



## طراحی کنترلر های فازی توسط الگوریتم های ژنتیکی

اشکان محمدزاده جسور

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تبریز

AM\_JASOUR80@YAHOO.COM

چکیده- با توجه به اینکه کنترلر های فازی، توانایی خود را در کاربردهای مختلفی نشان داده اند، علاقه روزافزونی برای طراحی کنترلر های فازی، مخصوصاً با استفاده از روش های هوشمند وجود دارد. در این مقاله، روشی اتوماتیک برای طراحی کنترلر های فازی، با به کارگیری الگوریتم های ژنتیکی، ارائه شده است. در این روش، توابع عضویت، قوانین فازی و تعداد قوانین به صورت همزمان تعیین می شوند. تابع معیار مورد استفاده قرار گرفته شده بر اساس معیارهای زمانی سیستم کنترل، در نظر گرفته می شود. روش ارائه شده بر روی یک سیستم اتومبیل شبیه سازی شده و کارایی آن، با مقایسه نتایج طراحی، با کنترلر مرجع طراحی شده توسط افراد کارشناس، نشان داده شده است.

کلید واژه- الگوریتم های ژنتیکی، پایگاه داده ها، پایگاه قوانین، سیستم فازی ژنتیکی، کنترلر فازی

### ۱- مقدمه

روش های مختلفی بر اساس قابلیت یادگیری در کنترلر های فازی مطرح شده است. این نوع کنترلر ها، علاوه بر قابلیت تصمیم گیری به طریقه فازی، قابلیت ایجاد یا بهبود قوانین کنترلی را بر اساس اطلاعات گذشته خود دارند. یکی از روش های مؤثر برای طراحی کنترلر های فازی، استفاده از الگوریتم های ژنتیکی می باشد. الگوریتم های ژنتیکی با الهام گیری از تئوری تکامل، به جستجوی کنترلر فازی مناسب که بتواند معیارهای طراحی را ارضا کند، می پردازند.

در این مقاله، ابتدا در بخش دو، ساختار کنترلر های فازی شرح داده می شود. در بخش سه، ساختار الگوریتم های ژنتیکی بررسی شده و در بخش چهار، سیستم های فازی ژنتیکی معرفی می شوند. در بخش پنجم، کنترلر فازی برای یک سیستم اتومبیل طراحی و شبیه سازی شده است. در بخش شش نتایج شبیه سازی و کارایی این روش، با مقایسه نتایج طراحی با کنترلر مرجع طراحی شده توسط

کنترلر های فازی، کنترلر های غیر خطی با ساختار خاص می باشند که کاربردهای موفقیت آمیزی از تئوری فازی را در مسائل عملی ارائه می نمایند. این کنترلر ها با به کارگیری تئوری فازی، رفتاری شبیه به آنچه، انسان خبره به هنگام کنترل سیستم انجام می دهد، نشان می دهند. کنترلر فازی برخلاف کنترلر های کلاسیک، بدون نیاز به مدل ریاضی از سیستم، با استفاده از تجربیات افراد خبره که در قالب قوانین اگر- آنگاه فازی بیان می شوند، به کنترل سیستم می پردازند. یکی از معایب اصلی کنترلر های فازی، عدم توانایی یادگیری آنها می باشد که باعث مورد استفاده قرار گرفتن دانش و تجربه افراد کارشناس و متخصص در قالب پایگاه اطلاعات در این کنترلر ها می شود [1]. به منظور رفع این مشکل و اتوماتیک کردن طراحی کنترلر های فازی، می توان از یک پروسه یادگیری استفاده کرد.

## ۲-۱- فازی کننده

فازی کننده، ورودی غیر فازی را به مجموعه های فازی تعریف شده می نگارد و به هر ورودی غیر فازی، یک مجموعه فازی نسبت می دهد.

## ۲-۲- پایگاه اطلاعات

این بخش حاوی اطلاعات لازم در مورد متغیرهای ورودی و خروجی کنترلر و روابط حاکم بین آنها می باشد. این بخش خود از دو قسمت پایگاه داده ها (Data Base) و پایگاه قوانین (Rule Base) تشکیل می شود.

## ۲-۲-۱- پایگاه داده ها

این بخش تعاریف لازم در مورد توابع عضویت مربوط به عبارات کلامی و توابع مقیاس گذاری (Scaling Function) را فراهم می کند.

