



## ۱-۱ چرا سیستم های فازی؟

واژه فازی<sup>۱</sup> در فرهنگ لغت آکسفورد بصورت مبهم، گنگ، نادقیق، گیج، مغشوش، در هم و نامشخص، تعریف شده است. ما در متن همان واژه فازی استفاده می کنیم. سیستمهای فازی، سیستمهایی هستند با تعریف دقیق و کنترل فازی نیز نوع خاصی از کنترل غیر خطی می باشد که آنهاً دقیقاً تعریف می گردد. این مطلب مشابه کنترل و سیستم های خطی می باشد که واژه خطی یک صفت فنی بوده که حالت و وضعیت سیستم و کنترل را مشخص می کند. چنین چیزی در مورد واژه فازی نیز وجود دارد. اساساً گرچه سیستم های فازی پدیده های غیر قطعی و نامشخص را توصیف می کنند، با این حال خود تئوری فازی یک تئوری دقیق می باشد. در این متن دو نوع توجیه برای تئوری سیستم های فازی وجود دارد:

- دنیای واقعی ما بسیار پیچیده تر از آن است که بتوان یک توصیف و تعریف دقیق برای آن بدست آورد بنابراین باید یک توصیف تقریبی یا همان فازی که قابل قبول و قابل تجزیه و تحلیل باشد، برای یک مدل معرفی شود.
- با حرکت ما بسوی عصر اطلاعات، دانش و معرفت بشری بسیار اهمیت پیدا می کند. بنابراین ما به فرضیه ای نیاز داریم که بتواند دانش بشری را به شکلی سیستماتیک فرموله کرده و آنرا به همراه سایر مدل‌های ریاضی در سیستم های مهندسی قرار دهد.

توجیه اول گرچه درست است، با این حال طبیعت واحدی را برای تئوری سیستمهای فازی مشخص نمی کند. در حقیقت تمامی نظریه های علوم مهندسی، دنیای واقعی را به شکلی تقریبی، توصیف می کنند. بعنوان مثال در عالم واقع تمامی سیستمهای خطی می باشد. یک تئوری مهندسی خوب از یکسو باید بتواند مشخصه های اصلی و کلیدی دنیای واقعی را توصیف کرده و از سویی دیگر قابل تجزیه تحلیل ریاضی باشد. بنابراین از این جنبه تئوری فازی تفاوتی با سایر تئوری های علوم مهندسی ندارد.

توجیه دوم مشخصه واحدی از سیستم های فازی را توصیف کرده و وجود تئوری سیستمهای فازی را به عنوان یک شاخه مستقل در علوم مستقل را در علوم مهندسی توجیه می کند. بعنوان یک قاعده کلی یک تئوری مهندسی خوب باید قادر باشد از تمامی اطلاعات موجود به نحو مؤثری استفاده کند.

در سیستم های عملی اطلاعات مهم از دو منبع سرچشمه می گیرند. یکی از منابع افراد خبره می باشند که دانش و آگاهی‌شان را در مورد سیستم با زبان طبیعی تعریف می کنند. منبع دیگر اندازه گیری ها و مدل‌های ریاضی هستند که از قواعد فیزیکی مشتق شده اند. بنابراین یک مسئله مهم ترکیب این دو نوع اطلاعات در طراحی سیستمها است برای انجام این ترکیب سؤال کلیدی این است که چگونه می توان دانش بشری را در چهارچوبی مشابه مدل‌های ریاضی فرموله کرد. به عبارت دیگر سؤال اساسی این است که چگونه می توان دانش بشری را به یک فرمول ریاضی تبدیل کرد. اساساً آنچه که

<sup>۱</sup> - Fuzzy



یک سیستم فازی انجام می دهد ، همین تبدیل است . برای اینکه بدانیم این تبدیل چگونه صورت می گیرد ، ابتدا باید بدانیم سیستم های فازی چگونه سیستم هایی هستند .

