌ای نشان داده شده

مزایای بسیاری از جمله هزینه کم جمع‌آوری شمارش برای جمع‌آوری شمارش احجام از حسگرهای القایی حلقه‌ای در تقاطع‌های چراغ‌دار وجود دارد. با این حال، مشکلاتی نیز وجود دارد، از جمله تفاوت در بین سازمان‌های حمل و نقل و ترافیک از نظر قرار دادن حلقه‌ها، طرح و سیم‌کشی آنها، تغییرات احتمالی در روش‌های استخراج داده‌ها بر اساس نوع فناوری و یا سازنده

از چندین دهه قبل بسیاری از محققین مانند دودک و همکاران (Dudek et al., 1974)، و چن و می (Chen and Mey, 1987) به علل و اثرات خطاهای حسگرهای القایی حلقه‌ای پرداخته‌اند. بررسی خطاهای داده حسگرهای القایی حلقه‌ای در سطح میکروسکوپی معمولاً نیاز به برنامه ریزی مجدد یا اصلاح دستگاه حسگر دارد و به نوع حسگرهای القایی حلقه‌ای بستگی دارد (Coifman, 1999). با این حال، رویکردهای ماکروسکوپی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند زیرا آنها مستقل از نوع حسگر هستند و در سطح پردازش داده‌ها انجام می‌شوند (Peeta and Anastassopoulos, 2002). به دست آوردن شمارش احجام گردشی از حسگرها در خطوط مشترک یک چالش بزرگ است، بنابراین حسگرهای متعدد اغلب برای ردیابی گردش‌ها مورد نیاز است (Sunkari et al., 2012). حلقه‌ها باید در مکان‌های مناسب در نوار توقف و پایین دست تقاطع قرار گیرند. علاوه بر این، بر اساس الگوهای جریان ترافیک شبکه، تخمین‌های گردش برخی از تقاطع‌ها می‌تواند تقریبی برای تقاطع‌های مجاور ارائه کند (Yi et al., 2010). چندین تحقیق فن‌آوری‌های شمارش جدید را که می‌توانند جایگزین حسگرهای القایی حلقه‌ای شوند بررسی کرده‌اند. نتایج به وضوح نشان‌دهنده جایگزین‌های امیدوارکننده برای حلقه‌ها است، اما محدودیت‌های هر نوع باید درک شود (Gheorghiu et al., 2021; Zhuang et al., 2020; Liu et al., 2019; Jain et al., 2019; Kulkarni and Baligar, 2021; Ghosh, 2019; Harikrishnan et al., 2020). تا جایی که ما می‌دانیم، بیشتر تحقیقات در این زمینه بر روی مقایسه حجم حسگر با شمارش دستی برای تعیین دقت حسگرها و یافتن علت خطاها متمرکز شده است. در نتیجه، معمولاً پیشنهاد می‌شود که حلقه یا نحوه سیم‌کشی را تغییر دهند که معمولاً بسیار پرهزینه است. در این تحقیق، هدف استفاده از دستگاه‌های کنترل چراغ موجود برای به دست آوردن داده‌ها می‌باشد. با این حال، حسگرهای القایی حلقه‌ای معمولاً برای به دست آوردن احجام گردشی قابل اعتماد نیستند. بخش بعدی توضیح می‌دهد که چرا شمارش حسگرهای القایی حلقه‌ای بدون اصلاحات مفید نیست.

است. از آنجایی که شمارش حسگرها قابل اعتماد نیست، روشی برای بهبود دقت این شمارش‌ها پیشنهاد شده است. هدف از این روش افزایش دقت شمارش حسگرهای القایی حلقه‌ای با استفاده از سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی و برنامه‌نویسی ژنتیک است. این روش‌ها نیازی به تجزیه و تحلیل ریزنگر ندارند و به راحتی قابل استفاده هستند. یکی از چالش‌های اصلی بدست آوردن شمارش احجام گردشی از حسگرها، وجود خطوط مشترک است. در این مورد، حسگرهای اضافی برای ردیابی گردش‌ها مورد نیاز است. حلقه‌ها باید در مکان‌های مناسب در نوار توقف و پایین دست تقاطع قرار گیرند.

## ۲- پیشینه تحقیق

اگرچه فن‌آوری‌های دیگری وجود دارد، اما امروزه بیشتر تشخیص وسایل نقلیه به حسگرهای القایی حلقه‌ای متکی است. برخی از محققان خطاهای حسگرهای القایی حلقه‌ای آزادراه را بررسی کرده‌اند (Gheorghiu et al., 2021; Liao, 2021; Jain et al., 2019; Roger et al., 2021; Nihan, 1997; Rajagopal and Varaiya, 2007; May et al., 2005; Chen et al., 2007). با این حال، با توجه به اهمیت سرعت و نحوه پیشروی وسایل نقلیه بر روی حلقه‌ها، حسگرهای القایی حلقه‌ای آزادراه دارای ویژگی‌ها و دقت متفاوتی نسبت به حلقه‌های تقاطع هستند. تلاش‌هایی در رابطه با استفاده از حسگرهای ترافیک برای جمع‌آوری سیستماتیک داده‌های حجمی گزارش شده است. تورنتو (Marian, 1993) و سن آنتونیو (Turner et al., 1999) بر اساس اطلاعات دریافتی در مراکز مدیریت ترافیک خود از شبکه حسگرهای القایی حلقه‌ای خود، اطلاعات سفر در زمان واقعی یا ذخیره شده را در آزادراه‌ها و شریان‌های انتخابی ارائه کردند. موسسه مهندسی حمل و نقل (ITE) گزارش می‌دهد که چهار شهر، نشوا، ایالت نیوهمپشایر؛ فرمونت، ایالت کالیفرنیا؛ مینیاپولیس/سنت پل، ایالت مینه‌سوتا؛ و بلو، ایالت واشنگتن در حال جمع‌آوری احجام ترافیک با استفاده از سیستم‌های حسگرهای القایی حلقه‌ای خود هستند (ITE, 2007). بسیاری از شهرها از حسگرهای القایی حلقه‌ای استفاده می‌کنند، اما در بسیاری از موارد، شمارش این حسگرها دقیق نیست.

