

## بررسی کنترل کننده ی فازی چراغ راهنمایی با استفاده از روش سوگنو

آرزو صدیق نیا<sup>۱</sup>، سید مهدی هادئی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشگاه گیلان، رشت، ایران

<sup>۲</sup>دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

### چکیده

این مقاله استفاده از کنترل کننده ی فازی سوگنو را برای کنترل یک تقاطع ایزوله بررسی می کند. اصول و قواعد سیستم کنترل فازی بر پایه ی وسایل نقلیه ی ورودی، طول صف وسایل نقلیه در فاز سبز، و طول صف های وسایل نقلیه در سایر فازها می باشد. توالی فاز و افزایش طول فاز در مرحله ی تصمیم گیری برای انتقال از فاز جاری به فاز مناسب بعدی استفاده می شوند. با استفاده از اطلاعات دریافتی از شناساگرهای ترافیکی در هر مسیر از تقاطع ایزوله، سیستم فازی، علایم بهینه را برای تنظیم طول فاز در شرایط ترافیکی فعلی را به دست می دهد. توالی فاز با استفاده از یک برنامه ی ساده با جملات اگر-آنگاه مدیریت می شود. در این مقاله شبیه سازی یک تقاطع ایزوله برای دو حالت چرخه ی کنترل ترافیک ثابت و سیستم کنترل ترافیک فازی بررسی و مقایسه شده اند. مقایسه به وضوح نشان می دهد که کنترل چراغ راهنمایی بر پایه منطق فازی، برای کنترل جریان ترافیک، موثرتر و انعطاف پذیرتر است.

**واژه های کلیدی:** کنترل فازی، کنترل جریان ترافیک، چراغ راهنمایی.

## ۱. مقدمه

تحقیقات زیادی برای بهبود کنترل کننده های چراغ راهنمایی در تقاطع ها انجام شده است. در [۱] طراحی و اجرای کنترل کننده چراغ راهنمایی هوشمند بر پایه ی منطق فازی نشان داده شده است. کنترل چراغ های راهنمایی با استفاده از چراغ های راهنمایی چرخه-ثابت مرسوم و کنترل کننده های فازی در یک تقاطع ایزوله شبیه سازی شده است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که کنترل کننده های منطق فازی بهتر از کنترل کننده های چرخه-ثابت عمل می کنند.

در طراحی سیستم فازی برای تقاطع های فوق اشباع با گردش به چپ و راست [۲] کنترل کننده ی فازی بر پایه ی مجموعه قواعد فازی و اطلاعات ترافیکی واقعی، تصمیم گیری می کند که کدام محدوده فاز سبز فعلی باید تمدید شود.

خلید و همکارانش کنترل کننده ی فازی چراغ راهنمایی را پیشنهاد دادند که قادر به ارتباط با تقاطع های همسایه است و توالی فازها و طول فازها را به طور هماهنگ تنظیم می کند [۳]. این شبیه سازی ها نشان داده است که کنترل کننده ی فازی بهتر از کنترل کننده های زمان از پیش تعیین شده عمل می کند.

در [۴] توسعه ی سیستم چراغ راهنمایی بر پایه ی روش منطق فازی در تقاطع های چند مسیره نشان داده شده است. کنترل کننده بر پایه ی مکانیزم همزمانی با تقاطع های همسایه طراحی شده است؛ و قادر است توالی فازها و طول فازها را برای همسایگان، به خوبی شرایط ترافیکی خود تقاطع، مدیریت کند. در این مورد نیز مقایسه بین چراغ های راهنمایی چرخه-ثابت و سیستم کنترل ترافیک بر پایه ی منطق فازی، نشان می دهد که سیستم کنترل کننده ی فازی به مراتب موثرتر و انعطاف پذیرتر است.

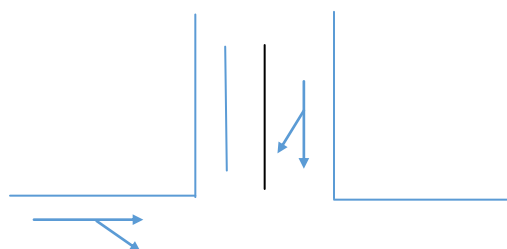
بر اساس بررسی های مطرح شده در بالا، کنترل کننده ی ترافیک منطق فازی بهتر از کنترل کننده های مرسوم عمل می کند. اکثر روش های فازی مطرح شده با استفاده از روش Mamdani بود.