## ۱-۲ سیستم های فازی چگونه سیستم های هستند ؟

سیستمهای فازی ، سیستم های مبتنی بر دانش یا قواعد ۲ می باشند . قلب یک سیستم فازی یک پایگاه دانش بوده که از قواعد اگر - آنگاه فازی تشکیل شده است . یک قاعده اگر - آنگاه فازی یک عبارت اگر - آنگاه بوده که بعضی کلمات آن بوسیله توابع متعلق پیوسته مشخص شده اند . بعنوان مثال عبارت فازی زیر را در نظر بگیرید :

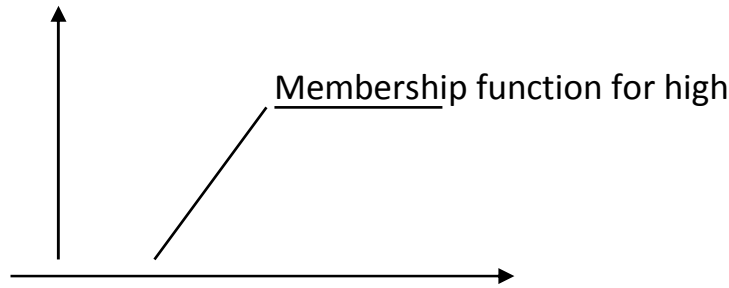
اگر سرعت اتومبیل بالا است ، آنگاه نیروی کمتری به پدال گاز وارد کنید.

که کلمات بالا و کم بوسیله توابع تعلق نشان داده شده در اشکال مشخص شده اند . یک سیستم فازی از مجموعه ای از قواعد اگر - آنگاه فازی ساخته می شود . به دو مثال توجه کنید .

مثال : فرض کنید می خواهیم کنترل کننده ای طراحی کنیم که سرعت اتومبیل را بطور خودکار کنترل کند . بطور کلی دو راه حل برای طراحی چنین کنترل کننده ای وجود دارد یک راه حل استفاده از کنترل کننده های متعارف نظیر PID بوده و راه حل دوم ، شبیه سازی رفتار رانندگان است بدین معنی که قواعدی که راننده در حین حرکت استفاده می کند را به کنترل کننده خودکار تبدیل نماییم . ما راه حل دوم را در نظر می گیریم . در صحبت های عامیانه راننده ها در شرایط طبیعی از سه قاعده زیر در حین رانندگی استفاده می کنند :

۱. اگر سرعت پایین است ، آنگاه نیروی بیشتری به پدال گاز وارد کنید .
۲. اگر سرعت متوسط است ، آنگاه نیروی متعادلی به پدال گاز وارد کنید .
۳. اگر سرعت بالا است ، آنگاه نیروی کمتری به پدال گاز وارد کنید .

کلمات « پایین » « بیشتر » « متوسط » ، « متعادل » « بالا » و « کمتر » بوسیله توابع تعلق مشابه اشکال مشخص می شوند . البته لازم به ذکر است که در شرایط واقعی تعداد قواعد بیشتری نیاز خواهد بود . با این حال ما می توانیم یک سیستم فازی را بر اساس این قواعد بسازیم . از آنجا که سیستم فازی بعنوان کنترل کننده استفاده شده ، انرا کنترل کننده فازی نیز می نامند .



Speed(Mph)

45 55 65

تابع تعلق برای بالا که محور افقی نشاندهنده سرعت اتومبیل و محور عمودی نشاندهنده مقدار بالا می باشد.

مثال : در مثال ۱.۱ قواعد دستور العمل های کنترلی هستند بدین معنی که آنچه را که یک راننده در شرایط طبیعی انجام می دهد ، نشان می دهند . نوع دیگر دانش بشری ، توصیف هایی راجع به خود سیستم می باشد . فرض کنید شخصی در حال باد کردن یک بادکنک است . او می خواهد بداند چه مقدار بادکنک را قبل از آنکه بترکد اضافه کند بنابراین رابطه بین چند متغیر کلیدی بسیار مفید خواهد بود . در مورد بادکنک سه متغیر کلیدی وجود دارد : هوای داخل بادکنک ، میزان بزرگی و کوچکی و سفتی و نرم سطح بادکنک ما می توانیم رابطه بین این متغیرها را بوسیله قواعد فازی زیر بیان کنیم :

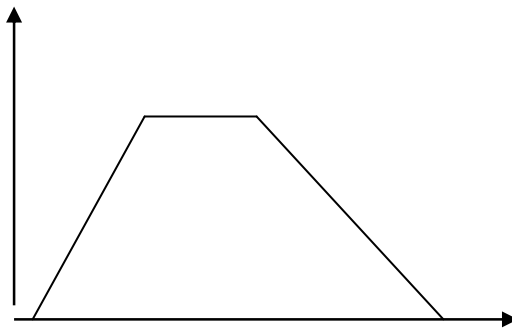
➤ اگر مقدار هوا کم باشد و آنرا اندکی افزایش دهیم ، آنگاه کشش سطح بادکنک اندکی افزایش خواهد یافت .