### ۳- دقت حسگرهای القایی حلقه‌ای برای به دست آوردن احجام

دو مطالعه بر روی حسگرهای القایی حلقه‌ای در تقاطع Sparks/Prater در رینو، ایالت نوادا و تقاطع Kietzke/Moana در اسپارکس، ایالت نوادا انجام شد. هم رینو و هم اسپارکس از حلقه‌های کوتاه متوالی استفاده می‌کنند. استفاده از حلقه‌های کوتاه متوالی برای شبیه‌سازی یک حلقه طولانی، روش معمول در بسیاری از شهرهای آمریکا است. مزایای این پیکربندی در درجه اول ناشی از خرابی‌های کمتر به دلیل طول کمتر حلقه است. بنابراین، آنها در برابر مشکلات ناشی از عبور از ترک‌ها و درزهای روسازی و عبور خودروهای خطوط مجاور کمتر آسیب پذیر هستند. حلقه‌ها در یک مدار سری به هم سیم‌کشی می‌شوند. این یک اتصال الکتریکی قوی تر را فراهم می‌کند و پیام‌های نادرست و از دست رفته را به حداقل می‌رساند. تحت چنین نصبی، هنگامی که یک وسیله نقلیه از هر یک از مناطق شناسایی عبور می‌کند، یک پیام ارسال می‌شود. اگر قرار باشد دو وسیله نقلیه به طور همزمان وارد شوند (یا دقیق تر، در حدود یک دهم تا یک هفتم ثانیه از یکدیگر)، حسگر نمی‌تواند بین پیام‌ها تفاوت قائل شود. این مساله توانایی شمارش دقیق وسایل نقلیه را پایین می‌آورد. حسگرها روی حالت حضور تنظیم شده‌اند. در نتیجه، تا زمانی که وسیله نقلیه در منطقه تشخیص قرار دارد رله فعال باقی می‌ماند. موضوع دیگری که می‌تواند عدم دقت را تشدید کند، در شرایط شلوغ در گردش‌های مجاز، زمانی که وسایل نقلیه به آرامی در انتظار فاصله خالی به جلو حرکت می‌کنند، مطرح می‌شود. شکل ۱ (الف) نمونه‌ای از داده‌های جمع‌آوری شده به روش دستی (شمارش پایه) و شمارش حسگر برای تقاطع Kietzke و Moana را نشان می‌دهد. محور افقی فواصل زمانی و محور عمودی حجم ۱۵ ثانیه بر وسائل نقلیه را نشان می‌دهد. شمارش حسگر ارتباط قوی با شمارش پایه نشان می‌دهد. تقریباً در همه رویکردها، حسگرها حجم کمتری را با نرخ یکسانی نشان می‌دهند. شکل ۱ (ب) نیز نمودارهای پراکندگی شمارش حسگر و شمارش دستی برای رویکردهای مختلف برای تقاطع Kietzke و Moana را نشان می‌دهد.

دقت شمارش حسگر با روابط زیر محاسبه شد.

$$MAPE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^{IN} \left| \frac{ILD_i - MV_i}{MV_i} \right|}{IN} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{IN} (ILD_i - MV_i)^2}{IN}} \quad (2)$$

MAPE: میانگین درصد خطای مطلق

RMSE: ریشه میانگین مربعات خطا

ILD<sub>i</sub>: مقدار احجام حسگر القایی حلقه‌ای i

MV<sub>i</sub>: مقدار احجام پایه (داده‌های برداشت دستی)

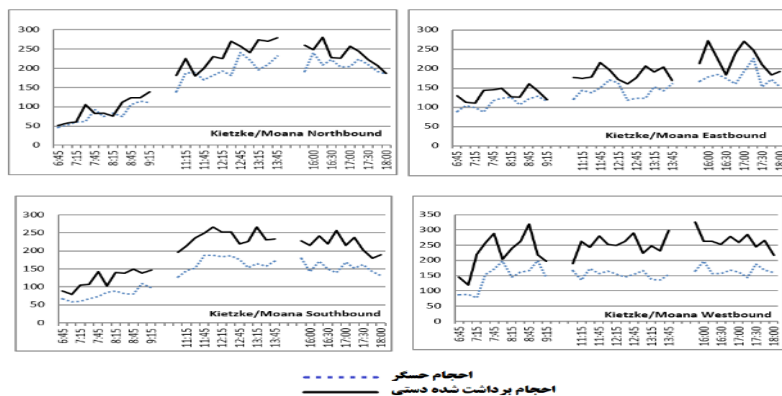
IN: تعداد کل بازه های زمانی برداشت

شکل ۲ دقت شمارش حسگرهای آزمایش شده در دو تقاطع را خلاصه می‌کند. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، شمارش‌ها دقیق نیستند. MAPE تا ۷۵ درصد و RMSE تا ۱۷۵ وسیله نقلیه در هر ۱۵ دقیقه است.

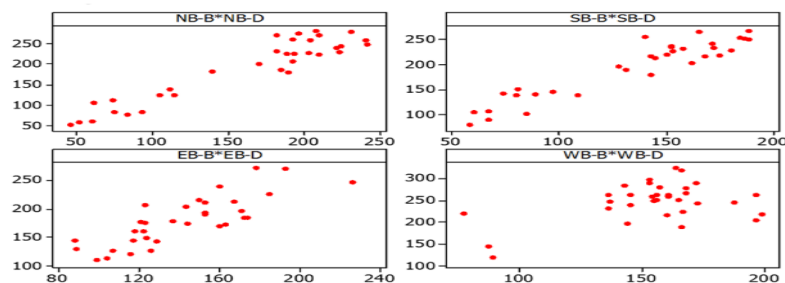
### ۴- افزایش دقت شمارش حسگرهای القایی حلقه‌ای

همانطور که در بخش قبل نشان داده شد، شمارش حسگرها با وضعیت فعلیشان دقیق نیستند. هدف از این بخش از مقاله ارائه راهکاری برای افزایش دقت شمارش حسگرهای القایی حلقه‌ای با استفاده از سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی و برنامه‌نویسی ژنتیک بر اساس حجم حسگر و اشغال است. روشی که در شکل ۳ خلاصه شده است برای تقاطع مطالعه موردی استفاده شد. با توجه به عدم قطعیت‌ها و روابط غیرخطی که بین متغیرها وجود دارد، توسعه یک مدل ریاضی که بتواند رابطه بین شمارش حسگر، تعداد مشاهده شده، اشغال و زمان را توضیح دهد چالش برانگیز است. ANFIS و برنامه‌نویسی ژنتیک برای مسائلی که در آن توسعه مدل‌های تحلیلی مشکل است نتایج خوبی داشته‌اند (Teodorovic and Vukadinovic, 1998; Negnevitsky, 2004).

فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل، سال بیست و یکم، دوره سوم، شماره ۸۰، پاییز ۱۴۰۳

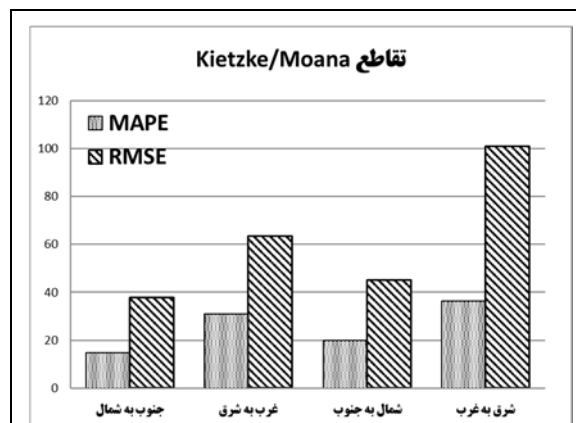
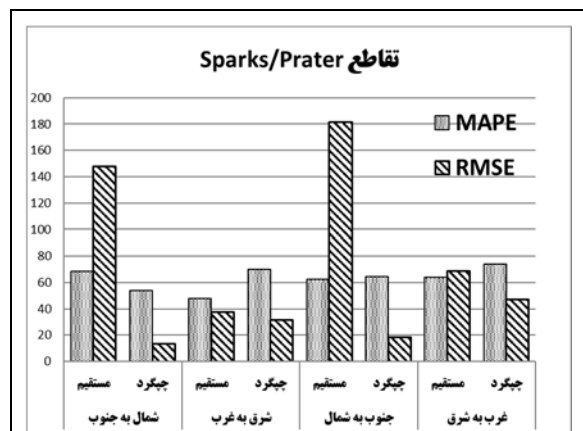