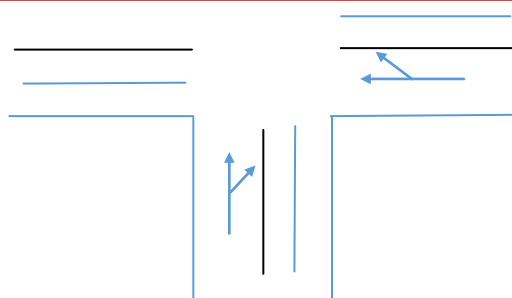
این مقاله، توسعه ی سیستم چراغ راهنمایی تطبیقی بر پایه ی روش منطق فازی سوگنو را بررسی می کند که بر روی تقاطع ایزوله اعمال شده است. کنترل کننده بر اساس وسایل نقلیه ی ورودی، طول صف وسایل نقلیه در فاز سبز، و طول صف وسایل نقلیه در سایر فازها توسعه یافته است. توالی فاز و توسعه ی طول فاز در تصمیم گیری کنترل کننده ی فازی برای فاز تعویض استفاده می شوند.

در بخش بعدی، کلیاتی از مدل ترافیکی تقاطع ایزوله توضیح داده شده است. بخش سوم به طور خلاصه جزئیات کنترل کننده ی فازی سوگنو را توضیح می دهد. بخش چهارم نتایج شبیه سازی کنترل کننده ی فازی را در مقایسه با کنترل کننده ی سنتی، برای تقاطع ایزوله نشان می دهد.

## ۲. مدل تقاطع ایزوله

یک مدل دینامیک برای تقاطع ایزوله با استفاده از تئوری صف [۵] برای شبیه سازی کنترل کننده ی فازی سیگنال ترافیک نوع سوگنو استفاده شده است. تقاطع ایزوله ی چهار راهه معمولی در شکل ۱ نشان داده شده است. هشت حرکت در این تقاطع وجود دارد؛ از جمله یکی حرکت مستقیم و یکی حرکت گردش به راست در هر یک از چهار راهها.





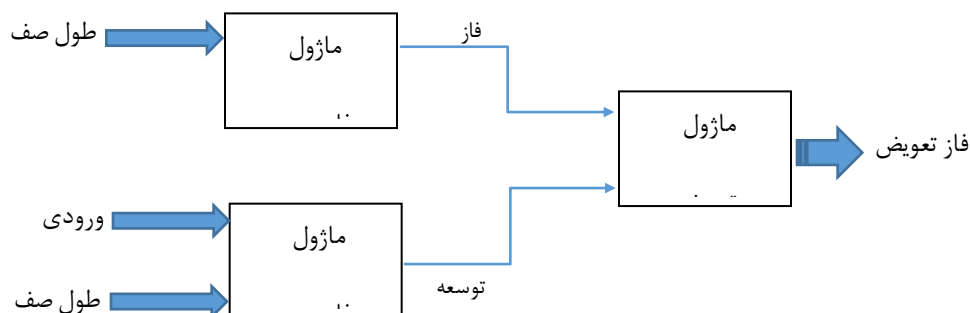
شکل ۱ - تقاطع ترافیکی ایزوله

بر اساس مدل [۵] یک تقاطع ترافیکی ایزوله بر پایه‌ی تئوری صف  $M/M/1$  مدل می‌شود. در اینجا  $M$  توزیع دفعات ورودی داخلی بدون حافظه را نشان می‌دهد.  $M$  دوم توزیع دفعات سرویس بدون حافظه را نشان می‌دهد. عدد ۱ در  $M/M/1$  به تک سروری اشاره دارد. تقاطع منفرد، یک سرور منفرد (سیگنال ترافیک) دارد، که خدمات را برای فاز سیگنال منفرد در یک زمان فراهم می‌کند. صف وسایل نقلیه دارای ترتیب FIFO هستند.