➤ اگر مقدار هوا کم باشد و آنرا خیلی افزایش دهیم ، آنگاه کشش سطح بادکنک خیلی افزایش خواهد یافت .

➤ اگر مقدار هوا زیاد باشد و آنرا اندکی افزایش دهیم ، آنگاه کشش سطح بادکنک بطور متعادل افزایش خواهد یافت .

➤ اگر مقدار هوا زیاد باشد و آنرا خیلی افزایش دهیم ، آنگاه کشش سطح بادکنک بسیار زیاد افزایش خواهد یافت .

که کلمات «کم» ، «اندکی» ، «زیاد» و ... بوسیله توابع تعلق مشابه اشکال مشخص می شوند . با ترکیب این قواعد در یک سیستم فازی ما یک مدل برای بادکنک بدست می آوریم .



Membership function for less

## Force to accelerator

تابع تعلق برای کمتر که محور افقی نشاندهنده نیروی اعمال به پدال گاز  
و محور عمودی نشاندهنده مقدار تعلق برای کمتر می باشد .

بطور خلاصه ، نقطه شروع ساخت یک سیستم فازی بدست آوردن مجموعه ای از قواعد اگر - آنگاه فازی از دانش  
افراد خبره یا دانش حوزه مورد بررسی می باشد . مرحله بعدی ترکیب این قواعد در یک سیستم واحد است . سیستم های  
فازی مختلف از اصول و روشهای متفاوتی برای ترکیب این قواعد استفاده می کنند .

بنابراین سؤال اساسی این است چه نوع سیستمهای فازی معمولاً استفاده میشود؟

در کتب و مقالات معمولاً از سه نوع سیستم فازی صحبت به میان می آید :

(۱) سیستم های فازی خالص

(۲) سیستمهای فازی تاکاگی - سوگنو و کانگ (Tsk)

(۳) سیستم های با فازی ساز و غیر فازی ساز

بطور خلاصه این سه نوع سیستم را شرح می دهیم .

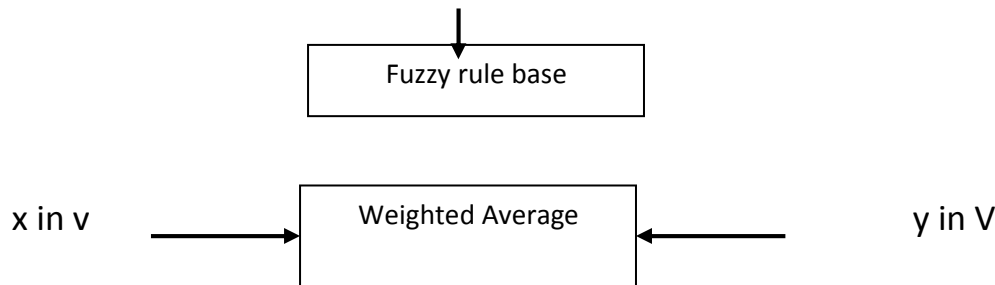
ساختار اصلی یک سیستم فازی خالص در شکل نشان داده شده است . پایگاه قواعد فازی مجموعه ای از قواعد اگر - نگاه  
را نشان می دهد . بعنوان مثال برای کنترل کننده اتومبیل در مثال بالا ، پایگاه قواعد فازی شامل قواعد بالا بوده و برای  
مدل بادکنک مثال ۱.۲ پایگاه قواعد فازی شامل قواعد بالا می باشد . موتور استنتاج فازی<sup>۳</sup> این قواعد را به یک نگاشت از



مجموعه های فازی در فضای ورودی به مجموعه های فازی در فضای خروجی بر اساس اصول منطق فازی ترکیب می کند . در شکل اگر خط نقطه چین وجود داشته باشد، چنین سیستمی ، سیستم فازی دینامیک نامیده می شود .