(الف)



(ب)

شکل ۱. الف) احجام حسگرها و برداشت های دستی. ب) نمودار پراکنندگی بین احجام حسگر و برداشت های دستی

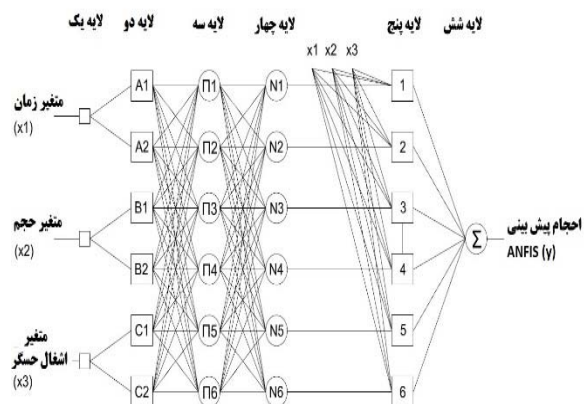


شکل ۲. MAPE و RMSE تقاطع های مورد مطالعه

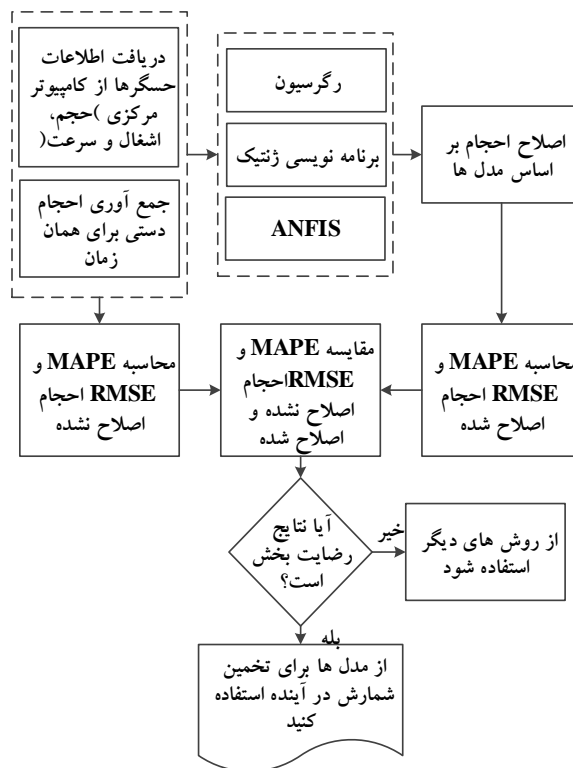
نقشه برداری از یک ورودی داده شده به یک خروجی با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی تعریف کرد و ANN یک شبکه عصبی مصنوعی متشکل از تعدادی پردازنده بسیار ساده و بسیار به هم پیوسته است (نورون‌ها). نورون‌ها توسط لینک‌های وزن دار به هم متصل می‌شوند و باعث می‌شوند سیگنال‌ها از یک نورون به نورون دیگر منتقل شوند. ANN وزن‌ها را تنظیم می‌کند تا رفتار ورودی/خروجی شبکه را با داده‌های آموزشی مطابقت دهد. ANFIS قادر به یادگیری این الگوهای شمارش و کاهش خطاهای تجمعی است. دو سیستم استنتاج فازی معروف وجود دارد: استنتاج به سبک مدانی و استنتاج به سبک سوچنو. مدل فازی سوچنو برای یک رویکرد سیستماتیک برای تولید قوانین فازی از یک مجموعه داده ورودی-خروجی معین استفاده می‌شود. یک قانون فازی سوچنو معمولی را می‌توان به شکل زیر بیان کرد:

اگر «میزان حجم حسگر» متوسط است  
و «زمان تشخیص» ساعت اوج است  
پس «حجم مشاهده شده» زیاد است

ANFIS اتخاذ شده در این بخش توسط یک شبکه عصبی پیش‌خور شش لایه نشان داده شده است. شکل ۴ معماری ANFIS را نشان می‌دهد که با مدل فازی مرتبه اول سوچنو مطابقت دارد.



شکل ۴. ساختار ANFIS برای اصلاح شمارش حسگرهای



شکل ۳. روش اصلاح شمارش حسگرهای القایی حلقه‌ای

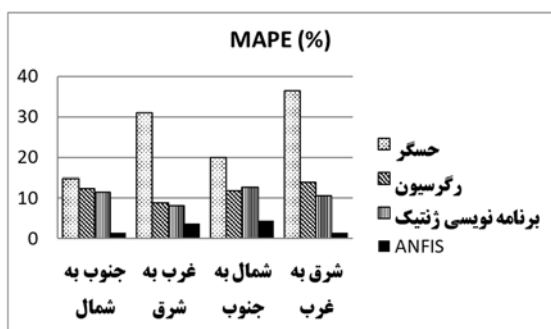
برنامه‌نویسی ژنتیک توسط جان کوزا در دهه ۱۹۹۰ معرفی شد. برنامه‌نویسی ژنتیک همان رویکرد تکاملی الگوریتم‌های ژنتیک را اعمال می‌کند. برنامه‌نویسی ژنتیک یک برنامه کامپیوتری است که از روی داده‌ها رابطه‌ی بین داده‌ها را می‌سازد. در ساخت مدل با استفاده از روش‌های مرسوم مانند رگرسیون، کاربر باید ساختار مدل را تعریف کند. تشخیص ساختار مدل برای داده‌های غیرخطی و پیچیده و مخصوصاً زمانی که بیش از یک متغیر وجود داشته باشد چالش برانگیز است. در برنامه‌نویسی ژنتیک کاربر نیازی به دانستن ساختار داده‌ها و فرآیند تکاملی ندارد زیرا برنامه‌نویسی ژنتیک این کار را انجام می‌دهد. حل یک مسئله توسط برنامه‌نویسی ژنتیک شامل تعیین مجموعه متغیرها، انتخاب مجموعه‌ای از توابع، و تعریف یک تابع تناسب برای ارزیابی عملکرد برنامه‌های کامپیوتری ایجاد شده است. سیستم استنتاج فازی و شبکه‌های عصبی مصنوعی را ترکیب می‌کند. در آن از FIS برای مدل‌سازی رابطه بین متغیرهای غیرخطی و ANN برای بهینه‌سازی پارامترهای تابع عضویت ورودی و خروجی استفاده می‌شود. FIS را می‌توان به عنوان یک فرآیند

### القایی حلقه‌ای

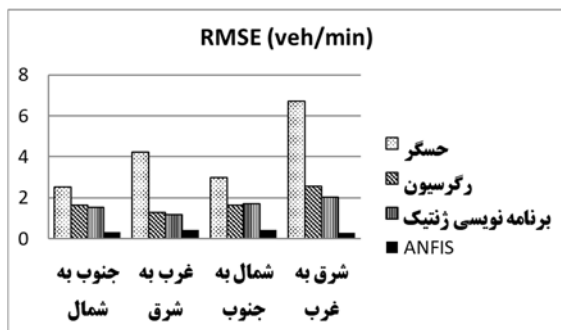
(الف)



(ب)



(ج)



شکل ۴. (الف) احجام حسگر، احجام مشاهده شده و احجام مدل‌ها در رویکرد جنوب به شمال. (ب) MAPE حسگرها و مدل‌ها. (ج) RMSE حسگرها و مدل‌ها

برای شناسایی ارتباط احتمالی بین احجام حسگر و احجام مشاهده شده (شمارش شده بصورت دستی)، ANFIS و برنامه‌نویسی ژنتیک برای احجام تقاطع Kietzke/Moana در رینو، ایالت نوادا انجام شد.