## ۲-۲-۲- پایگاه قوانین

این بخش از قوانینی به فرم جملات شرطی "اگر- آنگاه" تشکیل شده است که با استفاده از آنها خروجی کنترلر تعیین می شود.

## ۲-۳- سیستم استنتاج

در این بخش با توجه به ورودی فازی کننده، اطلاعات پایگاه قوانین و با استفاده از روش های استنتاج فازی، خروجی کنترل کننده تعیین می شود.

## ۲-۴- غیر فازی کننده

غیر فازی کننده، مجموعه فازی خروجی سیستم استنتاج را به یک نقطه غیر فازی می نگارد. در حقیقت این بخش، نقطه ای را که بهترین نماینده مجموعه فازی است، مشخص می کند.

## ۳- الگوریتم ژنتیکی

الگوریتم ژنتیکی با الهام گیری از تئوری تکامل و اصول ژنتیک و وراثت به جستجوی راه حل مناسب برای مسائل می پردازد [4]. بدین منظور ابتدا چندین پاسخ تصادفی برای مسئله موردنظر تولید شده و در مراحل بعدی این

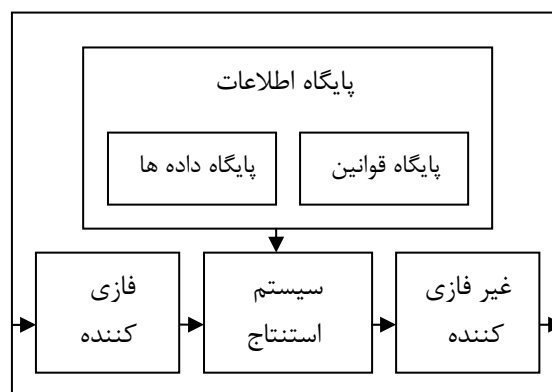
افراد کارشناس نشان داده می شود. در نهایت در بخش هفت، به نتیجه گیری می پردازیم.

## ۲- کنترلر های فازی

با به کار گیری نظریه مجموعه های فازی در کنترلر، مسئله تعیین دقیق مدل ریاضی و محاسبات لازم در روش های متعارف طراحی کنترلر ها، منتفی شده و به کارگیری تجربیات و نحوه تفکر انسانی در کنترلر ها، ممکن می شود.

در منطق فازی به هر متغیر به جای یک عدد تابعی در فضای آن متغیر نسبت داده می شود که بیانگر میزان تعلق متغیر به هر نقطه از فضا است. خود متغیرها نیز متغیرهای کلامی هستند، بدین معنی که می توانند واژه هایی از زبان طبیعی را به عنوان مقدار خود بپذیرند. این واژه ها بوسیله مجموعه های فازی در محدوده ای که متغیرها تعریف شده اند، مشخص می شوند. به این واژه ها، عبارات کلامی (Linguistic terms) گفته می شود [2].

کنترلر های فازی در یک پروسه حلقه بسته، با استفاده از مقادیر متغیرهای حالت سیستم، سیگنال کنترل را به منظور هدایت سیستم به سمت حالت مطلوب، تولید می کنند. یک، کنترلر فازی متشکل از چهار بخش است : فازی کننده (Fuzzifier)، پایگاه اطلاعات (Knowledge Base)، سیستم استنتاج (Inference System) و غیر فازی کننده (Defuzzifier) [1,3]. ساختار کنترلر فازی به صورت شکل ۱ می باشد.



شکل ۱: ساختار کنترلر فازی

تعیین شده، از والد دوم و بقیه ژن ها از والد اولی کپی می شوند.



شکل ۲: Two Point Crossover

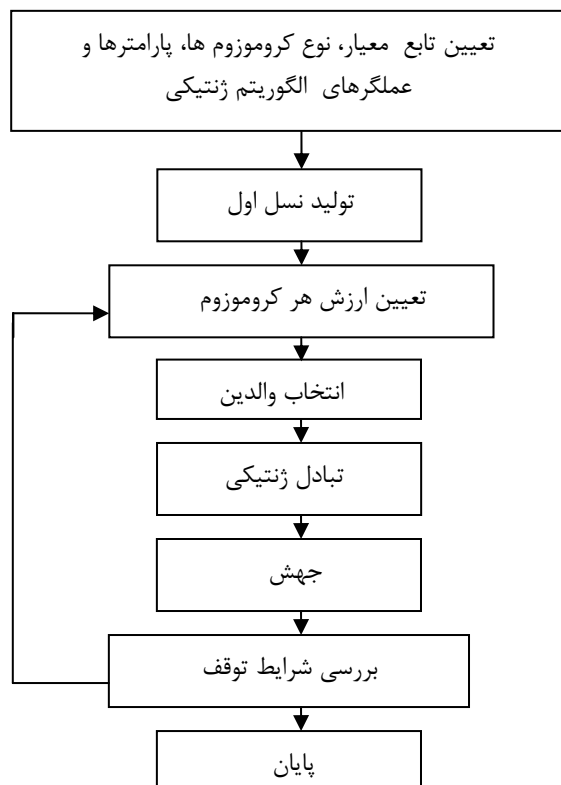
## ۵- جهش (Mutation)