مشکل اصلی در رابطه با سیستمهای فازی خالص این است که ورودی ها و خروجی های آن مجموعه های فازی می باشند (واژه هایی در زبان طبیعی) . در حالی که در سیستم های مهندسی ، ورودی ها و خروجی ها متغیرهایی با مقادیر حقیقی می باشند . برای حل این مشکل، تاکاگی - سوگنو و کانگ نوع دیگری سیستم های فازی معرفی کرده اند که ورودی ها و خروجی های آن متغیرهایی با مقادیر واقعی هستند سیستم TSK بجای استفاده از قواعدی به شکل ۱.۱ از قواعدی بدین صورت استفاده می کند :

اگر سرعت اتومبیل (x) بالا است، آنگاه نیروی وارد بر پدال گاز برابر است با  $y=Cx$  که واژه بالا همان معنی داده و c یک عدد ثابت می باشد. مقایسه نشان می دهد که بخش آنگاه قاعده فازی از یک عبارت توصیفی با مقادیر زبانی به یک رابطه ریاضی ساده تبدیل شده است. این تغییر، ترکیب قواعد فازی را ساده تر می سازد. در حقیقت سیستم فازی TSK یک میانگین وزنی از مقادیر بخشهای آنگاه قواعد می باشد. ساختار اصلی سیستم فازی TSK در شکل ۱.۴ نشان داده شده است .



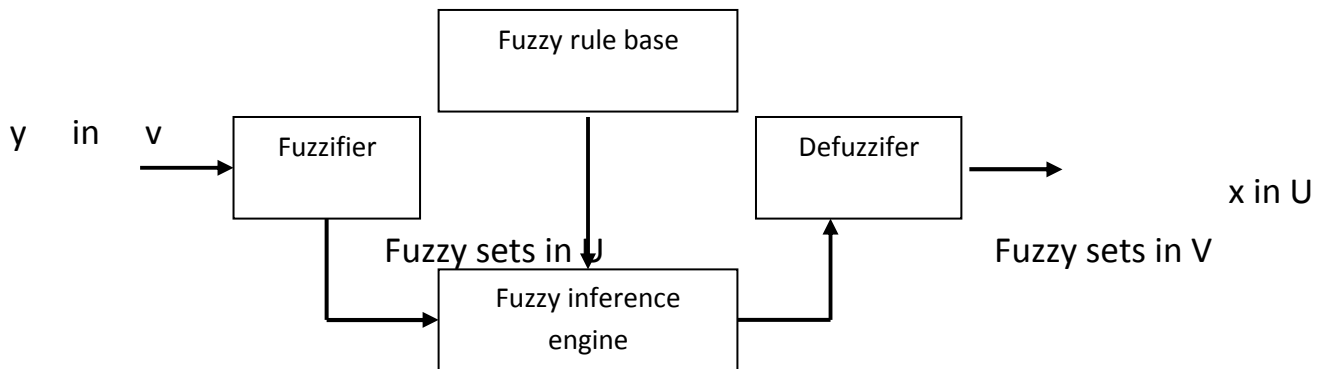
شکل ساختار اصلی سیستم فازی TSK

مشکلات عمده سیستم فازی TSK عبارتند از :

- (۱) بخش آنگاه قاعده یک فرمول ریاضی بوده و بنابراین چهارچوبی را برای نمایش دانش بشری فراهم نمی کند .
- (۲) این سیستم دست ما را برای اعمال مختلف منطق فازی باز نمی گذارد و در نتیجه انعطاف پذیری سیستمهای فازی در این ساختار وجود ندارد ، برای حل این مشکلات ما از نوع سومی از سیستمهای فازی یعنی سیستم های فازی با فازی سازها و غیر فازی سازها استفاده می کنیم .