مکانیزم سرویس شامل سه موضوع اصلی مشتری‌ها، صف‌ها، و سرورها در تئوری صف می‌باشد. مشتری‌ها که سیستم صف را ایجاد می‌کنند، توسط یک منبع ورودی مطابق یک توزیع آماری که زمان‌های ورودی داخلی را توضیح می‌دهد، ایجاد می‌شوند. زمان‌های توقف، زمان‌های بین ورودی‌های مشتری‌ها هستند. همانطور که در [۵] بحث شده، ورودی ترافیک و زمان‌های ترافیک در یک تقاطع، به عنوان متغیرهای تصادفی مستقل در نظر گرفته می‌شوند. به واسطه‌ی طبیعت تصادفی ورودی ترافیک، معمولاً توزیع پواسون گزینه‌ی مناسبی برای خاصیت بی حافظه بودن توزیع نمایی است. وسایل نقلیه در یک امکانات تک سروری مطابق با توزیع پواسون با متوسط نرخ ورودی  $\lambda$  (وسیله نقلیه بر واحد زمان) می‌رسند. زمان‌های ورود بین وسایل نقلیه مستقل هستند و بطور یکسان با میانگین  $1/\lambda$  توزیع شده‌اند. وسایل نقلیه مطابق با یک پروسه‌ی پواسون با نرخ ورودی  $\lambda$  به سیستم وارد می‌شوند. زمان سرویس به عنوان زمان استفاده شده در تخلیه‌ی وسایل نقلیه شخصی از تقاطع در طول زمانی که چراغ‌های راهنمای سبز هستند، تعریف می‌شود؛ که نباید با زمان سبز موثر اشتباه گرفته شود. پروسه‌ی خروج زمان عبور از تقاطع است.

### ۳. کنترل کننده‌ی فازی سوگنو

در این بخش توضیحی از جزئیات کنترل کننده‌ی ترافیک فازی نوع سوگنو بررسی شده است. سه ماژول در کنترل کننده‌ی ترافیک فازی وجود دارد که شامل ماژول فاز بعدی، ماژول فاز سبز، و ماژول تعویض هستند. شکل ۲ دیاگرام شماتیک کنترل کننده را نشان می‌دهد.



شکل ۲- دیاگرام شماتیک از کنترل کننده فازی سوگنو

### ۳-۱. ماژول فاز بعدی

در این ماژول، زبان برنامه نویسی C در بلوک تابع مطلب تعبیه شده نوشته شده تا توالی فاز را بر اساس طول صف جاری در هر کدام از چهار مسیر شرق، جنوب، غرب و شمال به ترتیب کنترل کند. ماژول یک نامزد را برای فاز سبز بر پایه ی شرایط ترافیکی در تمام فازها انتخاب می کند. فازی که بیشترین طول صف را در بین چهار فاز دارد انتخاب می شود. در این ماژول چهار فاز وجود دارد (فاز ۱ و ۲ و ۳ و ۴). چراغ سبز در جهت شرق فاز ۱، چراغ سبز در جهت جنوب فاز ۲، چراغ سبز در جهت غرب فاز ۳ و نهایتا چراغ سبز در جهت شمال فاز ۴ است.

طول صف در هر کدام از چهار جهت با استفاده از قواعد اگر-آنگاه مقایسه می شوند. مقدار طول صف از سنسورها در جهت های شرق، جنوب، غرب و شمال در این ماژول آورده شده اند. سپس طول صف در جهت شرق با سه طول صف دیگر در جهت های جنوب، غرب و شمال مقایسه می شود. اگر بیشترین طول صف در بین جهت ها متعلق به جهت شرق باشد، فاز ۱ که متناظر با چراغ سبز در جهت شرق است، انتخاب می شود. همچنین مقایسه های طول صف ادامه دارد تا اینکه بیشترین طول صف شناسایی شود.

### ۳-۲. ماژول فاز سبز

شرایط ترافیکی فاز سبز توسط ماژول فاز سبز مشاهده می شود. زمان توسعه ی چراغ سبز در فاز سبز توسط این ماژول (مطابق با شرایط جریان ترافیکی) تولید می شود. متغیر خروجی فازی، شامل چهار تابع عضویت است. این چهار تابع عضویت شامل صفر (Z)، کوتاه (S)، متوسط (M)، و بلند (L) است که مقادیر این چهار تابع عضویت ثابت هستند.