تعدادی از ژن های کروموزوم های نسل جدید (Mutation Rate) به غیر از کروموزوم نخبه به صورت تصادفی انتخاب شده و مقادیر آنها تغییر داده می شود. بدین وسیله می توان به کروموزوم های کاملاً جدید دست یافت.

۶- بازگشت به مرحله ۲ و تکرار مراحل تا زمانی که شرایط توقف برآورده شود. شرایط توقف عبارتند از :

- ۱- همگرایی الگوریتم و عدم تغییر بهترین کروموزوم برای تعداد نسل های از پیش تعریف شده.
- ۲- تکمیل شدن تعداد نسل های از پیش تعریف شده.

ساختار الگوریتم ژنتیکی به صورت شکل ۳ می باشد.



شکل ۳: ساختار الگوریتم ژنتیکی

پاسخ های ابتدایی با استفاده از اصول ژنتیک به تکامل رسیده و به پاسخ مناسب تبدیل می شوند.

در ادامه مراحل الگوریتم ژنتیکی شرح داده می شود [5].

## ۱- تولید نسل اول

تولید  $N_{pop}$  پاسخ تصادفی برای مسئله، که هر یک از این پاسخ ها در قالب یک کروموزوم به صورت مناسبی کد می شوند.

## ۲- ارزش گذاری

تابع معیار با توجه به میزان موفقیت هر کروموزوم در حل مسئله ارزش آنها را معین می کند. به بهترین کروموزوم هر نسل، کروموزوم نخبه (Elite) گفته می شود.

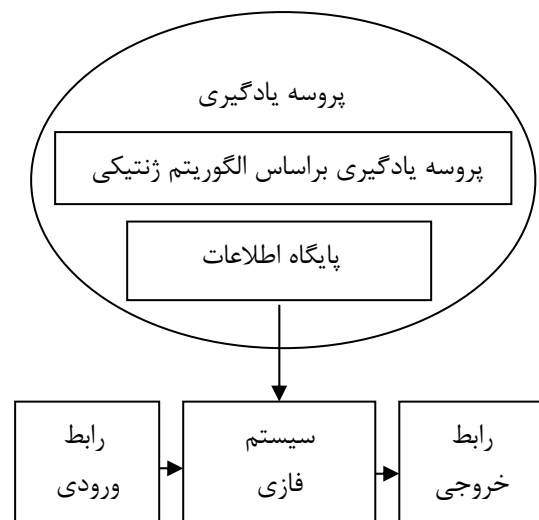
۳- کروموزوم ها بر حسب تابع معیار به صورت نزولی مرتب شده و فقط  $X\%$  از کروموزوم ها حفظ شده و بقیه به دور ریخته می شوند. احتمال حفظ هر کروموزوم متناسب با میزان شایستگی آن می باشد به نحوی که کروموزوم هایی که ارزش بیشتری داشته باشند، احتمال بیشتری برای بقا دارند. برای جایگزینی کروموزوم های دور ریخته شده، کروموزوم های باقیمانده به صورت دوبرو به عنوان والدین انتخاب می شوند تا کروموزوم های فرزند را تولید کنند. برای انتخاب والدین روش های متفاوتی وجود دارد. در این مقاله از روش Tournament Selection استفاده شده است. در این روش ابتدا مجموعه کوچکی از کروموزوم ها به صورت تصادفی انتخاب شده و سپس از بین این کروموزوم ها، دو کروموزومی که دارای ارزش بیشتری هستند به عنوان والدین انتخاب می شوند.