به منظور استفاده از سیستم های فازی خالص در سیستم های مهندسی یک روش اضافه کردن یک فازی ساز در ورودی که متغیرهای با مقادیر حقیقی را به یک مجموعه فازی تبدیل کرده و یک غیر فازی ساز که یک مجموعه فازی را به یک متغیر با مقدار حقیقی در خروجی تبدیل می کند ، می باشد . نتیجه یک سیستم فازی با فازی ساز و غیر فازی ساز بوده که در شکل ۱.۵ نشان داده شده است . این سیستم فازی معایب سیستم فازی خالص و سیستم فازی TSK را می پوشاند . از این پس منظور ما از سیستم های فازی ، سیستم فازی با فازی ساز و غیر فازی ساز خواهد بود (مگر در مواردی که خلاف آن ذکر گردد) .



شکل ساختار اصلی سیستمهای فازی با فازی ساز و غیر فازی ساز

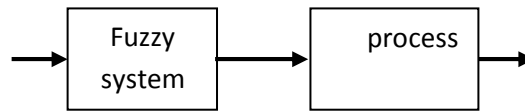
بعنوان نتیجه گیری برای این بخش لازم است بر روی یک مشخصه سیستم های فازی تأکید نماییم . سیستم های فازی از یک سو نگاهی به صورت چند ورودی و خروجی از یک بردار با مقادیر حقیقی به یک اسکالر با مقدار حقیقی بوده (نگاشت چند خروجی را می توان با ترکیب چند نگاشت یک خروجی بوجود آورد) که روابط دقیق ریاضی این نگاشت ها را می توان بدست آورد و از سویی دیگر سیستم های فازی ، سیستم های مبتنی بر دانش بوده که از روی دانش بشری به شکل قواعد اگر - آنگاه ساخته میشوند . جنبه مهم تئوری سیستم های فازی این است که یک فرآیند سیستماتیک برای تبدیل یک پایگاه دانش به یک نگاشت غیر خطی فراهم می سازد . بهمین دلیل ما قادر خواهیم بود که از سیستمهای مبتنی بر دانش ( سیستم فازی ) در کاربردهای مهندسی ( نظیر کنترل، پردازش سیگنال ، سیستم های مخابراتی و ... ) استفاده نماییم . همچنین از آنجا که ما می توانیم از مدل های ریاضی استفاده کنیم ، در نتیجه تجزیه تحلیل و طراحی سیستم ها را می توان بصورت یک مدل خشک ریاضی نیز انجام داد. هدف این کتاب نشان دادن این موضوع است که اولاً این تبدیل چگونه صورت می گیرد و ثانیاً تجزیه و تحلیل طراحی چگونه انجام می شود .

## ۳-۱ سیستم های فازی کجا و چگونه استفاده می شوند ؟

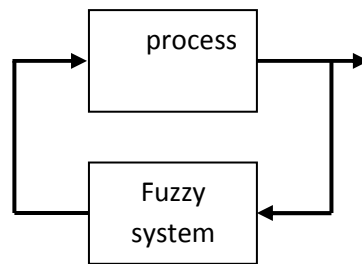
سیستم های فازی امروزه در طیف وسیعی از علوم و فنون کاربرد پیدا کرده اند ، از کنترل ، پردازش سیگنال، ارتباطات ، ساخت مدارهای مجتمع و سیستم های خبره گرفته تا بازرگانی ، پزشکی ، دانش اجتماعی و ... با این حال بعنوان یکی از



مهمترین کاربردهای آن حل مسائل و مشکلات کنترل را می توان بیان کرد . بنابراین ، خود را بر روی تعدادی از مسائل کنترل که سیستم های فازی نقش عمده ای را در آن بازی می کنند ، متمرکز می نماییم . سیستم های فازی را همانطور که در اشکال نشان داده شده می توان بعنوان کنترل کننده حلقه باز و یا کنترل کننده حلقه بسته مورد استفاده قرار داد . هنگامی که بعنوان کنترل کننده حلقه باز استفاده می شود ، سیستم فازی معمولاً بعضی از پارامترهای کنترل را معین کرده و آنگاه سیستم مطابق با این پارامترهای کنترل کار می کند . بسیاری از کاربردهای سیستم فازی در الکترونیک به این دسته تعلق دارند . هنگامی که سیستم فازی بعنوان یک کنترل کننده حلقه بسته استفاده می شود در این حالت خروجی های فرآیند را اندازه گیری کرده و بطور همزمان عملیات کنترل را انجام می دهد . کاربردهای سیستم فازی در فرآیند صنعتی به این دسته تعلق دارند . حال نحوه کاربرد سیستم های فازی را در تعدادی تولیدات مصرفی و سیستم های صنعتی شرح می دهیم .