اساسا در این ماژول دو مجموعه قواعد فازی در دو بخش متفاوت سیستم استنتاج فازی سوگنو وجود دارد. اولین مجموعه قواعد فازی شامل شانزده قاعده و سیستم استنتاج فازی که شامل این قواعد است، نرخ ورودی و طول صف فعلی را به عنوان اولیه می گیرد، و توسعه را به عنوان خروجی تولید می کند. برای محاسبه ی احتمال اینکه فاز سبز باید گسترش یابد، سیستم استنتاج فازی دوم در این ماژول که شامل قواعد فازی دوم از مجموع سیزده قاعده است، توسعه ی تولید شده ی خروجی را از سیستم استنتاج فازی اول و طول صف ها در سه فاز دیگر را به عنوان اولیه می گیرد و توسعه ی ۲ را تولید می کند.

بطور کلی، توابع عضویت خروجی سوگنو یا ثابت هستند و یا خطی. یک قاعده ی کلی در یک مدل فازی سوگنو به فرم نشان داده شده در زیر می باشد:

$$z = ax + by + c \quad \text{اگر ورودی } x=1 \text{ و ورودی } y=2 \text{ باشد، آنگاه خروجی برابر است با:}$$

برای یک مدل سوگنو صفر درجه (یعنی توابع عضویت خروجی ثابت)، سطح خروجی z یک عدد ثابت

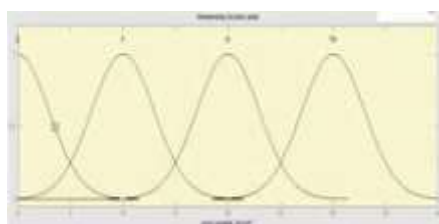
$$\text{است. (} a=b=0 \text{)}$$

در این مقاله، توابع عضویت خروجی ثابت برای هر دو سیستم استنتاج فازی سوگنو توسعه یافته در ماژول فاز سبز استفاده شده اند. این بدان معنی است که خروجی سطح z برای هر دو سیستم استنتاج فازی سوگنو در این ماژول، ثابت است (یعنی  $Z=c$ ). چهار سطح خروجی برای اولین سیستم استنتاج فازی سوگنو وجود دارد که

هرکدام از چهار سطح خروجی با مقادیر ثابت متفاوتی نشان داده شده است. به طور مشابه سیستم استنتاج فازی سوگنو دوم هم چهار سطح خروجی با مقادیر متفاوت دارد. سطح خروجی های توسعه و توسعه ی ۲ برای هر دو سیستم استنتاج فازی سوگنو در این ماژول با ضریب  $w_i$  شان وزن دهی شده اند؛ که  $w_i = (F_1(x), F_2(x))$ . برای سیستم استنتاج فازی سوگنو اول در این ماژول،  $F_1$  و  $F_2$  به ترتیب توابع عضویت ورودی های "ورودی" و "صف" هستند. برای سیستم استنتاج فازی سوگنو دوم،  $F_1$  و  $F_2$  به ترتیب توابع عضویت ورودی های "توسعه" و "صف" هستند. آخرین خروجی سیستم، متوسط تمام خروجی های قواعد است که به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\text{خروجی نهایی} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i z_i}{\sum_{i=1}^N w_i}$$

برای سیستم استنتاج فازی سوگنو اول، شکل ۳ و ۴ توابع عضویت متناظر متغیرهای ورودی آن را نشان می دهد: ورودی و صف فاز سبز جاری. شکل ۵ توابع عضویت متغیر خروجی توسعه را برای سیستم استنتاج فازی نشان می دهد. جدول ۱ نمونه هایی از قواعد سیستم استنتاج فازی سوگنو را نشان می دهد.



