

فصل 9

کنترل فازی

9-1: مقدمه

حرکت ضامن بقای جهان زنده است و آنچه حرکت را در خود متجلی می‌کند، فرآیند است. فرآیندهای طبیعی و مصنوعی زیادی در اطراف ما وجود دارند که روزانه با آنها برخورد کرده، دخالت عوامل را در وجود و خط سیر آنها مشاهده می‌کنیم. فرآیند رشد گیاه را در نظر بگیرید: ابر می‌بارد تا بستری مساعد برای باد ایجاد کند و فرآیند تولیدمثل گیاه صورت بگیرد. ماه همنشین شبانه جوانه می‌شود و خورشید دست در دست گیاه او را بالا می‌کشد. بنابراین، به‌وضوح تاثیر عوامل ابر و باد و مه و خورشید و فلک را در کنترل فرآیند رشد گیاه مشاهده می‌کنیم.

در مورد فرآیندهای مصنوعی نیز به‌گونه‌ای مشابه عواملی دیگر دست‌اندرکار کنترل فرآیندها می‌باشند. در فرآیند تنظیم آنتن گیرنده برای تصویر مناسب، شخص جهت آنتن را تغییر می‌دهد، با چشم نتیجه تغییر جهت آنتن را بر صفحه گیرنده مشاهده کرده، با تکرار تغییر جهت آنتن، تا رسیدن به تصویر دلخواه به عمل خود ادامه می‌دهد. همان‌گونه که از کنترل کلاسیک انتظار می‌رود، می‌توان به جای شخص کنترل‌کننده از یک مدار الکتریکی یا مکانیکی استفاده نمود و با پیاده‌سازی تابع $H(s)$ که مدل ریاضی شخص کنترل‌کننده است، کنترل فرآیند را به عهده گرفت. اما در کنترل فازی ایده دیگری مطرح می‌شود که توجه خود را به مراحل تفکر و پایگاه معرفت انسان کنترل‌کننده معطوف کرده است.

اولین کنترل‌کننده فازی در سال 1975 توسط پروفیسور ممدانی¹ ارائه شد و زمینه‌ساز استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی در بسیاری از سیستمهای کنترلی گردید. موفقیت‌های اقتصادی تئوری مجموعه‌های فازی در محصولاتی که از کنترل فازی استفاده می‌کردند، باعث تحقیقات بیشتر و پیشرفتهای سریع‌تر در زمینه کنترل فازی شد.

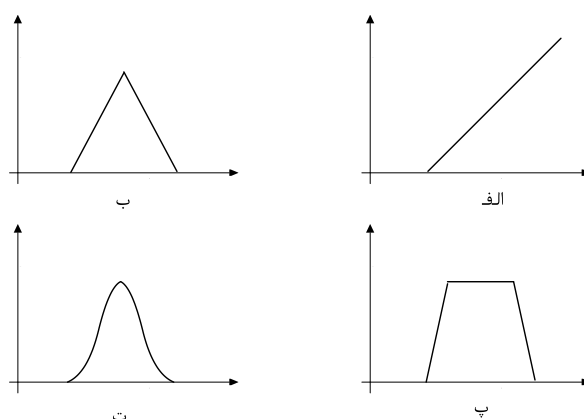
در سال 1985 تاکاگی² و ساگنو¹ مدل دیگری برای کنترل فازی ارائه کردند. از آن سال تاکنون روشهای مختلفی جهت توسعه کنترل‌کننده‌های فازی پیشنهاد شده است، اما تکیه اصلی ما در این فصل بر کنترل فازی ممدانی و ساگنو می‌باشد.

¹ Mamdani

² Takagi

همان‌گونه که اشاره شد در کنترل فازی، ایده اصلی مورد استفاده، مراحل تفکر و پایگاه معرفت انسان می‌باشد. در فصلهای گذشته گفتیم که انسان برای بیان فکر و دانش خود از متغیرهای زبانی استفاده می‌نماید. هر متغیر زبانی مقداری را اختیار می‌کند که به آن مقادیر زبانی می‌گوییم. به عنوان مثال می‌توان به مجموعه "کوچک، متوسط، بزرگ" یا مجموعه "کوچک، خیلی کوچک، متوسط، خیلی بزرگ، بزرگ" اشاره کرد.