سیستم فازی بعنوان کنترل کننده حلقه باز



سیستم های فازی بعنوان کنترل کننده حلقه بسته

## ۱.۳.۱ ماشین شستشوی فازی

ماشین های شستشوی فازی اولین محصول مصرفی بودند که از سیستم های فازی استفاده کردند . این ماشین ها اولین بار توسط شرکت ماتسوشیتا در ژاپن در سال ۱۹۹۰ عرضه شدند . آنها از سیستم فازی برای تنظیم اتوماتیک تعداد دورهای مناسب مطابق با نوع و میزان کثیفی و حجم لباس استفاده می کردند .



بطور دقیق تر سیستم فازی مورد استفاده یک سیستم سه ورودی ، یک خروجی است که سه ورودی فوق ، نوع کثیفی و مقدار اندازه گیری شده کثیفی و حجم لباس بوده و خروجی تعداد دوره های مناسب شستشو می باشد . بعنوان ورودی « سنسورهای » در این سیستم تعبیه شده ، این سنسورها که از نوع نوری می باشند ، میزان نوری را که از طرف مقابل ساطع شده و از آب عبور کرده اندازه گیری می نمایند . سنسور نوری همچنین می تواند معین کند که نوع کثیفی چیست ، لباس گل آلود است یا چرب ؟ گل در آب سریعتر حل می شود ، بنابراین اگر نور دریافتی بسرعت کاهش پیدا کند در آن صورت لباس گل آلود است در حالی که اگر لباس روغنی باشد ، کندتر در آب حل شده و کاهش نور دریافتی کندتر خواهد بود . ماشین همچنین دارای یک سنسور بار می باشد که حجم لباسها را ثبت می کند . واضح است که تعداد لباسهای بیشتر ، زمان بیشتری برای شستشو لازم دارد . موارد فوق را می توان در تعدادی قاعده اگر - آنگاه فازی برای ساخت یک سیستم فازی خلاصه کرد .

## ۱.۳.۲ تثبیت کننده تصویر دیجیتال

هر کس که با یک دوربین فیلم برداری کار کرده باشد ، می داند که فیلمبرداری بدون لرزش دست کار مشکلی است. برای تصحیح خطای ناشی از لرزش دست نوع جدیدی از دوربین ها به بازار عرضه شده است . این نوع دوربین ها که براساس سیستم های فازی می باشند تثبیت کننده تصویر دیجیتال نامیده شده اند . این سیستم ها بر اساس قواعد هیوریستیک<sup>۴</sup> زیر ساخته شده اند :

➤ اگر تمامی نقاط تصویر به یک جهت حرکت کرده اند آنگاه دست لرزش داشته است .

➤ اگر فقط تعدادی نقاط تصویر حرکت کرده است ، آنگاه دست لرزش نداشته است .

توضیح این که در این سیستم ، تثبیت کننده فریم فعلی را با تصاویر قبل در حافظه مقایسه می کند ، اگر کل تصویر جابجا شده باشد آنگاه مطابق با عبارت دست لرزش داشته و سیستم فازی فریم را تصحیح می کند . در غیر اینصورت به فریم دست نمی زند . بنابراین اگر یک ماشین داخل تصویر باشد آنگاه فقط بخشی از تصویر حرکت داشته و سیستم فازی حتی اگر دست نیز لرزش داشته باشد برای تصحیح آن اقدامی نمی کند

## ۱.۳.۳- سیستم های فازی اتومبیل

اتومبیل مجموعه ای از سیستم های مختلف می باشد . بخشهایی نظیر موتور ، انتقال نیرو ، ترمز ، هدایت و ... سیستم های فازی را به اغلب این بخشها میتوان اعمال نمود . بعنوان مثال شرکت نیشان سیستم انتقال نیروی اتوماتیکی به ثبت رسانده که ۱۲ تا ۱۷ درصد در مصرف سوخت صرفه جویی می کند . اساس عملکرد آن بدین صورت است که عمل تعویض دنده یا