## ۴- تبادل ژنتیکی (Crossover)

کروموزوم های والدین با مبادله کردن ژن های خود کروموزوم های فرزند را ایجاد می کنند. برای مبادله ژن ها روش های مختلفی وجود دارد. در این مقاله از روش Two Point Crossover استفاده شده است. در این روش که در شکل ۲ قابل مشاهده است دو مکان از کروموزوم های والدین انتخاب می شود. در این حالت برای تشکیل کروموزوم فرزند، رشته های ژن از آغاز تا اولین مکان تعیین شده، از یک والد، رشته های ژن بین دومکان

#### ۴- سیستم های فازی ژنتیکی

طراحی اتوماتیک سیستم های فازی را می توان به صورت یک مسئله جستجو و بهینه سازی که هدف آن طراحی پایگاه اطلاعات است، در نظر گرفت. سیستم های فازی که به منظور یادگیری و بهینه سازی پایگاه اطلاعات از الگوریتم ژنتیکی استفاده می کنند، سیستم های فازی ژنتیکی نام دارند [1]. ساختار سیستم های فازی ژنتیکی به صورت شکل ۴ می باشد.



شکل ۴: ساختار سیستم های فازی ژنتیکی

عملکرد یک سیستم فازی ژنتیکی را می توان در یکی از سه گروه زیر طبقه بندی کرد [6]:

۱- تنظیم پایگاه داده ها

۲- یادگیری قوانین

۳- یادگیری پایگاه اطلاعات

که در زیر به معرفی مختصر هر یک می پردازیم.

#### ۴-۱- تنظیم ژنتیکی (Genetic Tuning)

در پروسه تنظیم فرض بر این است که یک کنترلر فازی با مجموعه قوانین مشخص موجود می باشد و هدف یافتن مقادیر بهینه پارامترهای پایگاه داده ها ( پارامترهای توابع عضویت و توابع مقیاس گذاری ) می باشد.

#### ۴-۲- یادگیری ژنتیکی پایگاه قوانین

در این پروسه فرض بر این است که توابع عضویت از پیش

تعریف شده ای در پایگاه داده ها موجود می باشد و هدف یافتن قوانین فازی است. سه روش به منظور یادگیری قوانین پیشنهاد شده است: روش میشیگان، روش پیتربرگ و روش یادگیری قوانین با تکرار. در روش میشیگان، هر کروموزوم نشان دهنده یک قانون فازی می باشد و در نتیجه برای نشان دادن کل قوانین، از جمعیتی از کروموزوم ها استفاده می کنیم [7]. در روش پیتربرگ، هر کروموزوم نشان دهنده کل پایگاه قوانین است به نحوی که ژن های آن از قوانین فازی تشکیل می شود [8]. در روش سوم که ترکیبی از دو روش قبلی است، هر کروموزوم نشان دهنده یک قانون فازی است به طوری که هر قانون فازی با روش تکرار و اجرای زیاد الگوریتم ژنتیکی وارد پایگاه قوانین می شود [9].

#### ۴-۳- یادگیری ژنتیکی پایگاه اطلاعات

در این پروسه، هیچ کنترلر فازی از پیش تعیین شده ای موجود نمی باشد و هدف یافتن کل پایگاه اطلاعات است. بدین منظور کروموزوم ها، پارامترهای توابع عضویت و قوانین فازی را در بر می گیرند. این پروسه دارای فضای جستجوی ناهمگون و گسترده ای است.

در این مقاله از روش یادگیری ژنتیکی پایگاه اطلاعات به منظور طراحی کنترلر فازی استفاده شده است.

#### ۵- طراحی کنترلر فازی برای یک اتومبیل

اتومبیلی با دینامیک زیر موجود می باشد:

$$T = K_1 V + K_2 \theta + m \dot{V} \quad (1)$$

که در آن  $T$  وضعیت دریچه کنترل بنزین،  $V$  سرعت اتومبیل،  $\dot{V}$  شتاب اتومبیل،  $\theta$  زاویه شیب جاده،  $m$  جرم اتومبیل،  $K_1$  ضریب اصطکاک بین چرخ ها و جاده و  $K_2$  برابر  $mg \sin \theta$  می باشند. در صورت استفاده از تقریب  $\dot{V} = V(n+1) - V(n)$  رابطه (۱) به صورت زیر در می آید:

$$V(n+1) = K_a V(n) + [1 - K_b] \begin{bmatrix} T(n) \\ \theta(n) \end{bmatrix} \quad (2)$$

که در آن  $K_a = 1 - \frac{K_1}{m}$ ،  $K_b = \frac{K_2}{m}$  می باشد.