شکل ۳- توابع عضویت متغیر ورودی "ورودی" برای سیستم استنتاج فازی سوگنو اول



شکل ۴- توابع عضویت متغیرهای ورودی "Q" برای سیستم استنتاج فازی



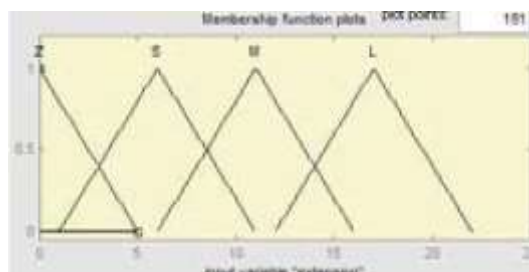
شکل ۵- توابع عضویت متغیر خروجی "توسعه" برای سیستم استنتاج فازی اول

جدول ۱- مثال هایی از قواعد سیستم استنتاج فازی سوگنو اول

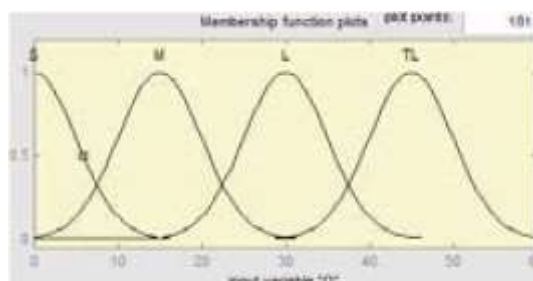
جدول ۱ - مثال هایی از قواعد سیستم استنتاج فازی سوگنو اول

توسعه	صف	ورودی	قواعد
صفر	کوتاه	صفر	۱
کوتاه	بلند	صفر	۲
کوتاه	بلند	کم	۳
کوتاه	کوتاه	متوسط	۴
...	...	...	...

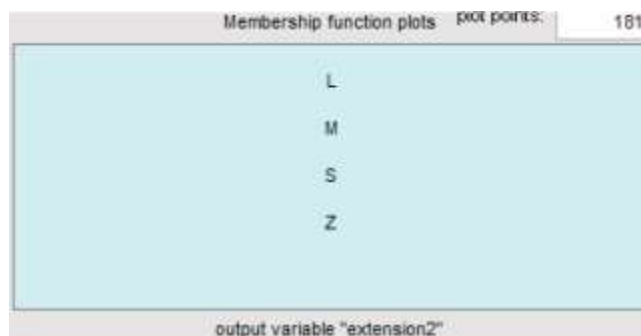
برای سیستم استنتاج فازی سوگنو دوم، شکل ۶ و ۷ توابع عضویت متناظر متغیرهای ورودی را نشان می - دهد: توسعه و صف از سه مسیر دیگر. شکل ۸ توابع عضویت متغیر خروجی "توسعه ۲" را برای سیستم استنتاج فازی دوم نشان می دهد. جدول ۲ نمونه هایی از قواعد سیستم استنتاج فازی سوگنو دوم را نشان می دهد.



شکل ۶- توابع عضویت متغیر ورودی "توسعه" برای سیستم استنتاج فازی سوگنو دوم



شکل ۷- توابع عضویت متغیر ورودی "Q" برای سیستم استنتاج فازی سوگنو دوم



جدول ۲- مثال هایی از قواعد سیستم استنتاج فازی سوگنو دوم

توسعه ۲	صف	توسعه	قواعد
صفر	کوتاه	صفر	۱
کوتاه	کوتاه	کوتاه	۲
کوتاه	متوسط	کوتاه	۳
متوسط	کوتاه	متوسط	۴
...	...	...	...

