# استفاده از منطق فازي در طراحي سامانه كنترل تقاطع هاي چراغدار

**یوسف شفاهی[*1] و شهاب الدین کرمانشاهی[2]**

[1]استادیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی شریف

[2]دانشجوی دکتری برنامه ریزی حمل و نقل دانشکده مهندسی عمران – دانشگاه صنعتی شریف

(تاریخ دریافت ۸۴/۱۲/۲۷ ، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۵/۹/۲۵ ، تاریخ تصویب ۸۵/۱۱/۲۱)

## چکیده

رشد جمعیت، توسعه کاربریها و بالا رفتن مالکیت وسایل نقلیه در شهرها، موجب افزایش روز افزون تقاضای سفر و حجم وسایل عبوری از معابر شهری شده است. امروزه مساله زمان سفر در شبکه معابر شهری به دلیل افزایش تراکم، یکی از مهمترین مسائل کلان شهر هاست. بخش قابل توجهی از زمان سفر در شبکه حمل و نقل شهر های بزرگ مربوط به زمان تاخیر در تقاطعات است. از این رو، مساله روشهای کنترل تقاطع ها، به منظور کاهش تاخیر از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است. استفاده از منطق فازی به عنوان مبنای کنترل در مسائل مهندسی، از سابقه مناسبی برخوردار است. در این مطالعه روشی برای کنترل تقاطع های چراغدار با استفاده از منطق فازی پیشنهاد و ارزیابی شده است. آزمایشهای گوناگون در محیط شبیه سازی ارائه شده نشان می دهد که برای حجم های مختلف اجرای این الگوریتم می‌تواند بهبود قابل توجهی را نسبت به الگوریتم کنترل از پیش زمانبندی شده و هوشمند القایی داشته باشد.

**واژه هاي كليدي**: کنترل فازی - تقاطع چراغدار - الگوریتم کنترل - شبیه سازی

## مقدمه

تقاضای حمل ونقل، یک تقاضای مشتق شده است. توسعه کاربریها و افزایش جمعیت در مناطق شهری، باعث بالا رفتن حجم این تقاضا در شهرهای بزرگ شده و ارتباط مهم بین کاربری زمین و حمل ونقل از یک سو و اثرات ناشی از حمل ونقل از سوی دیگر، باعث توجه بیشتر به مقوله مهندسی حمل ونقل شده است. زیر ساخت مناسب در بخش حمل ونقل گاهی بعنوان شرطی لازم برای رشد و توسعه اقتصادی جوامع معرفی می‌شود. در مقابل، اثرات جانبی سیستم های حمل ونقل مثل آلودگی های زیست محیطی و تصادفات نیز در دهه های اخیر در سطح جهانی، به عنوان چالش های اساسی در مساله توسعه پایدار مطرح شده اند.

بخش حمل ونقل شهری با توجه به اینکه مسائل آن مبتلابه شهرهای بزرگ و مهم در سطح جهان است، بطور سنتی مورد توجه خاص قرار گرفته است. مسائل اجتماعی و سیاسی مرتبط با حمل ونقل شهری، حساسیت مدیران و تصمیم گیران را برانگیخته است. بخش مهمی از تلاشهای دست اندر کاران بخش حمل ونقل شهری به استفاده از راهکارهایی برای بالا بردن کارایی شبکه در تامین دو هدف تحرک و دسترسی در شبکه اختصاص می یابد. باتوجه به این که بخش قابل توجهی از زمان سفر تلف شده مربوط به تاخیر در تقاطع های چراغدار است، بهبود روش های کنترل در این تقاطعها از اهمیت بالایی برخوردار است.

در این مطالعه به بررسی الگوریتمی جدید برای کنترل تقاطع چراغدار پرداخته شده است. با توجه به روند رو به رشد استفاده از منطق فازی در مسائل مهندسی، به خصوص در بخش کنترل و اثبات کارایی کنترل بر پایه منطق فازی اساس الگوریتم کنترل پیشنهادی بر مبنای منطق فازی بنا نهاده شده است. روش شبیه سازی برای تحلیل و ارزیابی کنترل کننده پیشنهادی انتخاب شده است. در این راستا برای مدل کردن کنترل کننده پیشنهادی جدید و مقایسه عملکرد آن با سایر کنترل کننده های مرسوم یک محیط شبیه سازی طراحی شده است.

## مروري بر كارهاي گذشته

مطالعات مربوط به استفاده از منطق فازی در مهندسی حمل و نقل، اولین بار در کنترل تقاطع چراغدار به وسیله ممدانی[۲] در سال ۱۹۷۷ انجام گرفت. در بازه زمانی نزدیک به ۱۵ سال مطالعه دیگری در زمینه کنترل فازی تقاطع های چراغدارگزارش نشده است. پرسولا و همکاران [۱] برخی کنترل کننده های فازی

* نویسنده مسئول : تلفن : ۶۶۱۶۴۲۴۶ – ۰۲۱ , فاکس : ۶۶۰۱۴۸۲۸ – ۰۲۱ , Email: shafahi@sharif.edu

Archive of SID

www.SID.ir

پیشنهاد شده تا سال ۲۰۰۰ را جمع آوری و مقایسه کرده اند. در این مطالعه در مجموع ۵ مدل مختلف پیشنهادی برای کنترل تقاطعات چراغدار از ۱۹۷۷ تا ۲۰۰۰ معرفی شده و ۲ تا از مدل ها به وسیله نرم افزار شبیه‌ساز ترافیکی HUTSIM مورد تحلیل قرار گرفته است. ۵ مدل معرفی شده توسط پرسولا **وهمکاران [۱]** عبارتند از: ۱- پاپیس و ممدانی [۲] ، ۲- کیم [۳] ، ۳- فاویلا و همکاران [۴]، ۴- ترابیا و همکاران [۵] ، ۵- نیتی‌ماکی و پرسولا [۶]. در همه این مدل ها برای ارزیابی کارایی الگوریتم کنترل از تحلیل شبیه سازی استفاده شده است.