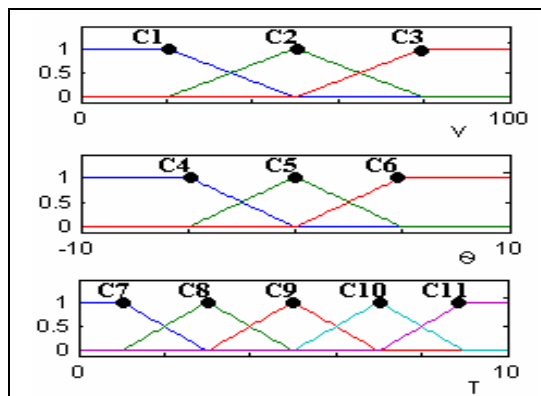
برای دستیابی به کنترلر فازی مورد نظر توسط الگوریتم ژنتیکی، مراحل زیر را اجرا می کنیم.

#### ۵-۱- تعیین کروموزوم ها

هر کروموزوم نشان دهنده کل پایگاه اطلاعات کنترلر فازی خواهد بود، به نحوی که ژن های آن پارامترهای توابع عضویت و قوانین فازی را دربر خواهد گرفت.

#### ۵-۱-۱- ژن های پایگاه داده ها

به منظور نشان دادن هر یک از توابع عضویت، از یک پارامتر که نشان دهنده محل پیک تابع عضویت است، استفاده می کنیم [1]. توابع عضویت به نحوی تعریف می شوند که مجموع توابع عضویت در تمام نقاط هر متغیر برابر یک شود. با استفاده از این روش، توابع عضویت و ژن های آن به صورت شکل ۶ خواهند بود.



$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	$C_{11}$
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	----------	----------

شکل ۶: ژن های توابع عضویت

هر یک از این ژن ها می توانند مقداری پیوسته را به خود بگیرند.

#### ۵-۱-۲- ژن های پایگاه قوانین

با توجه به این که حداکثر تعداد قوانین برابر ۹ است، از ۹ ژن برای تعریف پایگاه قوانین استفاده می کنیم. هر ژن نشان دهنده یک درایه از جدول تصمیم گیری می باشد و می تواند عدد صحیحی بین صفر تا پنج به خود بگیرد که بیانگر شماره تابع عضویت متغیر خروجی قانون فازی، متناسب با آن ژن است. در نتیجه کل ژن ها، مشخص کننده درایه های جدول تصمیم گیری خواهد بود [1].

محدوده تغییرات متغیرها به صورت:  $V=[0 \ 100]$ ،  $\theta = [-10 \ 10]$  و  $T=[0 \ 10]$  می باشند و

$$\frac{K_1}{m} = \frac{K_2}{m} = 0.1 \text{ فرض شده است.}$$

هدف طراحی کنترلر فازی می باشد که با توجه به سرعت اتومبیل و شیب جاده، سرعت اتومبیل را به مقدار ۵۰ برساند [10]. کنترلر فازی باید با توجه به  $V$ ،  $\theta$  و  $T$  را تعیین کند. به منظور یافتن همزمان، توابع عضویت متغیرهای  $V$ ،  $\theta$ ،  $T$  و قوانین فازی حاکم بر آن ها و نیز تعداد قوانین، از یک الگوریتم ژنتیکی استفاده می کنیم. نخست در محدوده تغییرات هر یک از متغیرهای ورودی کنترلر، سه مجموعه فازی و برای متغیر خروجی کنترلر پنج مجموعه فازی در نظر گرفته و آنها را به صورت زیر نامگذاری و مرتب می کنیم:

برای متغیر  $V$ : High, OK, Low به ترتیب با اندیکس های ۱ تا ۳

برای متغیر  $\theta$ : Up, Level, Down به ترتیب با اندیکس های ۱ تا ۳

برای متغیر  $T$ : Low, Medium, High به ترتیب با اندیکس های ۱ تا ۵

در نتیجه ساختار قوانین کنترلر به صورت زیر خواهد بود:

$$\text{IF } (V = MF_i) \text{ AND } (\theta = MF_j) \\ \text{THEN } (T = MF_k) \quad 1 \leq i \leq 3, 1 \leq j \leq 3, 1 \leq k \leq 5$$

در این صورت حداکثر تعداد قوانین فازی برابر ۹ خواهد بود. می توان کلیه قوانین پایگاه اطلاعات را در یک جدول با نام جدول تصمیم گیری (Decision Table) به صورت شکل ۵ نشان داد [8].