برای مقایسه بهتر نتایج، مدل‌های رگرسیون نیز توسعه داده شد. شکل ۵ نتایج رگرسیون، برنامه‌نویسی ژنتیک و ANFIS را با احجام دستی و احجام حسگر مقایسه می‌کند. قبل از اصلاح داده‌ها، خطاهای حسگر در رویکردهای غرب به شرق و به شرق به غرب بیش از ۳۰ درصد و در رویکردهای جنوب به شمال و شمال به جنوب به ترتیب ۱۵ درصد و ۲۰ درصد بود.

پس از اصلاح داده‌ها، همه رویکردها دارای MAPE کمتر از ۱۲ درصد با همه روش‌ها بودند. در حالی که برنامه‌نویسی ژنتیک نتایج کمی بهتر در مقایسه با رگرسیون تولید کرد، دقت ANFIS در بین روش‌های انتخاب‌شده به طور قابل توجهی بالاتر بود.

### ۵- نسبت احجام گردشی در خطوط مشترک

از آنجائیکه حسگرها نمی‌توانند احجام گردشی را در خطوط مشترک تشخیص دهند، سه روش پیشنهادی در این بخش برای تخمین احجام گردشی در خطوط مشترک پیشنهاد شده است. این روش‌ها بر اساس حسگرهای نوار توقف کار می‌کنند و عبارتند از: (۱) تعادل شبکه که از شمارش احجام بالادست و پایین دست در تقاطعات دیگر استفاده می‌کند، (۲) حجم و طول صف (VQ) خطوط مشترک در مقایسه با خطوط مجاور، و (۳) ویژگی‌های جریان (FC) خطوط مشترک. این روش‌ها را می‌توان با هم در یک شبکه برای به دست آوردن نتایج بهتر مورد استفاده قرار داد. با این حال، به دست آوردن نسبت‌هایی که در تقاطعات مشاهده شده است، روشی جایگزین در تقاطعاتی است که امکان استفاده از این روش‌ها وجود ندارد.

### ۱-۵- تعادل شبکه

بر اساس تعادل احجام، اگر معادلات کافی برای هر حرکت مجهول وجود داشته باشد، می‌توان احجام خطوط مشترک را تخمین زد. به عنوان مثال، شکل ۶ (الف) یک شبکه ساده را نشان می‌دهد که در آن دو تقاطع وجود دارد. برای محاسبه حجم مستقیم غرب به شرق در تقاطع  $i$  از معادله زیر استفاده می‌شود.

$$WT_i^{TI} = WR_j^{TI+TT} + WT_j^{TI+TT} + WL_j^{TI+TT} - NL_i^{TI} - SR_i^{TI} - TG_{ij}^{TI} \quad (۳)$$

ز: اندیس پایین، شماره تقاطع

TI: اندیس بالا، فاصله زمانی مطالعه مثلاً فاصله های ۱۵ دقیقه ای (دقیقه)

TT: اندیس بالا، زمان سفر بین تقاطع  $i$  و  $j$  (دقیقه)

WT: حجم مستقیم شرق به غرب (خودرو بر TI)

WR: حجم راستگرد شرق به غرب (خودرو بر TI)

WL: حجم چپگرد شرق به غرب (خودرو بر TI)

NL: حجم چپگرد جنوب به شمال (خودرو بر TI)

SR: حجم راستگرد شمال به جنوب (خودرو بر TI)

$TG_{ij}^{TI}$ : سفرهای ایجاد شده بین تقاطع  $i$  و  $j$  در بازه زمانی TI

اگر فاصله بین دو تقاطع کوتاه باشد یا در بازه های زمانی مختلف نوسانات حجمی قابل توجهی وجود نداشته باشد،  $TT$  را می‌توان صفر فرض کرد. همچنین  $TG_{ij}^{TI}$  را می‌توان صفر در نظر گرفت اگر تولید سفر قابل توجهی بین تقاطع  $i$  و  $j$  وجود نداشته باشد. مزیت این روش این است که داده‌های ریزنگر (یعنی داده های خودرو به خودرو به همراه زمان دقیق عبور از روی حسگر) و اطلاعات چراغ ترافیک مورد نیاز نیست. برای محاسبات دقیق می‌توان از شمارش‌های تجمیع شده پانزده دقیقه ای استفاده کرد.

### ۲-۵- حجم و طول صف خطوط مشترک

مواردی وجود دارد که یک خط مشترک دارای خطوط مجاور با حرکات مشابه است. برای این شرایط، احتمال اینکه وسایل نقلیه ای که دو یا چند گزینه دارند (با استفاده از خط مشترک یا خط(های) مجاور) از خط مشترک استفاده کنند، زمانی که طول صف در خط مشترک بیشتر از خط (های) مجاور است، بسیار کم است. این احتمال به عادات راننده‌ها، پیکربندی تقاطع بالادست و پایین دست و فاصله تا تقاطع بستگی دارد. شکل ۶ (ب) تقاطع خیابان هشتم و خیابان Center در رینو، ایالت نوادا را نشان می‌دهد. در مسیر شرق به غرب، دو خط انحصاری مستقیم و یک خط مشترک مستقیم با گردش به راست وجود دارد. مشاهدات نشان می‌دهد که وقتی چندین وسیله نقلیه در خط مشترک وجود دارد در حالی که دو خط دیگر ترافیک کمتری را تجربه می‌کنند، احتمالاً اکثر وسایل نقلیه در خط مشترک به راست خواهند پیچید. ممکن است بین نسبت حجم خطوط مشترک به حجم خطوط مجاور و نسبت راستگرد به مستقیم در خطوط مشترک ارتباط وجود داشته باشد. معادلات زیر این ارتباط را نشان می‌دهد:

$$SA^t = \frac{SV^t}{AV^t} \quad (۴)$$

$$STTV^t = \frac{LRV^t}{TV^t} \quad (۵)$$

$$STTV^t = f(SA^t) \quad (۶)$$

$SA^t$ : نسبت حجم خط مشترک به حجم خطوط مجاور با جهت یکسان در بازه زمانی TI

$STTV^t$ : نسبت راستگرد (یا چپگرد) در فاصله زمانی TI به حجم مستقیم در خط مشترک

$SV^t$ : حجم کل در خط مشترک در بازه زمانی TI

$AV^t$ : حجم کل در خط(های) مجاور در بازه زمانی TI

$LRV^t$ : کل راستگرد (یا چپگرد) در خط مشترک در بازه زمانی TI

$TV^t$ : کل حجم مستقیم در خط مشترک در بازه زمانی TI

نیست. مانند روش قبل، این روش نیز داده‌های ریزنگر حسگر با و اطلاعات زمان بندی چراغ را نیاز ندارد. با این حال، فواصل زمانی کوتاهتر (به عنوان مثال، یک دقیقه)، نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. معمولاً در صورتی می‌توان از این روش استفاده کرد که تقاطع پایین دست به تقاطع مطالعاتی نزدیک نباشد، زیرا برخی از وسایل نقلیه به دلیل حرکت گردشی در تقاطع بعدی، از خطوط تراکم بیشتر استفاده می‌کنند.