مدل پاپیس و ممدانی [۲]، برای کنترل یک تقاطع ایزوله که از برخورد ۲ معبر یکطرفه تشکیل شده، توسعه یافته است. در این مدل فرض بر این است که توزیع رسیدن وسایل نقلیه به تقاطع یکنواخت است. چراغ به صورت ۲ فازه کنترل می‌شود و الگوریتم کنترل هر ۱۰ ثانیه در زمان سبز فعال می‌شود (شرایط رویکردی که چراغ آن قرمز است در تصمیم گیری بی تاثیر می باشد). اولین بار ۷ ثانیه پس از شروع زمان سبز، این سیستم فعال می‌شود (کمترین زمان سبز برابر ۷ ثانیه در نظر گرفته شده) و دفعات فعال شدن امتداد دهنده فاز سبز، حداکثر ۵ بار و هر بار به میزان ۱۰ ثانیه است. بنابراین مقدار بیشینه زمان سبز هر فاز در این مدل ۵۷ ثانیه است. اگر در هر یک از مراحل، میزان افزایش زمان سبز به عددی کمتر از ۱۰ ثانیه برسد، پس از پایان این زمان تغییر فاز صورت می‌پذیرد.

کیم [۳]، علاوه بر تقاطع ایزوله، دنبالهٔ تقاطعات هماهنگ شده را نیز مورد بررسی قرار داده است. کنترل‌کننده طراحی شده حداکثر می‌تواند تا ۴ فاز را پشتیبانی کند. تقاطع‌های مورد بررسی شامل ۲ خط اصلی و یک انباره برای حرکتهای گردش به چپ است. همانند مدل پاپیس و ممدانی[۲]، پس از گذشت زمان سبز حداقل، کنترل کننده حداکثر ۵ بار فعال می‌شود و میزان ادامه فاز در هر بار فعال شدن بین صفر تا ۱۰ ثانیه تغییر می‌کند. مقدار بیشینه زمان سبز نیز، به این ترتیب مشخص می شود.

در مدل فاویلا و همکاران [۴]، تقاطع ایزوله‌ای که از برخورد دو معبر شریانی تشکیل شده، مورد بررسی قرار گرفته است. هر یک از رویکردها ۲ یا ۳ خط عبوری دارند. یک توالی مشخص از فازها وجود دارد و در صورتیکه تقاضا برای عبور در یک فاز وجود نداشت، از این فاز صرفنظر می شود (پرش از فاز). زمان سبز مربوط به فاز فعال قابل افزایش بین ۰ تا ۱۰ ثانیه در هر بار فعال شدن کنترل است. این افزایش تا زمانی که دیگر نیازی به ادامه زمان سبز نباشد و یا زمان سبز به حداکثر خود برسد، ادامه می‌یابد. اطلاعات لازم برای کنترل توسط شناسگر ها فراهم می شود.

در مدل ترابیا و همکاران [۵]، یک تقاطع ۴ فازه، مورد بررسی قرار گرفته است. تقاطع منفرد مورد بررسی در این مطالعه، در هر رویکرد دارای ۲ خط عبوری برای حرکت مستقیم و ۱ خط برای گردش به چپ است. بر اساس شمارش حجمی که به وسیله حس‌گرها در بازه زمانی قبل از بازه فعلی انجام گرفته، عملکرد کنترل‌کننده در هر بار فعال شدن به ۲ بخش تقسیم می‌شود. بخش اول شامل بیان فازی حجم‌ها و صف‌ها در همه رویکردهای تقاطع(فازی کردن مقادیر کمی)، برای بیان شرایط تقاطع است. در بخش دوم با توجه به شرایط تقاطع که در بخش اول بدست آمد، میزان ادامه فاز فعلی یا قطع آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مدل حداقل زمان سبز ۸ ثانیه و حداکثر آن ۷۲ ثانیه در نظر گرفته شده است.

در مدل نیتی‌ماکی و پرسولا [۶]، ابتدا انتخاب کننده فازی، توالی فازها را مشخص می‌کند و ادامه دهنده فازی، میزان ادامه فاز سبز را مشخص می نماید. قسمت اول به وسیله شاخصی به نام ضریب ویژه فازی انجام می‌شود و تعیین می‌کند میزان نیاز به زمان سبز برای هر یک از فازهایی که در حالت فعلی قرمز هستند، چه مقدار است. آنگاه به تعیین زمان مناسب قطع فاز فعلی، توسط بخش ادامه دهنده فازی می پردازد. این مدل برای یک تقاطع ۲ فازه آزمایش شده است. حس‌گرها در این تقاطع در ۱۰۰ متری بالادست هر خط ایست قرار گرفته‌اند. حداقل زمان سبز ۵ ثانیه در نظر گرفته شده و فعال شدن این کنترل کننده در هر فاز حداکثر ۵ بار امکان‌پذیر است. اولین دفعه پس از پایان حداقل زمان سبز، ادامه دهنده فازی فعال می‌شود. فعال شدن بعدی به شرطی انجام می‌پذیرد که هیچ یک از شرایط قطع فاز فعلی اتفاق نیفتد. میزان ادامه زمان سبز در هرنوبت حد اکثر ۹ ثانیه است. بنابراین در این مدل حداکثر زمان سبز ۵۰ ثانیه است.

Archive of SID

www.SID.ir

عملکرد مدل های پاپیس و ممدانی[۲] و نیتی ماکی و پرسولا [۶]، توسط پرسولا و همکاران [۱] به وسیله تحلیل شبیه سازی مقایسه شده است. شرایط مختلف حجم‌های ورودی توسط آنها مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین عملکرد حالت کنترل القایی[1] (VAC) نیز با استفاده از نرم‌افزار HUTSIM با آنها مقایسه شده است. مدل‌های مدل کیم [۳]، فاویلا و همکاران [۴] و ترابیا و همکاران [۵] به دلیل مشکلات پیاده‌سازی منطق کنترل مربوطه در HUTSIM در مقایسه وارد نشده است.