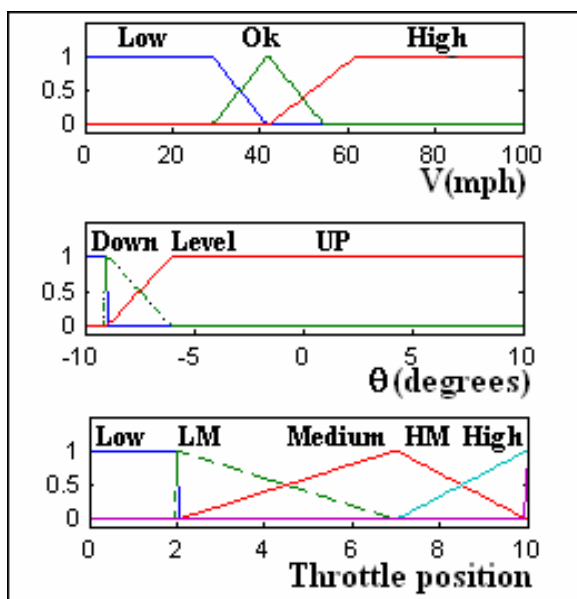
$V \backslash \theta$	UP	Level	Down
High	$A_{11}$	$A_{12}$	$A_{13}$
OK	$A_{21}$	$A_{22}$	$A_{23}$
Low	$A_{31}$	$A_{32}$	$A_{33}$

$$A_{ij} \in \mu(T) = \{\text{Low, LM, Medium, HM, High}\}$$

شکل ۵: جدول تصمیم گیری

## ۶- نتایج طراحی

با انتخاب تعداد اعضای جمعیت برابر ۱۰۰ و ۵۰٪ از هر نسل برای بقا و تولید نسل جدید و احتمال انجام جهش برابر ۲۰٪، الگوریتم ژنتیکی برای ۱۵۰ نسل اجرا شده که نتایج آن دستیابی به کنترلی با توابع عضویت و قوانین نشان داده شده در شکل های ۸ و ۹ می باشد.



شکل ۸: توابع عضویت کنترلر فازی طراحی شده توسط الگوریتم ژنتیکی

$V \backslash \theta$	UP	Level	Down
High	Medium		HM
OK	HM		HM
Low		Low	Low

شکل ۹: قوانین کنترلر فازی طراحی شده توسط الگوریتم ژنتیکی

ملاحظه می شود که در قوانین فازی از توابع عضویت LM و High مربوط به متغیر خروجی T استفاده نشده است و می توان این توابع عضویت را از مجموعه توابع عضویت متغیر T حذف کرد و به عبارتی تعداد توابع عضویت متغیر خروجی کنترلر توسط الگوریتم ژنتیکی مورد بهینه سازی قرار گرفته شده است.

نتایج طراحی، توسط افراد کارشناس به صورت شکل های ۱۰ و ۱۱ می باشد [10].

با توجه به شکل ۵ ژن ها به صورت شکل ۷ خواهند بود:

$A_{11}$	$A_{12}$	$A_{13}$	$A_{21}$	$A_{22}$	$A_{23}$	$A_{31}$	$A_{32}$	$A_{33}$
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

$A_{ij} \in \mu(T) = \{ \text{Low, LM, Medium, HM, High} \}$

شکل ۷: ژن های قوانین فازی

صفر بودن هر ژن، نشان دهنده حذف، قانون مربوط به آن ژن می باشد. در نتیجه بدین طریق می توان تعداد قوانین را نیز بهینه کرد. هر کروموزوم با کنار هم قرار گرفتن ژن های پایگاه داده و پایگاه قوانین تشکیل می شود، بدین ترتیب هر کروموزوم دارای ۲۰ ژن خواهد بود.