انتقال نیرو هر زمان که اتومبیل از یک سرعت مشخصی عبور کرد باید انجام شود. بنابراین عمل تعویض دنده بطور مداوم حین رانندگی صورت نمی گیرد. و ضمن اینکه هر تعویض دنده خود باعث مصرف سوخت می شود. با اینحال راننده ها نه تنها بطور مداوم عمل تعویض دنده را انجام می دهند بلکه در اینکار به سرعت اتومبیل نیز توجهی نمی کنند. بعنوان مثال حتی در هنگام عبور از یک سربالایی ممکن است عمل تعویض دنده را به تأخیر بیندازند. سیستم فازی انتقال اتوماتیک نیسان این هیوریستیک ها را در مجموعه ای از قواعد اگر - آنگاه فازی خلاصه کرده و آنرا برای ساخت یک سیستم هدایت تغییر چرخ دنده ها مورد استفاده قرار داده است.

شرکت نیسان همچنین یک سیستم ترمز ضد قفل را ابداع کرده است. مسئله اصلی در اینجا اعمال حداکثر نیرو به ترمز بدون آنکه باعث قفل شدن آن بشود، می باشد. سیستم نیسان از چند هیوریستیک برای این منظور استفاده می کند. بعنوان مثال: اگر سرعت اتومبیل بسرعت در حال کاهش است آنگاه فرض بر این است که ترمز گرفته شده پس آنرا قفل و شل کن.

در آوریل ۱۹۹۲، متسوییشی یک سیستم فازی را معرفی کرد که عملیات انتقال، تعلیق، هدایت، تهویه و... را در اتومبیل بطور اتوماتیک کنترل می کرد. بعنوان مثال سیستم انتقال فازی، عمل تعویض به دنده های پایین را در سربالایی ها و سرازیری ها انجام داده و همچنین تعویض دنده نابجا جلوگیری می کرد. سیستم تعلیق شامل سنسورهایی در جلوی اتومبیل است که ارتعاشات را ثبت کرده و سیستم تعلیق را برای جلوگیری از تکانهای شدید، تنظیم می کند و بالاخره سیستم تهویه شرایط نور خورشید، درجه حرارت و رطوبت هوا را در نظر گرفته و هوای داخل اتومبیل را بهبود می بخشد.

## ۱.۳.۴ کنترل فازی کوره سیمان

سیمان بوسیله آسیاب کلینکر که ترکیبی از مواد معدنی است در یک کوره ساخته می شود. بدلیل اینکه عملکرد این کوره غیر خطی و متغیر با زمان می باشد و داده های نمونه برداری کمی نیز دارد، کنترل آن با استفاده از روشهای کنترل متعارف کاری مشکل است. در اواخر دهه ۱۹۷۰ شرکتی در دانمارک یک سیستم فازی را برای کنترل کوره سیمان ابداع نمود.

سیستم فازی (کنترل فازی) فوق چهار ورودی و دو خروجی داشت (که آنرا می توان بصورت دو سیستم فازی مطابق شکل ۱.۵ در نظر گرفت). ورودی های چهار گانه عبارت بودند از:

- (۱) در صد اکسیژن در گازهای آگزوز
- (۲) درجه حرارت گازهای آگزوز
- (۳) گشتاور آسیاب کوره
- (۴) وزن حجمی کلینکر



خروجی های این سیستم نیز:

۱) میزان زغال سنگ ریخته شده به کوره

۲) میزان جریان هوا می باشند.

مجموعه ای از قواعد اگر - آنگاه فازی رابطه خروجی ها را با ورودی ها مشخص می کند. بعنوان مثال:

➤ اگر درصد اکسیژن بالا و درجه حرارت پایین است، آنگاه جریان هوا را افزایش دهید.

➤ اگر درصد اکسیژن بالا و درجه حرارت بالا است، آنگاه میزان زغال سنگ را اندکی کاهش دهید.

سیستم فازی ای که با ترکیب این قواعد ساخته شده بود، در سال ۱۹۷۸ به مدت ۶ روز در کوره سیمان شرکت اسمیت در دانمارک بکار گرفته شد که نسبت به حالت کنترل توسط انسان و همچنین مصرف سوخت، بهبود را نشان می داد.