تحلیل شبیه سازی در ۲ حالت صورت گرفته است. در حالت اول هر دو رویکرد دارای حجم‌های مساوی هستند که این حجم‌ها از ۱۰۰ تا ۱۱۰۰ وسیله معادل سواری تغییر کرده و در هر حجم، ۱۰ ساعت شبیه‌سازی انجام شده است. در حالت دوم یکی از معابر اصلی و دیگری فرعی فرض شده است. حجم معبر اصلی ۳ برابر حجم معبر فرعی و زمان شبیه‌سازی مانند حالت قبل، ۱۰ ساعت در نظر گرفته شده است. نتایج بدست آمده نشان دهنده عملکرد بهتر مدل پیشنهاد شده در مطالعات نیتی‌ماکی و پرسولا [۶] نسبت به مطالعه پاپیس و ممدانی [۲] است. در نهایت نتیجه گیری شده است الگوریتم‌های مبتنی بر منطق فازی بصورت بالقوه دارای توان کاهش تأخیر کل، در تقاطعات چراغدار هستند.

## کنترل تقاطع هاي چراغدار

برای کنترل تقاطع های چراغدار تا کنون الگوریتم های مختلفی ارائه شده است. این الگوریتم ها طیف گسترده ای از روش های کنترل را شامل می‌شوند. این طیف با روشهای از پیش زمان بندی شده شروع می شود وتا الگوریتم های کنترل وفقی[2] که به مرور بر تنوع و توانایی آنها افزوده می شود، ادامه می‌یابد. سیستم های کنترل شبکه تقاطع های چراغدار مثل SCOOT[3] ,SCATS[4] از پیشرفته ترین این سیستم ها هستند که به صورت گسترده در سطح جهان در حال استفاده هستند. در شهر تهران نیز بیش از ۲۰۰ تقاطع به سیستم کنترل SCATS مجهز هستند. این سیستم قابلیت کنترل تقاطع ها به صورت منفرد و هماهنگ شده در طول یک معبر شریانی را داراست. اطلاعات لازم برای تصمیم گیری در این سیستم به وسیله شناسگر هایی بلافاصله قبل از خط ایست در هر رویکرد انجام می شود.

در سیستم های وفقی کنترل با استفاده از اطلاعاتی که به صورت همزمان از سیستم برداشت می شوند، انجام می شود. اطلاعاتی مثل حجم عبوری و سرفاصله زمانی از مهمترین اجزای این اطلاعات هستند. تفاوت بین سیستم های تطبیقی در روش جمع آوری این اطلاعات و منطق حاکم بر تعیین متغیر های تصمیم گیری، مثل میزان امتداد فاز سبز، است. در روش های مختلف کنترل تقاطع بهبود شاخص های عملکردی مثل کاهش متوسط تاخیر کل تقاطع، تعداد توقف ها، مصرف سوخت، انتشار آلاینده ها و تامین شرایط مناسب برای عابر پیاده دنبال می شود.

## شبيه سازي تقاطع چراغدار

در این مطالعه با هدف ارزیابی الگوریتم پیشنهادی کنترل فازی تقاطع چراغدار که از این به بعد SIFLoC[5] نامیده می شود، محیط شبیه سازی مناسب طراحی و پیاده سازی شد. نرم افزار های موجود مثل SimTraffic,GETRAM هر چند قدرت قابل توجهی در شبیه سازی دارند، برای مورد مطالعه این تحقیق قابل استفاده نبودند. نیاز به محیطی قابل انعطاف برای اجرای الگوریتم کنترل فازی عامل توسعه یک نرم افزار شبیه سازی برای کار شد. این نرم افزار در محیط MATLAB کد نویسی شده است. برای اعتبار یابی این مدل مقایسه هایی با نرم افزارهای SYNCHRO,GETRAM,SimTraffic HICAP, انجام شده است [۸].

برای وسائل نقلیه به عنوان ورودی های سیستم، صفات مختلفی مثل شماره شناسایی، سرعت مطلوب، حد اکثر شتاب افزاینده، حداکثر شتاب کاهنده و ... در نظر گرفته می شود. در هر گام شبیه سازی سرعت وسیله و فاصله آن از خط ایست در آرایه های مناسب ذخیره می شود. با توجه به تفاوت سرعت حرکت فعلی میزان تاخیر هر وسیله از روی اختلاف سرعت حرکت و سرعت مطلوب هر وسیله در هر گام، تاخیر قابل محاسبه است. جزئیات مربوط به نحوه عملکرد این برنامه به همراه فلوچارت های هر زیر برنامه در مرجع [۸] قابل دسترسی است.

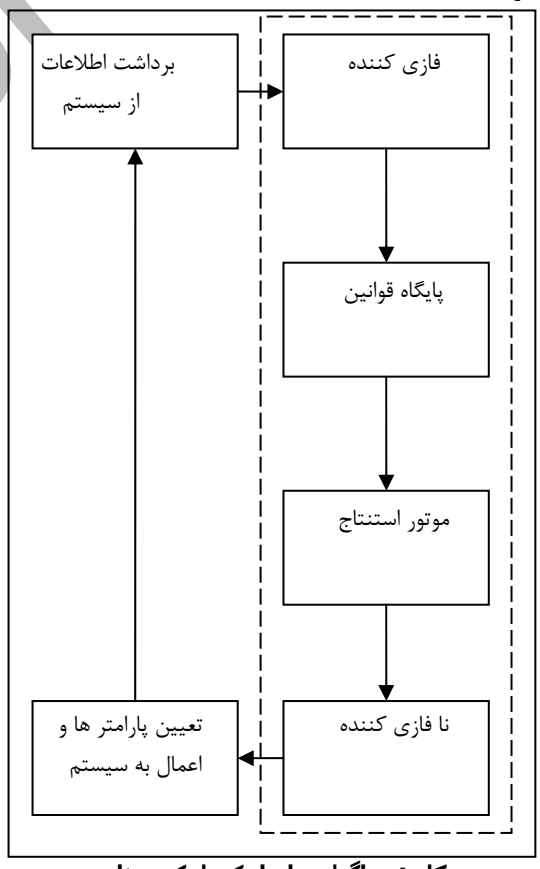
## الگوريتم كنترل فازي

همانطور که در بخش ۳ این مقاله بیان شد، تفاوت اصلی بین الگوریتم های مختلف کنترل تطبیقی در

Archive of SID
www.SID.ir

بکارگیری منطق های مختلف برای تعیین متغیر های تصمیم گیری مثل امتداد فاز است. متغیرهایی مثل حجم عبوری، سرفاصله عبوری، طول صف و ... که به صورت همزمان از سطح شبکه قابل برداشت هستند، به عنوان ورودی های جعبه تصمیم ساز، برای کنترل استفاده می شوند.