## ۳-۳. ماژول فاز تعویض

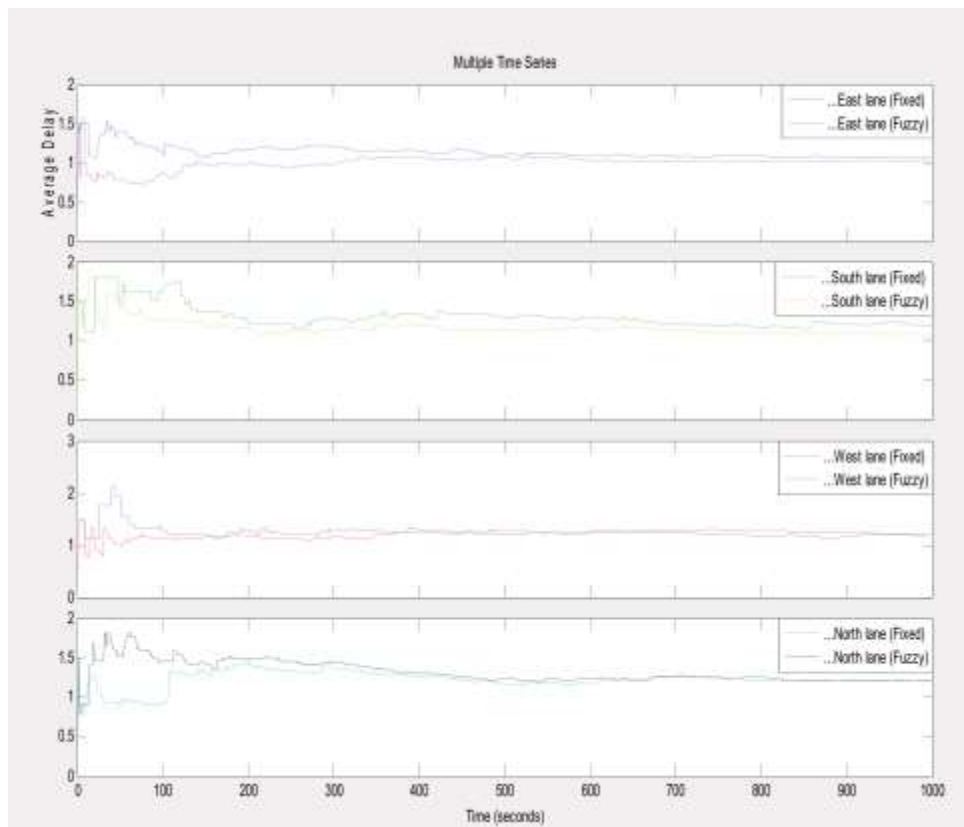
ماژول تعویض، فاز فعلی را به فاز بعدی مناسب (بر پایه‌ی ورودی‌های برگرفته از خروجی ماژول فاز سبز و ماژول فاز بعدی) تغییر می‌دهد. اساساً این ماژول فاز فعلی را به فاز بعدی بر پایه‌ی خروجی‌های ماژول فاز سبز تغییر می‌دهد. اگر سایر فازها صف بلندتری از صف فاز فعلی داشته باشند، ماژول فاز بعدی به ماژول تعویض سیگنال می‌دهد که به فازي که بیشترین طول صف را دارد تغییر کند. خروجی ماژول فاز سبز به ورودی ماژول فاز تعویض، طول زمان توسعه فاز بعدی را بر پایه‌ی شرای مشاهده شده از سایر فازها محاسبه می‌کند.

## ۴. نتیجه‌گیری

عملکرد کنترل کننده‌ی فازی سوگنو با شبیه‌سازی‌های زیر ارزیابی شده است. شبیه‌سازی برای تقاطع ایزوله در مطلب انجام شده، و روش چرخه-ثابت و روش فازی تحت شرایط یکسانی شبیه‌سازی شده‌اند. تاخیر متوسط و خروج متوسط وسایل نقلیه در تقاطع به عنوان شاخص‌های عملکرد مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج شبیه‌سازی در جدول ۳ خلاصه شده است. شاخص‌ها در ثانیه اندازه‌گیری شده‌اند، و همانطور که در جدول مشاهده می‌شود روش فازی بهبود قابل توجهی نسبت به روش چرخه-ثابت دارد، که این بهبود از % ۰/۷۵ به % ۱۷/۶۱ در هر فاز است (شکل ۹). عملکرد هر فاز برای نشان دادن دقیق اختلاف در زمان تاخیر برای هر فاز، بین کنترل کننده‌ی چرخه-ثابت و کنترل کننده‌ی فازی در شکل ترسیم شده است. تاخیر متوسط برای هر چهار فاز برای کنترل کننده‌ی فازی کمتر از کنترل کننده‌ی چرخه-ثابت است.