### ۵-۳- ویژگی‌های جریان خطوط مشترک

اگر داده‌هایی ریزنگر از حسگرهای نوار توقف و داده‌های چراغ ترافیکی وجود داشته باشد، می‌توان یک مدل تخمینی بر اساس نحوه حرکت خودروها در خطوط مشترک ایجاد کرد. نحوه حرکت خودروهای گردشی‌ها را می‌توان به سرفاصله، موقعیت وسیله نقلیه در صف و نوع وسیله نقلیه مرتبط کرد. همچنین، هندسه تقاطع می‌تواند روی سرفاصله در حرکات گردشی تأثیر بگذارد. در اینجا، هندسه را می‌توان به عنوان شعاع گردش خلاصه کرد. شعاع گردش به این پارامترها بستگی دارد: راستگرد یا چپگرد بودن خط مشترک، تعداد خطوط قابل دسترس برای گردش خودروها، عرض هر خط، زاویه گردش و تعداد خطوط. شکل ۶ (ج) این مساله را نشان می‌دهد. بنابراین داریم:

$$P(TV_i) = f(H_i, CH_i, VP_i, VT_i, FVT_i) \quad (7)$$

$P(TV_i)$ : احتمال گردش وسیله نقلیه به راست (یا چپ)  
 $H_i$ : سرفاصله، تفاوت زمانی خودرو  $i$  با وسیله نقلیه جلویی آن هنگام عبور از نوار توقف (ثانیه)

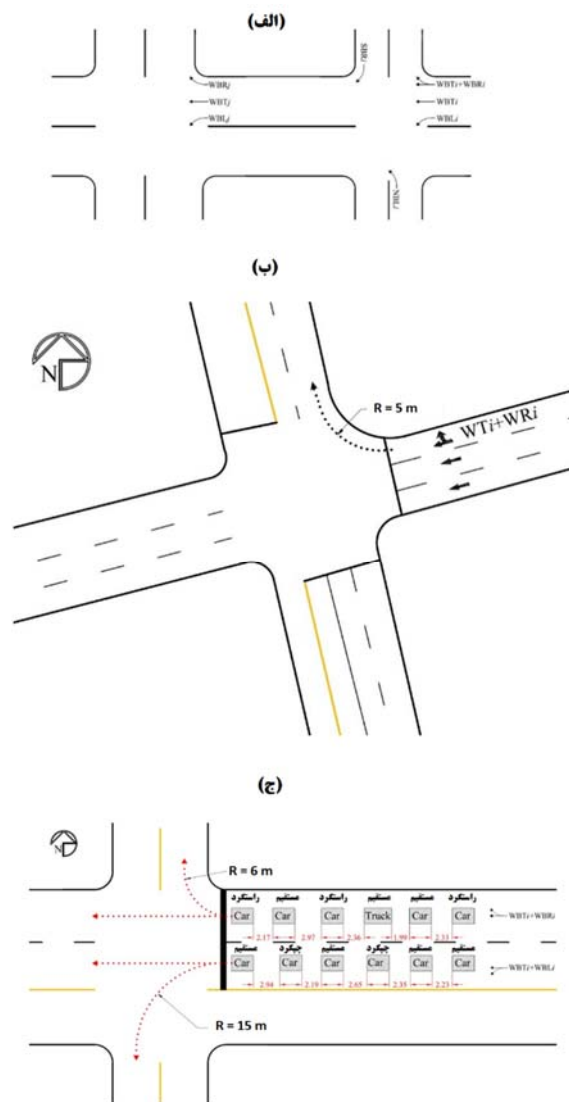
$CH_i$ : جمع سرفاصله خودرو  $i$  با سرفاصله خودروی قبلی (ثانیه)

$VP_i$ : موقعیت خودروی  $i$  صف خودروها

$VT_i$ : نوع خودرو  $i$

$FVT_i$ : نوع خودروی جلویی خودروی  $i$

در این روش زمانی که شعاع گردش زیاد باشد، تفاوت بین سربالایی خودروهای عبوری و گردشی قابل توجه نیست. بنابراین، اولین قدم بررسی کاربرد این روش برای یک تقاطع بر اساس شعاع گردش است. به عبارت دیگر، برای استفاده از این

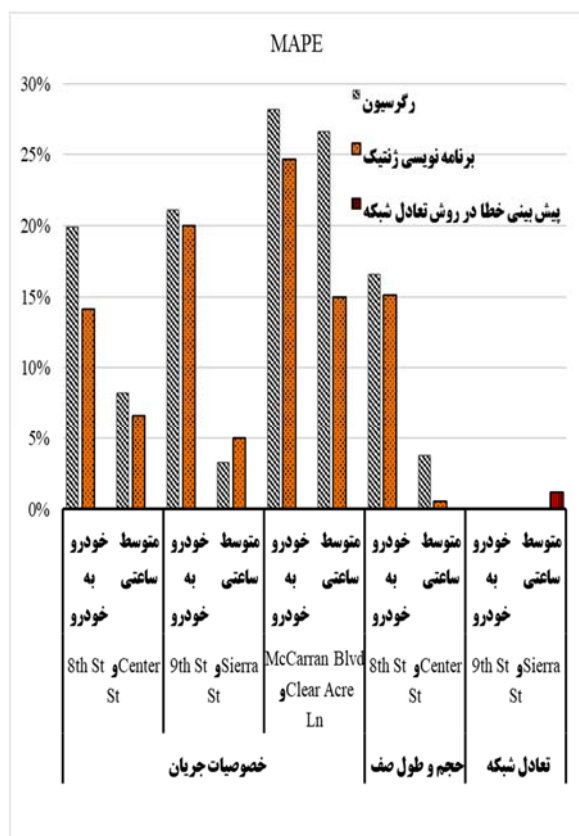


شکل ۶. (الف) یک شبکه فرضی با دو تقاطع برای روش NE. (ب) تقاطع خیابان هشتم و خیابان Center، رینو ایالت نوادا برای روش VQ. (ج) پیشروی در خطوط مشترک برای روش FC

پس از ایجاد معادله ۶ برای هر خط مشترک، ممکن است بتوان احجام گردشی را تخمین زد. توجه داشته باشید که این روش فقط برای خطوط مشترکی قابل اجرا است که حداقل یک خط مجاور با حرکت مشابه دارند. علاوه بر این، برخی از خطوط مشترک به اندازه کافی عریض هستند که وسایل نقلیه به سمت راست می‌توانند از وسایل نقلیه متوقف شده عبور کنند تا بچرخند. بنابراین در این خطوط مشترک، این روش قابل استفاده

گردش شروع به افزایش کرد، قابلیت اطمینان مدل‌ها کاهش یافت. با این حال، شعاع گردش بالاتر معمولاً به این معنی است که خطوط مشترک با یک خیابان اصلی قطع شده است. در این موارد، تقاطع‌های پایین دست خطوط مشترک معمولاً چراغ‌دار هستند. بنابراین، استفاده از روش NE با دقت بالا امکان پذیر است.