تعداد وسائل نقلیه نزدیک شونده به تقاطع در فاز سبز و تعداد وسائل نقلیه منتظر در فاز قرمز به صورت عام در اکثر الگوریتم های کنترل تطبیقی استفاده می شوند. حساسیت الگوریتم های کنترل به مقادیر این متغیر ها تابعی از منطق حاکم بر کنترل است. به عنوان مثال الگوریتم کنترل القایی به سرفاصله بین وسایل نزدیک شونده به تقاطع در فاز سبز حساس است و اگر این سر فاصله از مقدار معینی بیشتر شود دستور اتمام فاز سبز فعلی توسط جعبه کنترل صادر می شود. از طرف دیگر در کنترل تقاطع چراغدار، متغیر خروجی میزان امتداد فاز سبز است.




**شکل ۱: دیاگرام ساختار کنترل کننده فازي.**

اساس کار در ساخت SIFLoC، استفاده از سیستم فازی است. سیستم فازی یک نگاشت کننده غیر خطی از بردار مقادیر ورودی به یک خروجی اسکالر است. بخش های اصلی سیستم فازی عبارتند از: فازی کننده، پایگاه قوانین و نافازی کننده [۷]. در پایگاه قوانین مجموعه ای از قوانین اگر-آنگاه وجود دارد. پس از جمع آوری اطلاعات، ورودی ها برای قابل استفاده بودن در پایگاه قوانین باید فازی شوند. بخش فازی کننده، برای تامین همین نیاز در سیستم فازی وجود دارد. از طرف دیگر متغیر خروجی از بخش آنگاه در هر قانون اگر-آنگاه، در پایگاه قوانین مقداری فازی است و علاوه بر این خروجی های قوانین مختلف لزوما یکسان نیستند، بنابراین برای استنتاج نیاز به یک موتور استنتاج فازی و برای تعیین متغیر تصمیم نیاز به تبدیل خروجی فازی به مقداری غیر فازی است. برای اینکار از ابزار های نافازی کننده استفاده می‌شود. در شکل (۱) دیاگرام کنترل کننده فازی نشان داده شده است.

در ادامه در بخش ۵-۱ متغیر های ورودی و خروجی به همراه مقادیر فازی آنها آورده شده است. سپس در مورد نحوه ساخت توابع عضویت و نحوه تنظیمات آنها در بخش ۵-۲ بحث شده است. در قسمت ۵-۳ به ارزیابی SIFLoC پرداخته شده و در نهایت در بخش ۵-۴ کارایی این الگوریتم در مقایسه با کنترل از پیش زمان بندی شده و کنترل هوشمند القایی مورد بررسی قرار گرفته است.

### معرفی متغیرهای ورودی وخروجی

متغیرهای ورودی سیستم فازی پیشنهاد شده در SIFLoC عبارتند از : ۱- تعداد وسایل نزدیک شونده به تقاطع (CV) (در رویکردهایی که چراغ آنها سبز است) ، ۲- تعداد وسایل متوقف شده در صف (CQ) (برای رویکردهایی که چراغ آنها قرمز است)، ۳- باقیمانده زمان سبز (RG) و ۴- میزان زمان سبز استفاده نشده توسط رویکردهایی که چراغ آنها سبز است (LG) . متغیر خروجی SIFLoC، میزان ادامه فاز سبز (EXT) است. متغیرهای ورودی به گونه ای انتخاب شده اند تا علاوه بر شرایط رویکردهای مختلف (CQ,CV) شرایط مربوط به زمان باقیمانده سبز و تاریخچه زمان سبز اختصاص یافته به فاز سبز فعلی، در چرخه های قبلی در نظر گرفته شود.

تعداد وسایلی که فاصله آنها از خط ایست کمتر از ۱۵۰ متر است، در متغیرCV ذخیره می شود. این متغیر

Archive of SID

www.SID.ir

به نوعی نشان دهنده تعداد کاندیدهای عبور از خط ایست رویکرد هایی که چراغ سبز به آنها داده شده، می باشد. مقادیر زیاد آن SIFLoC را تحریک می کند، فاز سبز فعلی را بیشتر ادامه دهد. فاصله ۱۵۰ متر با قضاوت انتخاب شده است. این مقدار در مطالعه نیتی ماکی و پرسولا [۶] برابر ۱۰۰ متر انتخاب شده است. از نظر اجرایی با نصب ۲ سری شناسگر در فواصل ۱۵۰ متری و بلا فاصله قبل از خط توقف می توان این متغیر را بدست آورد. همچنین در صورت استفاده از سیستمهای پردازش تصویر، تعیین متغیر CV امکان پذیر است.

متغیر CQ تعداد وسایلی را که در رویکردهایی که چراغ آنها قرمز است و در صف قرار گرفته اند، نشان می دهد. CQ در واقع محدود کننده ای برای میزان امتداد فاز فعلی است و مقادیر زیاد آن SIFLoC را تحریک می کند از امتداد فاز سبز

**جدول۱: تعداد و مقادیر توابع عضویت در مدل SIFLoC .**

| نام متغیر | تعداد توابع عضویت | مقادیر فازی توابع عضویت |
|---|---|---|
| CV | ۴ | خیلی زیاد، زیاد متوسط، کم |
| CQ | ۴ | خیلی زیاد، زیاد متوسط، کم |
| RG | ۱ | زیاد |
| LG | ۲ | بالاتر از تعادل پایین تر از تعادل |
| EXT | ۵ | خیلی زیاد، زیاد متوسط، کم خیلی کم |

فعلی، منصرف شود. برای طول صف در این مدل محدودیتی در نظر گرفته نشده است. اگر طول صف از ۱۵۰ متر(فاصله بین شناسگرهای ردیف اول و دوم) بیشتر شود، تعیین طول صف با خطا همراه خواهد بود. در حالتی که این متغیر با روش پردازش تصویر برداشت شود، این محدودیت وجود ندارد.