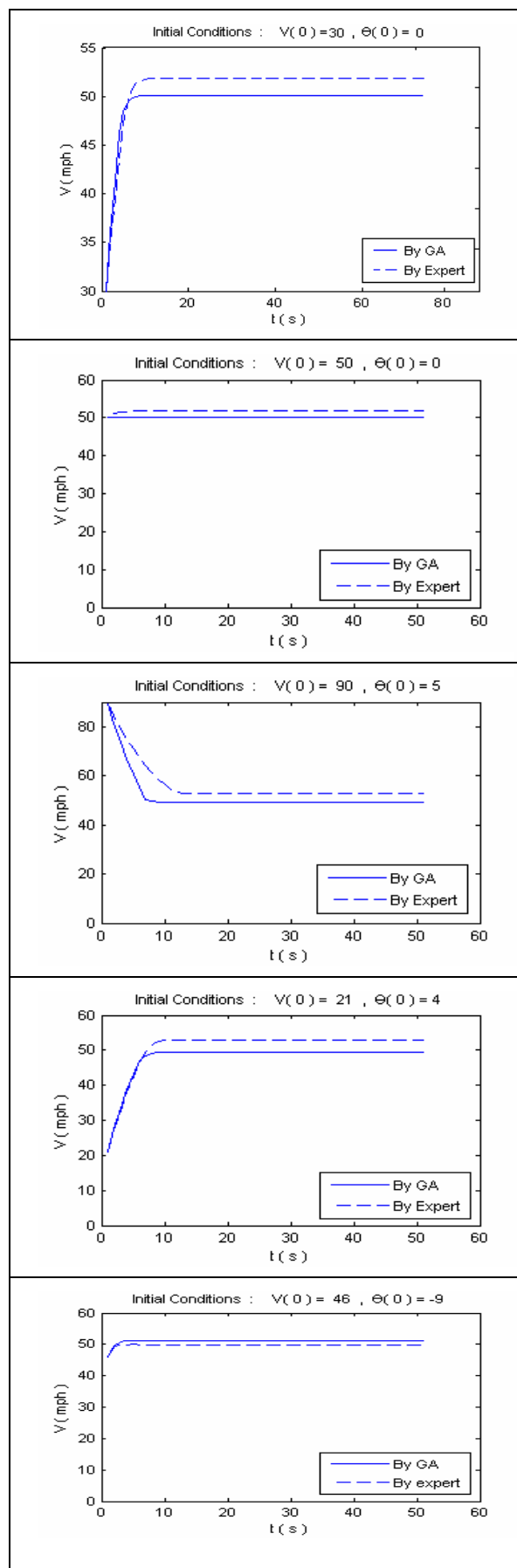
## ۵-۲- تابع معیار

برای تعیین ارزش هر کروموزوم، عملکرد کنترلر حاصل از آن کروموزوم، در حوزه زمان ارزیابی می شود. این ارزیابی بر اساس پاسخ زمانی گذرای اتومبیل ناشی از شرایط اولیه مختلف و پاسخ حالات دائم انجام می گردد. معیارهای مختلفی را می توان در ارزیابی پاسخ زمانی سیستم در نظر گرفت. بدین منظور معیارهای: زمان صعود (Tr)، حداکثر بالازدگی (Mp)، زمان تثبیت (ST) و خطای حالت دائمی (Ess) مورد استفاده قرار می گیرد و چون در جستجوی کنترل کننده ای با تعداد کمترین قوانین هستیم، تعداد قوانین (Rn) را نیز در تابع معیار در نظر می گیریم. در این صورت الگوریتم ژنتیکی در جستجوی کروموزومی خواهد بود که تابع معیار را، مینیمم کند. چون معیارهای فوق ارتباط متقابل با هم دارند لذا برای هر یک از معیارها وزنی (w) در نظر گرفته می شود که باید با توجه به اهمیت آن معیار، توسط طراح تعیین گردد. بدین ترتیب تابع معیار (F) به فرم زیر خواهد بود:

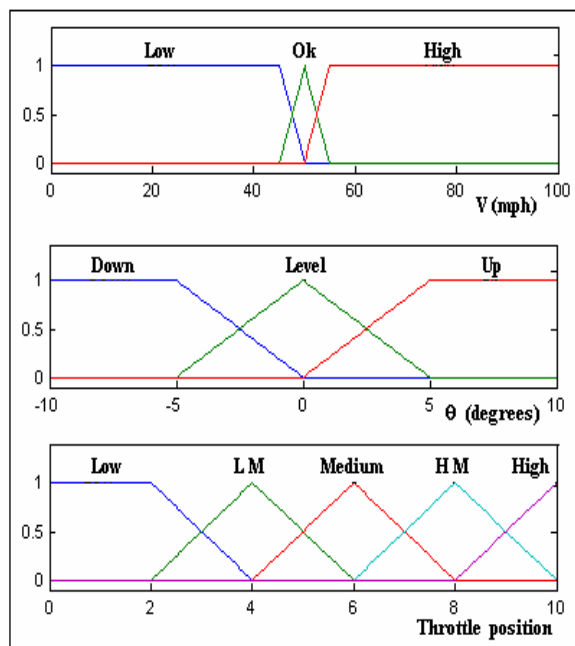
$$F = W_1 T_r + W_2 M_p + W_3 S_T + W_4 E_{ss} + W_5 R_n \quad (3)$$