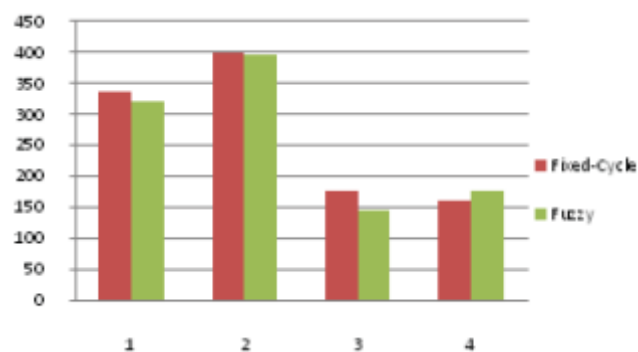
جدول ۳- عملکرد فاز

مقایسه چرخه ثابت با فازی	فازی (ثانیه)	چرخه ثابت (ثانیه)	فاز	اندیس
۳/۹۶٪	۱/۰۸۱۰۰۰	۱/۰۶۰۰۰۰	۱	میانگین تأخیر
۱/۶۴٪	۱/۱۹۹۰۰۰	۱/۲۱۹۰۰۰	۲	
۱/۴۲٪	۱/۱۸۳۰۰۰	۱/۲۰۰۰۰۰	۳	
۹/۶۷٪	۱/۰۷۴۰۰۰	۱/۱۸۹۰۰۰	۴	
۵/۳۳٪	۳۲۰	۳۳۸	۱	میانگین خروج
۰/۷۵٪	۳۹۶	۴۰۰	۲	
۱۷/۶۱٪	۱۴۵	۱۷۶	۳	
-۸/۰۲٪	۱۷۵	۱۶۲	۴	



شکل ۹- مقایسه میانگین تاخیر برای هر چهار فاز در کنترل کننده چرخه ثابت و فازی

شکل ۱۰ مقایسه‌ی خروجی متوسط بین کنترل کننده‌ی چرخه-ثابت و کنترل کننده‌ی فازی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، اساساً تعداد خروج‌ها برای کنترل کننده‌ی فازی کمتر از کنترل کننده‌ی چرخه-ثابت است. از این رو، عملکرد کلی روش فازی بهتر از روش چرخه-ثابت است.



شکل ۱۰- مقایسه میانگین خروجی چرخه ثابت و فازی

روش فازی عملکرد بهتری را در طول شبیه سازی برای تقاطع ایزوله نشان می دهد. تاثیرگذاری کنترل کننده ی فازی سوگنو بهتر از کنترل کننده ی سنتی چرخه-ثابت است و این به دلیل قابلیت انطباق در شرایط مختلف ترافیکی است. تمدید چرخه-ثابت نیست و می تواند طول فاز سبز را بر اساس شرایط ترافیکی تقاطع محاسبه کند، که همین قابلیت، باعث برتری این روش می شود. روش فازی بررسی شده در این مقاله می تواند برای تقاطع های چند خطه هم مورد استفاده قرار گیرد.

## ۵. مراجع

۱. Tan Kok Khiang, Marzuki Khalid, Rubiyah Yusof, (۱۹۹۵) "*Intelligent Traffic Light Control By Fuzzy Logic*", Malaysian Journal of Computer Science.
۲. Syed Ali Abbas, Syed Muhammad Sheraz, and Humera Noor, (۲۰۰۹), "*Fuzzy Rule Based Traffic Signal Control System for Oversaturated Intersection*", The International Conference of Computational Intelligence and Intelligent Systems to be held under World Congress on Engineering, London, UK.
۳. Marzuki Khalid, See Chin Liang, and Rubiyah Yusof, (۲۰۰۴) "*Control of a Complex Traffic Junction using Fuzzy Inference*", ۵<sup>th</sup> Asian Control Conference, Melbourne Australia.
۴. Azura Che Soh, Markuzi Khalid, Mohammad Hamiruce Marhaban and Rubiyah Yusof, (۲۰۰۸) "*Multilane-Multiple Traffic Intersection Using Fuzzy Inference*", Regional Student Conference on Research and Development, UTM Skudai, Malaysia.
۵. Azura Che Soh, Markuzi Khalid, Rubiyah Yusof and Mohammad Hamiruce Marhaban, (۲۰۰۷) "*Modelling and Optimisation of a Traffic Intersection Based on Queue Theory and Markov Decision Control Methods*" Asia Modelling Symposium, Phuket, Thailand.