## ۱.۳.۵ کنترل فازی قطار زیر زمینی

یکی از مهمترین کاربردهای سیستمهای فازی را تا امروز می توان سیستم کنترل فازی متروی سندایی در ژاپن بر شمرد. مسیر شمال جنوبی این قطار بطول ۱۳/۶ کیلومتر و دارای ۱۶ ایستگاه می باشد. سیستم فازی آن چهار پارامتر را بطور همزمان در نظر می گیرد:

ایمنی، راحتی سرنشینان، رسیدن به سرعت مطلوب و دقت ترمز. سیستم فازی دارای دو بخش است: بخش کنترل کننده سرعت (که سرعت قطار را در حد مجاز نگاه می دارد) و بخش کنترل کننده توقف اتوماتیک (که سرعت قطار را تا توقف نهایی تنظیم می کند) بخش کنترل کننده سرعت از قواعد زیر استفاده می کند. برای ایمنی: اگر سرعت قطار به مرز مجاز نزدیک می شود، آنگاه بیشترین میزان ترمز را انتخاب کنید. برای راحتی سرنشینان: اگر سرعت قطار در محدوده مجاز است، آنگاه عملکرد کنترل ترمز را تغییر ندهید.

البته در سیستم واقعی از تعداد پارامترها و قواعد بیشتری استفاده شده است. سیستم توقف خودکار را می توان از روی چنین قواعدی بنا کرد:

برای راحتی سرنشینان: اگر قطار در منطقه مجاز متوقف خواهد شد آنگاه عملکرد کنترل ترمز را تغییر ندهید.

برای راحتی و ایمنی سرنشینان: اگر قطار در منطقه مجاز قرار دارد و آنگاه عملکرد کنترل ترمز را از حالت شتاب به حالت ترمز تغییر دهید.



البته باز هم در سیستم واقعی از تعداد قواعد بیشتری استفاده شده است. امروزه قطار زیر زمینی سندایی یکی از پیشرفته ترین سیستمهای مترو محسوب شده که از سال ۱۹۹۱ کار حمل و نقل مسافران را به عهده دارد.

## ۴-۱ زمینه های تحقیق عمده در تئوری فازی

منظور ما از تئوری فازی، تمام تئوری هایی است که از مفاهیم اساسی مجموعه های فازی یا توابع تعلق استفاده می کنند. تئوری فازی را مطابق شکل ۱.۸ به پنج شاخه عمده می توان تقسیم کرد:

(۱) ریاضیات فلیزی که در آن مفاهیم ریاضیات کلاسیک با جایگزینی مجموعه های فازی با مجموعه های کلاسیک توسعه پیدا کرده است.

(۲) منطق فازی و هوش مصنوعی که در آن منطق کلاسیک تقریب هایی یافته و سیستم های « خبره » بر اساس اطلاعات و استنتاج تقریبی توسعه پیدا کرده است.

(۳) سیستم های فازی که شامل کنترل فازی و راه حلهایی در زمینه پردازش سیگنال و مخابرات می باشند.

(۴) عدم قطعیت و اطلاعات که انواع دیگری از عدم قطعیت را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده

(۵) تصمیم گیری های فازی که مسائل بهینه سازی را با محدودیتهای ملایم در نظر می گیرد.

البته این پنج شاخه مستقل از یکدیگر نبوده و به شدت به هم ارتباط دارند. بعنوان مثال کنترل فازی از مفاهیم ریاضیات فازی و منطق فازی استفاده می کند.

از نقطه نظر عملی، عمده کاربردهای تئوری فازی همانطور که در مثالهای بخش ۱.۳ مشاهده شد، بر روی کنترل فازی متمرکز شده است. گرچه سیستم های خبره فازی نیز در زمینه تشخیص پزشکی وجود دارند، بدلیل اینکه تئوری فازی هنوز چه از نظر تئوری و چه از نظر کاربرد در ابتدای راه بسر می برد، انتظار داریم کاربردهای عملی بسیاری در آینده پیدا کند.

با توجه به شکل ۱.۸ در می یابیم که تئوری فازی زمینه گسترده ای داشته که موضوعات تحقیق زیادی را در اختیار ما قرار می دهد.