بر حسب حجم مشخص شده در هر رویکرد، با استفاده از نرم افزار SYNCHRO زمان سبز بهینه برای هر فاز به صورت تحلیلی بدست می آید. اختلاف زمان بهینه سبز و زمان سبز فعلی به عنوان زمان سبز باقی مانده در نظر گرفته می شود. مثلا اگر حجم رویکرد ها ۸۰۰ وسیله بر ساعت در نظر گرفته شود، زمان سبز بهینه برای هر فاز ۵۰ ثانیه بدست می آید. اگر در لحظه ای که ۱۵ ثانیه از زمان شروع زمان سبز فاز فعلی گذشته باشد، الگوریتم کنترل فازی فعال شود، مقدار متغیر RG برابر ۳۵ = ۱۵-۵۰ می شود. با توجه به احتمال تفاوت، بین زمان سبز اختصاص داده شده به هر فاز و زمان سبز بهینه آن، متغیر LG به صورت تجمعی برای هر فاز در طول دوره شبیه سازی ساخته می شود. در مثال قبل اگر، فاز سبز اختصاص داده شده به یک رویکرد در چهار چرخه متوالی برابر ۳۰،۴۵، ۵۵ و ۵۰ ثانیه باشد، متغیر LG برابر $(50-30)+(50-45)+(50-55)+(50-50)=20$ ثانیه می شود. با در نظر گرفتن این متغیر اثر تغییرات کوتاه مدت حجم در یک دوره زمانی، لحاظ می شود. جدول (۱) تعداد و مقادیر توابع عضویت متغیرهای فازی فوق را نشان می دهد.

### روش ساخت توابع عضویت و پایگاه قوانین

توابع عضویت مربوط به همه متغیرها مثلثی انتخاب شده است. دلیل این انتخاب سادگی کاربرد آنها در محاسبات «همزمان[۶]» بخاطر سهولت محاسبات این نوع تابع عضویت است. برای ساخت توابع عضویت مربوط به متغیرهای CV و CQ که عملا شرایط رویکرد ها را از نظر تعداد وسایل نزدیک شونده به تقاطع و وسایل قرار گرفته در صف نشان می دهند، ابتدا مقادیر مورد انتظار آنها محاسبه میشود. برای این کار ابتدا با استفاده از تحلیل SYNCHRO مقدار متوسط طول صف با زمان بندی و حجم تقاضای مشخص محاسبه و سپس با استفاده از رابطه اساسی جریان ترافیک :

نرخ تردد= سرعت × چگالی

میزان مورد انتظار چگالی در سرعت حرکت مفروض و نرخ تردد معلوم برآورد می شود. این رابطه بصورت تقریبی تخمین مناسبی از چگالی مورد انتظار را بدست می دهد. سپس با استفاده از تعریف چگالی، تعداد وسایلی که در فاصله معلوم ۱۵۰ متری از تقاطع قرار گرفته اند محاسبه می شوند. پس از مشخص شدن مقادیر مورد انتظار برای تعداد وسایل قرار گرفته در فاصله ۱۵۰ متری و طول صف، مقادیر متناظر با ۸۰، ۱۲۰ و ۱۴۰ درصد مقدار مورد انتظار برای ساخت توابع عضویت استفاده می شود.

Archive of SID
www.SID.ir

**جدول ۲: نمونه هايي از قوانين مورد استفاده در روش سيستم فازي.**

| شماره قانون | متغیر های ورودی | | | | متغیر خروجی |
|---|---|---|---|---|---|
| | تعداد وسایل نزدیک شونده (CV) | تعداد وسایل منتظر در صف فاز قرمز (CQ) | باقیمانده زمان سبز (RG) | میزان زمان های از دست رفته سبز (LG) | میزان امتداد فاز (EXT) |
| ۱ | خیلی زیاد | | | کمتر از حد تعادل | خیلی زیاد |
| ۲ | زیاد | کم | نه زیاد | | زیاد |
| ۳ | خیلی کم | | | بیشتر از حد تعادل | خیلی کم |
| ۴ | زیاد | | زیاد | | زیاد |

توابـع عضـویت مربـوط بـه RG و LG بـا قضـاوت کارشناسی بدست آمده و در آزمـایش هـا نسـبتا موفـق بوده است. هر چند نمی تـوان ادعـا کـرد بهتـرین توابـع انتخاب شده است. حداکثر میزان ادامـه فـاز، در هـر بـار فعال شدن زیر برنامه تنظیمات چراغ های راهنمـایی، بـر اساس تخلیه ناحیه ۱۵۰ متری در نظر گرفته شده است. در این رابطه زمان سفر برای این ناحیه، با فرض سـرعتی معادل ۱۰ متر بر ثانیه، برابر ۱۵ ثانیه در نظر گرفته شده است.

بـرای بررسـی عملکـرد کنتـرل پیشـنهادی و اثـرات تنظیمات مختلف توابع عضـویت حجـم هـای مختلفـی در نظر گرفته شده است. اساس انتخاب حجم های مختلف بر تحلیـل حساسـیت و ارزیـابی عملکـرد کنتـرل در شـرایط مختلف احجام است. با توجه به نرخ تـردد اشـباع ایـده‌آل ۱۹۰۰pcu/h و فرض g/c=0.45 (با عنایت به زمانهای تلف شده این مقدار از ۰/۵ کمتر گرفته شـده اسـت.)، ظرفیـت عبوری هر خط حدود ۸۵۰ pcu/h می شود. طیـف حجـم های بین ۴۰۰ تا ۸۰۰ معادل سواری در سـاعت از نسـبت حجم به ظرفیت حدود ۰/۵ تا ۰/۹۵ را پوشش مـی دهـد. بنا بر این در یک بازه عملی قرار می گیرد.

لازم به ذکر است، بر حسب حجم انتخاب شـده بـرای تنظـیم توابـع عضـویت، بـا پایگـاه قـوانین یکسـان ۳ روش CVCQ400، CVCQ600 و CVCQ800 ساخته شده و مورد آزمایش قرار گرفتند. به عنوان مثال CVCQ600 با استفاده از حجـم ۶۰۰ وسـیله معـادل سـواری در سـاعت تنظیم شده است(محاسبه چگالی و طول صف مورد انتظار بر مبنای حجم ۶۰۰ وسیله معادل سواری در ساعت).