میانگین مقادیری که، تابع معیار در ازای شرایط اولیه مختلف برای یک کنترلر ایجاد می کند، بعنوان ارزش آن کروموزوم انتخاب می شود.

بدین ترتیب با انتخاب عملگرها و پارامترهای الگوریتم ژنتیکی عمل طراحی توسط، الگوریتم ژنتیکی را انجام می دهیم.



شکل ۱۲ : پاسخ زمانی دو کنترلر به ازای شرایط اولیه مختلف



شکل ۱۰ : توابع عضویت کنترلر فازی طراحی شده توسط افراد کارشناس

$V \backslash \Theta$	UP	Level	Down
High	LM	LM	Low
OK	HM	Medium	LM
Low	High	HM	HM

شکل ۱۱ : قوانین کنترلر فازی طراحی شده توسط افراد کارشناس

پاسخ های زمانی دو کنترلر فوق به ازای شرایط اولیه مختلف در شکل ۱۲ مقایسه شده اند.

مشاهده می شود که کنترلر فازی طراحی شده توسط الگوریتم ژنتیکی با تعداد قوانین کمتر می تواند سیستم مورد نظر را همانند کنترلر طراحی شده توسط افراد کارشناس و در بیشتر مواقع بهتر از آن ، کنترل کند.



and New Trends”, Dept.Computer Science and A.I., University of Granada.

#### ۷- نتیجه گیری

در این مقاله ، روشی برای طراحی کنترلر فازی توسط الگوریتم ژنتیکی ارائه شد. در این روش توابع عضویت ، قوانین فازی و تعداد قوانین بطور همزمان تعیین گردیدند. سپس با استفاده از این روش، کنترلر فازی برای سیستم اتومبیل طراحی شد و با مقایسه پاسخ این کنترلر با پاسخ کنترلر طراحی شده توسط افراد کارشناس ، کارایی این روش طراحی، نشان داده شد.

#### سپاسگزاری

در انتها لازم می دانم از زحمات و راهنمایی های استاد گرامی جناب آقای دکتر وکیلی باغمیشه، استادیار گروه کنترل دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تبریز، که در طول این تحقیق مرا یاری کرده اند، تشکر و قدردانی نمایم.

#### مراجع

- [7] A.Bonarini, “ Evolutionary Learning of Fuzzy Rules:Competition and Cooperation. In W.Pedrycz, Editor,Fuzzy Modelling: Paradigms and Practice,pp.265-284.Kluwer Academic Press, Norwell, MA, 1996.
- [8] D.T.Pham, D.Karaboga, “Optimum Design of Fuzzy Logic Controllers Using Genetic Algorithm”, Journal of Systems Engineering,1:114-118,1991.
- [9] A.Gonzalez, R.Perez, “A Genetic Learning System Based on an Iterative Approach “, IEEE Transaction on Fuzzy Systems, 1999.
- [10] T.J.Ross “Fuzzy Logic With Engineering Applications”, Second Edition.

- [1] O.Cordon, F.Herrera, F.Hoffmann, Luis Magdalena,”Genetic Fuzzy Systems: Evolutionary Tuning and Learning of Fuzzy Knowledge Base“, Advances in Fuzzy System-Applications and Theory,Vol.19.
- [2] J.SH.R Jang, C.Tsai Sun, E.Mizutani, “Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence”, Prentice Hall.
- [3] C.C.Lee, “ Fuzzy Logic in Control Systems:Fuzzy Logic Controller-Part I”,IEEE,Trans.Syst.Man Cybern. Vol.20, pp.404-435,Mar/Apr.1990.
- [4] D.Goldberg, “Genetic Algorithms in Search,Optimization,and Machine Learning”,Addison-Wesley,1989.
- [5] R.L.Haupt, S.E Haupt, “Practical Genetic Algorithms”, Second Edition
- [6] L.Magdalena, “Ten Years of Genetic Fuzzy Systems:Current Frame work