در همه موارد، مدل‌های برنامه‌نویسی ژنتیک دقیق‌تر از رگرسیون بودند، به جز میانگین ساعتی روش FC در تقاطع خیابان نهم و خیابان Sierra که MAPE محاسبه شده برای مدل برنامه‌نویسی ژنتیک دو درصد بیشتر از روش رگرسیون بود. در موارد دیگر، MAPE برنامه‌نویسی ژنتیک تا ۷ درصد کمتر بود. به جز زمانی که شعاع گردش در روش FC زیاد بود، میانگین ساعتی MAPE نشان داد که روش‌ها احجام گردشی دقیقی تولید می‌کنند. در تمام روش‌ها، دقت میانگین ساعتی در تقاطع‌های مطالعه موردی با استفاده از برنامه‌نویسی ژنتیک بیشتر از ۸۵ درصد بود.



شکل ۷. MAPE روش‌های استفاده شده در برآورد احجام خطوط مشترک

روش، باید بین حرکت گردشی و پیشروی ارتباط وجود داشته باشد.

#### ۵-۴- مدل سازی

روش NE نیاز به محاسبه مستقیم دارد و نیازی به مدل‌های پیش‌بینی ندارد. برای روش‌های VQ و FC، رگرسیون خطی در  $R^2$  انجام شد. VQ به عنوان یک متغیر پیوسته و FC به عنوان گسسته مدل شد.  $R^2$  توانست مدل‌هایی را برای متغیرهای پیوسته و گسسته ایجاد کند. برنامه‌نویسی ژنتیک نیز برای مدل سازی استفاده شد. برنامه‌نویسی ژنتیک یک روش مبتنی بر الگوریتم تکاملی است که می‌تواند مدلی را بر اساس مجموعه‌ای از داده‌ها ایجاد کند. برنامه‌نویسی ژنتیک به طور کلی توانست مدل دقیق‌تری را در مقایسه با سایر روش‌های مرسوم بیابد. مزیت اصلی برنامه‌نویسی ژنتیک در مقایسه با روش‌های رگرسیون سنتی، این است که هم پارامترها و هم بهترین ساختار مدل برای مجموعه داده‌ها را پیدا می‌کند. یکی دیگر از مزایای برنامه‌نویسی ژنتیک توانایی آن در یافتن مدل‌های نسبتاً مناسب برای مجموعه داده‌های پیچیده است. در این بخش از GPTIPS برای تولید مدل‌ها استفاده شده است. GPTIPS یک ابزار برنامه‌نویسی ژنتیک برای استفاده با MATLAB™ است. این بسته کاربران را قادر می‌سازد تا روابط پنهان و غیرخطی را در مجموعه داده‌ها شناسایی کنند و بطور خودکار معادلات غیرخطی خلاصه و دقیقی را برای پیش‌بینی رفتار سیستم‌های فیزیکی ایجاد می‌کند (Gandomi and Alavi, 2011; Searson et al., 2010).

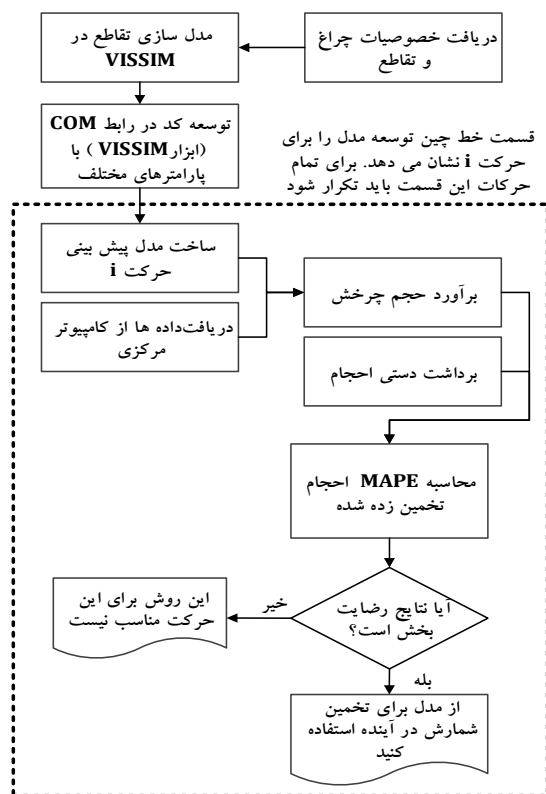
شکل ۷ مقادیر MAPE روش‌های مختلف را برای تقاطع‌های مطالعه موردی خلاصه می‌کند. MAPE برای خودروها بصورت تکی و میانگین ساعتی محاسبه شد. به جز روش NE، که در آن محاسبه MAPE برای خودروها بصورت تکی نمی‌تواند اعمال شود، میانگین ساعتی MAPE برای همه روش‌ها با مدل‌سازی برنامه‌نویسی ژنتیک کمتر از ۷ درصد است به جز در تقاطع McCarran Blvd/Clear Acre Ln به دلیل شعاع گردش زیاد (۳۰،۵ متر). در این تقاطع، مدل‌ها معناداری پایینی برای سرفاصله خودروهای مستقیم و گردشی نشان دادند و در نتیجه خطاها بیشتر از دو تقاطع دیگر بود. در روش FC، زمانی که شعاع