پایگاه قوانین بر اساس قضـاوت سـاخته شـده اسـت. جدول (۲) به عنوان نمونه ۴ قانون اگر- آنگـاه از مجموعـه قوانین موجود در این پایگاه قوانین، نمایش می دهـد. بـه عنوان مثال قانون اول این جدول بیان می کند: اگر متغیـر مربوط به تعداد وسایل نزدیک شونده به تقاطع(CV) زیـاد باشد و متغیر مربوط به زمان های از دست رفته سبز(LG) در حالت پایین تر از حد تعادل باشد، آنگاه بایستی میـزان امتداد فاز سبز(EXT) خیلـی زیـاد باشـد. پایگـاه قـوانین استفاده شده در این مطالعه ۲۱ قانون دارد.

## ارزیابی الگوریتم فازی پیشنهادی

برای تحلیـل و ارزیـابی روش پیشـنهادی آزمایشـهای مختلفی طراحی و این روش در شرایط مختلفـی آزمـایش شده است. حساسیت نتایج نسبت به تغییرات پارامترهـایی مثل تنظیمات مربوط به توابع عضویت، حداقل زمان سبز و نسبت حجم رویکردها در این آزمایش ها مورد تحلیل قرار گرفته است[۸]. در ادامـه شـرح و نتـایج دو نمونـه از ایـن آزمایشها ارائه می شود.

## حساسیت تنظیمات توابع عضویت

در این آزمون اثر تنظیمات توابع عضویت بـر شـاخص مقایسه (متوسط تاخیر) آزمایش شده است. در تقاطعهایی که حجم عبوری رویکردهای آنها 400 veh/h , 800 veh/h است از هـر سـه کنتـرل cvcq400,cvcq600,cvcq800 استفاده شده است. در این آزمـون بـه دنبـال پاسـخ ایـن سوال هستیم که آیا تنظیمات توابع عضویت تغییرات معنا داری در شاخص متوسط تاخیر تقاطع ایجاد می کنـد؟ بـه

Archive of SID

www.SID.ir

این منظور، ۱۰ تکرار برای هر حالت انجام شده و نتایج با هم مقایسه شده و نتایج در جدول (۳) نشان داده شده است. در این جدول، نتایج مربوط به کنترل از پیش زمان بندی شده (FIX) نیز برای مقایسه ارائه شده است.

سطح معنا داری در این آزمون ها، برابر ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است. آزمون t تفاوت معنا داری در هیچ یک از این روش های کنترل فازی برای حجم ۴۰۰ نشان نمی دهد. یعنی فرض تساوی مقادیر میانگین را نمی توان رد کرد. اما در حجم ۸۰۰ بین روش های cvcq400 وcvcq800 تفاوت معنا دار و محسوسی وجود دارد. از این آزمون می توان نتیجه گرفت در حجم های نسبتا بالا (نزدیک ظرفیت)، تنظیم توابع عضویت بر خروجی ها تاثیر مهمی دارد. مقایسه همچنین نشان می دهد، در صورت تنظیم نا مناسب تابع عضویت، شاخص تاخیر در کنترل فازی حتی از کنترل از پیش زمان بندی شده نیز، می تواند فراتر رود.

**حساسیت مقدار حداقل زمان سبز**

برای آزمون چگونگی تاثیر انتخاب مقدار حداقل زمان سبز در عملکرد SIFLoC برای حجم عبوری ۶۰۰ وسیله در ساعت در هر رویکرد، در ۲ حالت حداقل زمان سبز برای ۱۲ و ۲۰ ثانیه فرض شده و متوسط زمان تاخیر به عنوان پارامتر خروجی با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج این آزمایش در جدول (۴) نشان داده شده است. به وسیله آزمون t نمی توان فرض تساوی میانگین در آزمایش بالا در سطح اطمینان ۰/۰۵ را رد کرد.

## مقایسه الگوریتم فازی پیشنهادی والگوریتم های از پیش زمانبندی شده و هوشمند القایی

برای مقایسه الگوریتم ها با استفاده از اعداد تصادفی، توزیعهای یکسانی برای ایجاد شرایط مساوی در مقایسه به عنوان داده های ورودی بکار گرفته شد و مقایسه در ۲ حالت انجام گرفته است.

**جدول ۳: نتایج آزمایش اثر تنظیمات توابع عضویت.**

| حجم | الگوریتم کنترل | تعداد تکرار | متوسط تاخیر (ثانیه) | انحراف از استاندارد (ثانیه) |
|---|---|---|---|---|
| ۴۰۰ (veh/h) | Cvcq400 | ۱۰ | ۶/۱ | ۰/۷۵ |
| | Cvcq600 | ۱۰ | ۵/۹ | ۰/۶۲ |
| | Cvcq800 | ۱۰ | ۶/۳ | ۰/۷ |
| | FIX | ۱۰ | ۸/۴ | ۲/۲۴ |
| ۸۰۰ (veh/h) | Cvcq400 | ۱۰ | ۶۳/۹ | ۲۰/۷ |
| | Cvcq600 | ۱۰ | ۳۶/۵ | ۷/۲۶ |
| | Cvcq800 | ۱۰ | ۳۳/۱ | ۵/۶۵ |
| | FIX | ۱۰ | ۴۱/۱ | ۸/۶۶ |

**جدول ۴: نتایج تاخیر آزمایش اثر انتخاب حداقل زمان سبز.**

| حجم (veh/h) | تنظیمات مورد استفاده | تعداد تکرار | حداقل زمان سبز (ثانیه) | میانگین تاخیر (ثانیه) | انحراف از استاندارد (ثانیه) |
|---|---|---|---|---|---|
| ۶۰۰ | CVCQ600 | ۱۰ | ۱۲ | ۱۱/۳ | ۱/۶۹ |
| ۶۰۰ | CVCQ600 | ۱۰ | ۲۰ | ۱۱/۹ | ۱/۲۸ |

Archive of SID
www.SID.ir

**حالت اول : یک خط عبوری در هر رویکـرد و حجـم های مساوی در همه رویکردها**

برای ایـن حالـت ۳ حجـم ۴۰۰و۶۰۰و۸۰۰ وسـیله نقلیه در ساعت بـرای مقایسـه در نظـر گرفتـه شـده انـد. جدول (۵) نتایج این آزمایشات را نشان می دهد. همانطور که انتظار می رود با افزایش نسبت حجم به ظرفیت، میزان تاخیر رو به افزایش است. آزمون t یکطرفه، پایین تر بودن میانگین تاخیر کل در حالت کنترل فازی نسبت به کنترل ثابـت را در سـطح معنـا داری ۰/۰۵ تاییـد مـی کنـد. میزان بهبود پارامتر میانگین تاخیر از حجم های پایین بـه بالا به تربیت برابر۲۷، ۳۱و۱۹ در صد است. متوسط بهبود شاخص تاخیر کل نسبت به کنترل ثابت در ایـن آزمـایش ۲۲ درصد است. برای مقایسه با الگوریتم هوشمند القایی از نتایج نرم افزار SYNCHRO استفاده شده اسـت. مقایسـه نتایج با کنترل هوشمند القایی، بهبود در متوسط شـاخص تاخیر را ۱۵ درصد نشان می دهد. شکل (۲) مقایسه نتایج این آزمون را نشان می دهد.