از آنجا که در کنترل فازی قصد شبیه‌سازی پایگاه معرفت انسان را داریم، نیازمند به استفاده از متغیرهای فازی می‌باشیم. متغیرهای فازی را معمولاً از میان انواع توابع عضویت یکنواخت، مثلثی، دوزنقه‌ای، گوسی، ... انتخاب می‌کنند که چند نمونه از آنها در شکل 9-1 قابل مشاهده است.



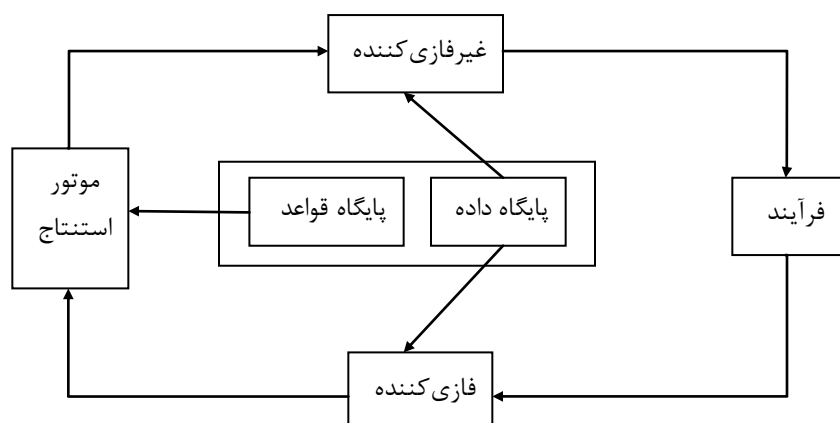
شکل 9-1: توابع عضویت الف: یکنواخت، ب: مثلثی، پ: دوزنقه‌ای، ت: گوسی

یکی از موارد بحث‌برانگیز و قابل‌مطالعه در کنترل فازی، تعداد اعضای مجموعه مقادیر زبانی و شکل تابع عضویت آنها می‌باشد. مسلماً اگر تعداد اعضای مجموعه مقادیر یک متغیر زبانی زیاد شود، تعداد قواعد پایگاه معرفت نیز افزایش می‌یابد.

به دست آوردن حالت بهینه از بحثهای جالب در کنترل‌کننده‌های فازی است. پس از تعیین مقادیر پارامترهای کنترل در قالب متغیرهای زبانی، با استفاده از متغیرهای کنترل و مقداری که ممکن است اخذ نمایند یک پایگاه معرفت تشکیل می‌دهیم. این پایگاه معرفت

¹ Sugeno

به صورت مجموعه‌ای از قواعد بیان می‌شود که نیاز به یک استراتژی یا موتور استنتاج دارد تا در مواردی که قاعده برای حالتی در نظر گرفته نشده، یا در یک حالت خاص استفاده از دو یا چند قاعده ممکن باشد، یک روش درونیابی یا رقابتی برای انتخاب مناسب‌ترین قاعده به کار بگیرد. مکانیزم کلی یک کنترل‌کننده فازی در شکل 9-2 آمده است.



شکل 9-2: کنترل‌کننده فازی ممدانی

مطابق شکل 9-2، بلوکهای فازی‌کننده و غیرفازی‌کننده برای ارتباط مناسب با فرآیند تحت‌کنترل به کار گرفته شده‌اند. زیرا در هر فرآیند، مقادیر یا پارامترهای تحت‌کنترل به صورت دقیق و قطعی توسط سنسورها دریافت می‌شوند. همچنین نیاز به یک فازی‌کننده داریم تا آن پارامترها را به قالبی ببرد که در موتور استنتاج قابل استفاده باشد. ضمناً لازم است تا هنگام اعمال نتیجه موتور استنتاج، از آنجا که فقط به وسیله متغیرهای قطعی می‌توانیم بر فرآیند اعمال نفوذ نماییم، نتیجه فازی موتور استنتاج توسط یک غیرفازی‌کننده به یک مقدار قطعی تبدیل شود. در این فصل به توضیح هر یک از بلوکهای کنترل‌کننده فازی می‌پردازیم.