## ۶- برآورد احجام گردشی از اطلاعات چراغ

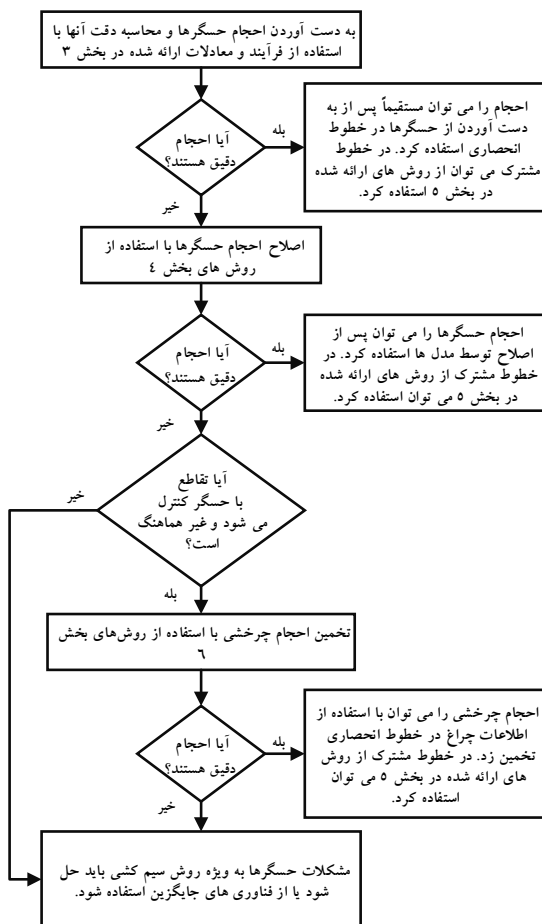
هدف از این بخش ارائه یک روش ساده برای به دست آوردن احجام گردشی از اطلاعات چراغ های ترافیکی غیر هماهنگ بدون استفاده از داده های حسگرهای القایی حلقه ای است. می توان از این روش زمانی استفاده کرد که روش های پیشنهادی در بخش ۳ و ۴ نتوانند احجام گردشی را برآورد کنند. برای تولید داده های مورد نیاز، شبیه سازی در VISSIM با حجم های ورودی مختلف انجام شد. برای تغییر احجام گردشی، یک کد در رابط COM ایجاد شد. با استفاده از این کد، ورودی ها به صورت دستی تغییر نمی کردند. علاوه بر این، کد COM خروجی ها را ذخیره می کرد. سپس داده ها به یک فایل اکسل صادر شد. پس از آن، رگرسیون و سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی برای ساخت مدل هایی برای به دست آوردن احجام گردشی استفاده شد. این روش در شکل ۸ نشان داده شده است.

شکل ۹ (الف) دقت اعمال روش پیشنهادی را در تقاطع خیابان دوم شرقی و خیابان Kirman در رینو، ایالت نوادا نشان می دهد. این نمودار میانگین درصد مطلق خطای رگرسیون و ANFIS را برای مجموعه داده های آموزشی و آزمایشی در شرایط مختلف نشان می دهد. داده های آموزشی مجموعه داده ای بود که از آن مدل ها توسعه داده شد و داده های آزمون برای اعتبارسنجی مدل ها استفاده شد. خط چین نتایج رگرسیون را و خط پررنگ نتایج ANFIS را نشان می دهد. تقریباً در همه شرایط، ANFIS نتایج بهتری به همراه داشت. دو شرایط حدی در خیابان های اصلی در ساعات کم حجم وجود داشت. در حالی که رگرسیون به ترتیب ۵۳٫۸ و ۵۵٫۷ درصد MAPE را برای مجموعه داده های آموزشی و آزمایشی تولید کرد، MAPE های ANFIS ۷٫۶ و ۷٫۴ درصد بود. این نشان داد که با وجود مجموعه های آموزشی کافی، ANFIS قادر به یادگیری الگوهای پنهان داده ها بوده و مدل های بسیار بهتری را در مقایسه با رگرسیون تولید می کند. همانطور که انتظار می رفت، در ساعات اوج، خطاها کمتر از سایر ساعات بوده و به کمتر از ۱۵ درصد کاهش یافته است. شکل ۹ (ب) شامل نمودارهای مشابه برای تقاطع McCarren و N. Virginia St. در رینو، ایالت نوادا است. در اینجا مدل هایی برای هشت فاز ساخته شد. فواصل زمانی به ساعات شب، ساعات غیر اوج و اوج

طبقه بندی شدند. از آنجایی که هر دو خیابان خیابان های اصلی هستند، در ساعات شب خطاها بسیار زیاد بود. این به این دلیل بود که زمان سبز بر اساس حجم نبود. اما با افزایش احجام در ساعات غیر اوج و اوج، دقت مدل ها نیز افزایش یافت. MAPE های ANFIS برای فاز ۱ تا ۸ در ساعات اوج عبارت بودند از: ۱۰، ۱۹، ۹، ۲۰، ۷، ۲۲، ۸ و ۲۵ درصد. بنابراین، فازهای ۱، ۳، ۵ و ۷ دارای خطای کمتر از ۱۰ درصد و فازهای ۲، ۴، ۶ و ۸ دارای خطای نزدیک به ۲۰ درصد بودند. این نشان می دهد که خطای تمام چپگردها تقریباً نصف خطای مستقیم ها است. دلیل این امر این واقعیت بود که زمان های سبز چپگرد بر اساس سرفاصله ی زیاد خاتمه می یابد. یعنی ارتباط بالایی با حجم نشان می دهد. ANFIS نسبت به رگرسیون بیش از ۲۵ درصد دقت بالاتری را می دهد. بهبود ANFIS در طول شب و ساعات غیر اوج بیشتر بود. دلیل آن هم این بود که در این ساعات بی نظمی در مجموعه داده ها بیشتر بود و ANFIS توانست آنها را یاد بگیرد و در نظر بگیرد.



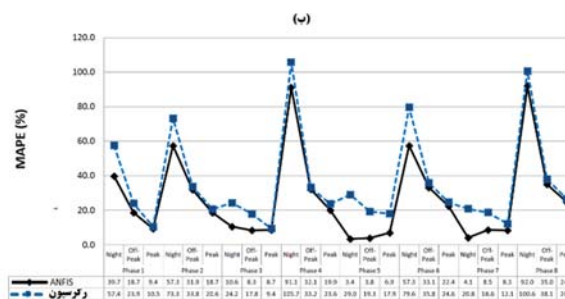
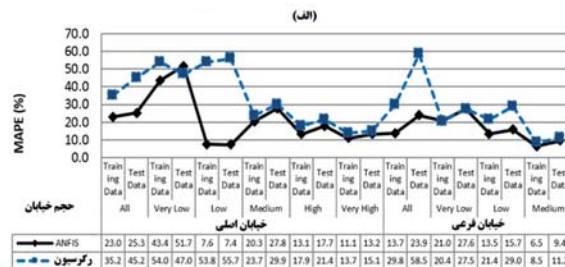
شکل ۸. روش شناسی برآورد احجام گردشی تقاطع از اطلاعات چراغ



شکل ۱۰. فرآیند استفاده از روش های پیشنهادی

## ۸-مراجع

- Chen, C., Kwon, J., Rice, J., Skabardonis, A., & Varaiya, P., (2003). Detecting errors and imputing missing data for single-loop surveillance systems. *Transportation Research Record*, 1855(1), 160-167.
- Chen, L., & May, A. D., (1987). Traffic detector errors and diagnostics. *Transportation Research Record*, 1132, 82-93.
- Coifman, B., (1999). Using dual loop speed traps to identify detector errors. *Transportation Research Record*, 1683(1), 47-58.
- Dudek, C. L., Messer, C. J., & Dutt, A. K., (1974). Study of detector reliability for a motorist information system on the gulf freeway. *Transportation Research Record*, 495, 35-43.