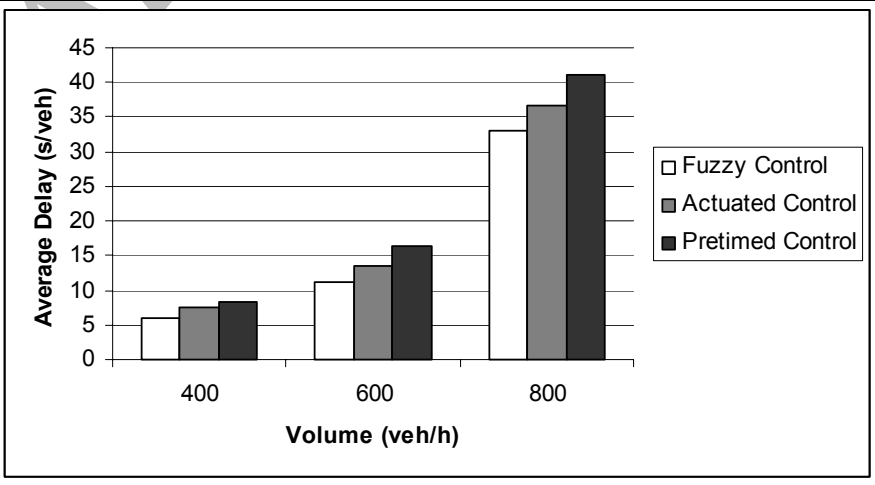
**حالت دوم : یک خط عبوری در هر رویکـرد و حجـم ها نا مساوی در رویکرد های نا همراستا**

در این حالت نسبت حجـم هـا در راسـتای غربـی – شرقی وشمالی- جنوبی متفاوت انتخاب شـده اسـت. در ۳ آزمون اول حجم راستای شمالی – جنوبی ۲ برابر راسـتای غربی- شرقی اسـت و در آزمونهـای چهـارم و پـنجم ایـن نسبت برابر ۳ شده است. در جدول (۶) نتایج این آزمایش ها منعکس شده است.

آزمون t ایجاد بهبـود بـا کـاهش شـاخص میـانگین تاخیر را در الگوریتم فازی نسبت به الگوریتم کنترل ثابـت در سطح معنـا داری ۰/۰۵ تاییـد مـی کنـد. بهبـود هـای حاصل شده بـه ترتیـب آزمایشـها عبارتنـد از ۲۰،۲۷ ۱۸، ۱۱و ۳۵ درصـد متوسـط بهبـود شـاخص تـاخیر در ایـن آزمایش برابر ۲۶ درصد است. در اینجـا نیـز بـرای تحلیـل عملکرد تقـاطع بـا کنتـرل هوشـمند القـایی از نـرم افـزار SYNCHRO اسـتفاده شـده اسـت. بهبـود در متوسـط شاخص تاخیر نسبت به کنتـرل القـایی حـدود ۱۵ درصـد است. مقایسه نتایج در نمودار شـکل (۳) نشـان داده شـده است.

**جدول ۵: مقایسه نتایج آزمایش الگوریتم کنترل فازي و کنترل ثابت در تقاطع.**

| حجم (veh/h) | تعداد تکرار | کنترل فازی (SIFLoC) | | کنترل ثابت | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | متوسط تاخیر(ثانیه) | انحراف از استاندارد (ثانیه) | متوسط تاخیر(ثانیه) | انحراف از استاندارد (ثانیه) |
| ۴۰۰ | ۱۰ | ۶/۱ | ۰/۷۵ | ۸/۳۴ | ۲/۲۴ |
| ۶۰۰ | ۱۰ | ۱۱/۱ | ۱/۶۹ | ۱۶/۴ | ۲/۴۲ |
| ۸۰۰ | ۱۰ | ۳۳/۱ | ۵/۶۵ | ۴۱/۱ | ۸/۶۶ |