شکل ۹. الف) تقاطع خیابان دوم شرقی و خیابان Kirman، رینو، ایالت نوادا. ب) تقاطع McCarren و N. Virginia St، رینو، ایالت نوادا

## ۷- نتیجه گیری

حسگرهای القایی حلقه‌ای رایج‌ترین نوع حسگرهایی هستند که برای به دست آوردن داده‌ها در تقاطع‌ها استفاده می‌شوند. علی‌رغم مزایای بسیار، آن‌ها دارای معایبی هستند، از جمله این مسئله که معمولاً برای نظارت دقیق یک مکان به چندین حسگر نیاز است. رویه فعلی در بسیاری از شهرها نصب حسگرهای القایی حلقه‌ای در هر خط در پشت نوار توقف است. به دلایل مختلف معمولاً احجام شمارش شده بوسیله حسگرهای القایی حلقه‌ای غیرقابل اعتماد هستند. شکل ۱۰ نحوه استفاده از روش‌های ارائه شده در این تحقیق را نشان می‌دهد. ابتدا، بخش ۳ فرآیند و معادلات مورد نیاز را برای شناسایی و بررسی دقت حلقه‌های القایی موجود برای به دست آوردن احجام گردشی خودکار ارائه می‌کند. هنگامی که شمارش حسگر قابل اعتماد نیست، روش موجود در بخش ۴ می‌تواند برای اصلاح شمارش حسگرها استفاده شود. بخش ۵ سه روش را برای تخمین احجام گردشی در خطوط مشترک برمبنای فقط حسگرهای نوار توقف پیشنهاد می‌کند. بخش ۶ یک روش جایگزین را معرفی می‌کند که تلاش می‌کند احجام گردشی را فقط از اطلاعات چراغ بدون استفاده از اطلاعات حسگر بدست آورد.

- of BHL Detector System at CCIT, and Development of Portable Detector Diagnostic Tool. California PATH Research Report, UCB-ITS-PRR-2005-24.
- Negnevitsky, M. (2005). Artificial intelligence: a guide to intelligent systems. *Pearson Education*.
- Nihan, N. L. (1997). Aid to determining freeway metering rates and detecting loop errors. *Journal of Transportation Engineering*, 123(6), 454-458.
- Peeta, S., & Anastassopoulos, I., (2002). Automatic real-time detection and correction of erroneous detector data with fourier transforms for online traffic control architectures. *Transportation Research Record*, 1811(1), 1-11.
- Rajagopal, R., & Varaiya, P., (2007). Health of California's Loop Detector System: Final Report for PATH to 6300. Tech. rep., University of California, Berkeley.
- Röger, C., Kalinic, M., & Krisp, J. M., (2021). Extracting densely covered areas within floating car datasets using inductive loop detector data. *KN-Journal of Cartography and Geographic Information*. 71(2), 97-103.
- Searson, D.P., Leahy, D.E. & Willis, M.J. (2010). GPTIPS: an open source genetic programming toolbox for multigene symbolic regression. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2010 (IMECS 2010)*. Hong Kong, 17-19 March.
- Sunkari S., H. Charara, and P. Songchitruksa (2012). A Portable Toolbox to Monitor and Evaluate Signal Operations. *Transportation Research Board 2012 Annual Meeting*.
- Teodorovic, D., Vukadinovic, K., & Vukadinović, K. (1998). Traffic Control and Transport Planning. A Fuzzy Sets and Neural Networks Approach. Vol. 13. *Springer Science & Business Media*.
- Turner, S. M., Benz, R. J., Albert, L. P., Eisele, W. L., & Gajewski, B. J., (1999). ITS data archiving: Case study analyses of San Antonio TransGuide data (No. FHWA-PL-99-024). *Texas Transportation Institute*.
- Yi P., C. Shao, and J. Mao (2010). Development and Preliminary Testing of an Automatic Turning Movements Identification System. *Final Report, Transportation Consortium*. University of Akron.
- Zhuang, Y., Ke, R., & Wang, Y. (2020). Edge-based traffic flow data collection method using onboard monocular camera. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*. 146(9), 04020096.
- Gandomi, A. H., & Alavi, A. H., (2012). A new multi-gene genetic programming approach to non-linear system modeling. Part II: geotechnical and earthquake engineering problems. *Neural Computing and Applications*, 21(1), 189-201.
- Gheorghiu, R. A., Iordache, V., & Stan, V. A. (2021). Urban traffic detectors—comparison between inductive loop and magnetic sensors. In 2021 13th International Conference on Electronics. *Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*. IEEE.1-4.
- Ghosh, A., Sabuj, M. S., Sonet, H. H., Shatabda, S., & Farid, D. M., (2019). An adaptive video-based vehicle detection, classification, counting, and speed-measurement system for real-time traffic data collection. In 2019 IEEE Region 10 Symposium (TENSymp), IEEE. 541-546.
- Harikrishnan, P. M., Thomas, A., Gopi, V. P., Palanisamy, P., & Wahid, K. A., (2021). Inception single shot multi-box detector with affinity propagation clustering and their application in multi-class vehicle counting. *Applied Intelligence*, 51(7), 4714-4729.
- ITE. (2007). Using Existing Loops at Signalized Intersections for Traffic Counts.
- Jain, N. K., Saini, R. K., & Mittal, P. (2019). A review on traffic monitoring system techniques. *Soft Computing: Theories and Applications*, 569-577.
- Kulkarni, A. P., & Baligar, V. P., (2020). Real time vehicle detection, tracking and counting using Raspberry-Pi. In 2020 2nd International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA). IEEE. 603-607.
- Liao, C. F., (2021). Refining Inductive Loop Signature Technology for Statewide Vehicle Classification Counts.
- Liu, H., Ma, J., Xu, T., Yan, W., Ma, L., & Zhang, X., (2019). Vehicle detection and classification using distributed fiber optic acoustic sensing. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 69(2), 1363-1374.
- Marian, T. B., (1993). Development of a transportation data processing system for Metropolitan. In Proceedings of the IEEE-IEE Vehicle Navigation and Information Systems Conference. *Ottawa: IEEE-IEE*. 186-190.
- May, A., Cayford, R., Leiman, L., & Merritt, G. (2005). BHL Traffic Detector Analysis, Consolidation

# Automated Intersection Volume Counts Using Existing Signal Control Devices

*Ali Gholami, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Golestan University, Gorgan, Iran.*

*E-mail: ali.gholami32@gmail.com*

Received: June 2024- Accepted: September 2024

## **ABSTRACT**

The purpose of this paper was to identify and investigate the possibility of obtaining turning volumes from existing signal control devices and investigate their accuracy. A large majority of signalized intersections operate under inductive loops. A macroscopic study was performed on two intersections. The detector accuracy was interpreted in terms of Mean Absolute Percentage Error (MAPE) and Root Mean Squared Error (RMSE). Results showed that counts were not reliable. However, by using Genetic Programming (GP) and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS), detector counts were modified and again MAPE was calculated. The proposed method for modifying detector counts did not guarantee reliable counts in all situations. Therefore, an alternative method is proposed to obtain turning movement counts only from signal information without using detector counts. To produce the required data, a simulation was performed in VISSIM with different input volumes. Green time interval and volume during each phase was extracted from VISSIM output and models were made based on these variables. This method generates accurate counts for some cases. Even when detector counts could be modified, or turning movements could be estimated based on traffic signal information, turning movement counts could not be estimated in shared lanes. This paper also proposed three methods to estimate turning movement proportions in shared lanes.

**Keywords:** Turning Movement Volume, Loop Detector, Signal Information, ANFIS, Genetic Programming