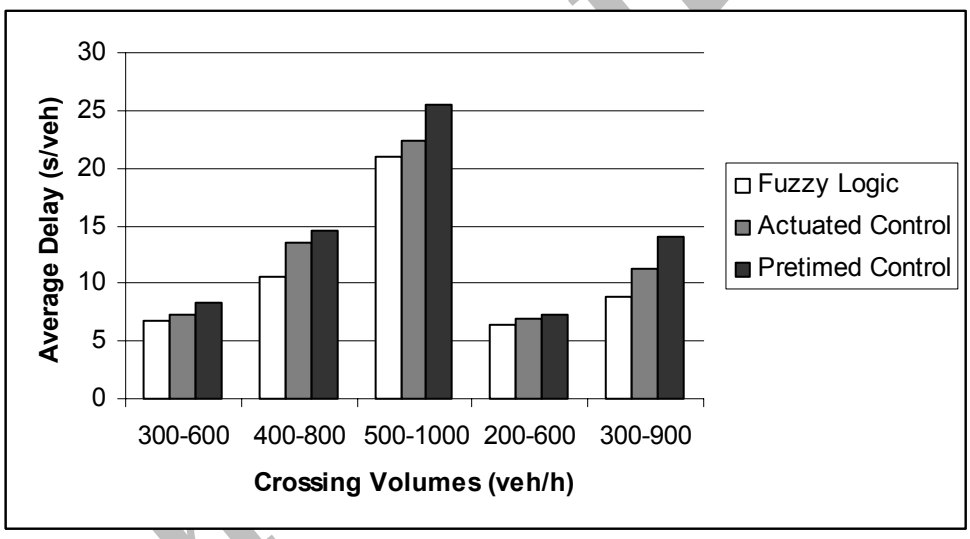

**شکل۲: مقایسه تاخیر متوسط در اثر اعمال سیاست هاي کنترل فازي(SIFLoC) ، کنترل القایي و کنترل ثابت.**

Archive of SID

www.SID.ir

**جدول ۶: مقايسه نتايج آزمايش كنترل فازي و كنترل ثابت در تقاطع(حجم هاي نا مساوي در رويكرد ها).**

| حجم راستای غربی-شرقی (veh/h) | حجم راستای شمالی-جنوبی (veh/h) | نسبت حجم ها | تعداد تکرار | کنترل فازی(SIFLoC) | | کنترل ثابت | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | متوسط تاخیر (ثانیه) | انحراف معیار (ثانیه) | متوسط تاخیر (ثانیه) | انحراف معیار (ثانیه) |
| ۳۰۰ | ۶۰۰ | ۲ | ۱۰ | ۶/۷ | ۰/۸۶ | ۸/۴ | ۱/۷۱ |
| ۴۰۰ | ۸۰۰ | ۲ | ۱۰ | ۱۰/۵ | ۱/۹۰ | ۱۴/۵ | ۲/۱۷ |
| ۵۰۰ | ۱۰۰۰ | ۲ | ۱۰ | ۲۰/۹ | ۳/۶ | ۲۵/۵ | ۳/۷۸ |
| ۲۰۰ | ۶۰۰ | ۳ | ۱۰ | ۶/۵ | ۰/۵۶ | ۷/۳ | ۰/۸۶ |
| ۳۰۰ | ۹۰۰ | ۳ | ۱۰ | ۸/۹ | ۰/۹۲ | ۱۴/۱ | ۳/۳۸ |




**شكل۳: مقايسه ميزان تاخير متوسط در اثر اجراي كنترل فازي(SIFLoC)، القايي و ثابت.**

## نتيجه گيري و پيشنهاد براي ادامه كار

تحلیل شبیه سازی در شرایط مختلف بهبود در شاخص تاخیر را در اثر اعمال الگوریتم SIFLoC برای زمان بندی تقاطع نشان می دهد.. خلاصه نتایج آزمایش های انجام گرفته به صورت زیر قابل بیان است:

۱- حساسیت این الگوریتم به حداقل زمان سبز، پایین است و آزمایش، تفاوت معناداری بین دو نمونه مشابه با حداقل زمان سبز متفاوت نشان نمی دهد.

۲- تغییرات زیاد تنظیمات توابع عضویت باعث تغییرات قابل توجهی در متوسط تاخیر کل می شود؛ در حالیکه در تغییرات کم، تفاوت ناشی از این تغییرات معنا دار نیست.

۳- اختلاف معنادار متوسط تاخیر پس از اجرای الگوریتم فازی و الگوریتم کنترل ثابت در ترکیبات مختلف حجم های عبوری معنادار بوده است. متوسط این بهبود در آزمایش مربوط به حجم های مساوی در رویکرد هابرابر ۲۲ درصد و در حالت حجم های نامساوی برابر ۲۶ درصد است. همچنین میزان بهبود نسبت به کنترل با روش القایی در دو آزمایش برنامه ریزی شده به ترتیب برابر ۱۴ و ۱۵ درصد است.

برای ادامه مطالعه در این زمینه پیشنهادات زیر قابل بیان است:

۱- انجام آزمایش های بیشتر در شرایط مختلف برای ارزیابی بهتر کارایی متغیر های مختلف و توابع عضویت مربوط به آنها.

Archive of SID
www.SID.ir

۲- توسعه مدل شبیه سازی برای فراهم کردن امکان مدل کردن فازبندی های پیچیده در تقاطع ها برای افزودن بخش انتخاب فاز مناسب از بین فازهای رقیب در هر گام کنترل به الگوریتم پیشنهادی

۳- توسعه مدل شبیه ساز، برای ارزیابی الگوریتم های فازی برای کنترل شبکه تقاطعات چراغدار به عنوان تعمیم مساله مورد بررسی

۴- شبیه سازی عملکرد ماموران راهنمایی و رانندگی در کنترل تقاطعات و ارزیابی آن با توجه به امکان مدل کردن قوانین بکار گرفته شده توسط آنان به صورت سیستم فازی

## مراجع


1- Pursula, M., Niittymaki, J. and Jacquse, M. (2000). "Analyzing different fuzzy traffic signal controllers for isolated intersections." *Transportation Research Board,* 2000 Annual Meeting, CD ROM.

2 - Pappis, C. P. and Mamdani, H. (1977). "A fuzzy logic controller for a traffic junction." *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. SMC-7, No. 10, October, PP.707-717.

3 - Kim, S. (1994). *Application of Petri Networks and Fuzzy Logic to Advanced Traffic Management Systems*. Ph.D Thesis, Polytechnic University, USA, 139 P.

4 - Favilla Jr., J., Machion, A. and Gomide, F. (1993). "Fuzzy traffic control: adaptive strategies." *In: Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, Vol. 1, San Francisco, USA, March, PP.506-511.

5 - Trabia, M. B., Kaseko, M. S. and Ande, M. (1999). "A two-stage fuzzy logic controller for traffic signals." *Transportation Research Part C,* Vol. 7, PP.353-367.

6 - Niittymäki, J. and Pursula, M. (2000). "Signal control using fuzzy logic." *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 116, PP.11-22.

7 - Zimmerman, M. J. (1996). *Fuzzy set theory and its applications*, Kluwer Academic Publishers, Boston.

8 - Kermanshahi, S. (2005). *Using Fuzzy Logic In Design of Signalized Intersection Control Design*: (In Persian), M.Sc. Thesis, Civil Eng. Department, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.


## واژه هاي انگليسي به ترتيب استفاده در متن

1 - Vehicle Actuated Control

2 - Adaptive Control

3 - Split, Cycle and Offset Optimization Technique

4 - Sydney Co-ordinated Adaptive Traffic System

5 - Signalized Intersection Fuzzy Logic Control

6 - Real-time

Archive of SID

www.SID.ir