9-2: فازی کننده¹

وظیفه فازی کننده خواندن پارامتر کنترلی توسط سنسور و تبدیل آن به یکی از مقادیر متغیرهای زبانی موجود در مقدم قاعده‌های پایگاه معرفت است. بدین منظور ابتدا مقادیر سنسورها خوانده می‌شوند و بعد از مقایسه شدن، برحسب متغیرهای زبانی استفاده شده در مقدم قاعده‌ها تبدیل می‌شوند. مقادیری که توسط سنسورها خوانده می‌شوند ممکن است قطعی یا همراه با نویز باشند. این مقادیر توسط یک تابع عضویت مثلثی مدل می‌شود که مرکز تابع عضویت مثلثی، مقدار قرائت شده سنسور است و قاعده آن، تابعی از انحراف معیار استاندارد سنسور در نظر گرفته می‌شود. معمولاً قاعده تابع عضویت مثلثی دو برابر میزان انحراف معیار سنسور فرض می‌شود. پس از مدل کردن، مقدار خوانده شده به دست می‌آید که آن را به عنوان مقدار فازی آن پارامتر کنترلی در نظر می‌گیریم.

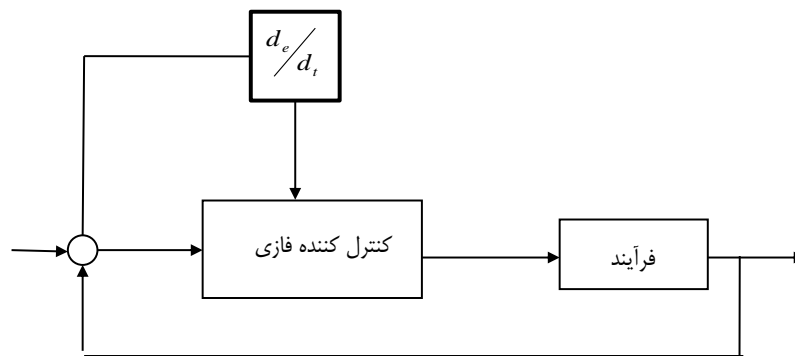
9-3: پایگاه معرفت

همان گونه که اشاره شد، پایگاه معرفت مشتمل بر مجموعه‌ای از قاعده‌هاست که در آنها از متغیرهای زبانی استفاده می‌شود. همچنین ذکر شد که تعداد مقادیری که هر متغیر زبانی اختیار می‌کند و همچنین تابع عضویت آن مقادیر، در استدلال و قاعده‌های پایگاه اثر مستقیم می‌گذارد. برای انتخاب مقادیر مناسب برای متغیرهای زبانی و همچنین قاعده‌های پایگاه معرفت، می‌توان از روشهای پیشنهادی در این فصل استفاده کرد.

9-3-1: استفاده از قوانین کلی

در این روش از قوانین کلی موجود در دنیای واقعی، جهت تعیین پایگاه معرفت استفاده می‌شود. به عنوان مثال، کنترل کننده فازی پیاده سازی شده توسط تاکاگی در سال 1985 را در نظر می‌گیریم:

¹ Fuzzifier



شکل 9-3: کنترل کننده PI تاکاگی

در این کنترل کننده PI سه قانون کلی زیر را داریم:

- 1- اگر خطا (e) و تغییرات خطا (Δe) هر دو صفر باشند، کنترل قبلی مساعد است و باید حفظ شود.
 - 2- اگر خطا با نرخ مناسبی به سمت صفر شدن برود، کنترل قبلی مساعد است و باید حفظ شود.
 - 3- اگر خطا در جهتی غیر از صفر شدن تغییر کند، فرمان کنترل را با توجه به علامت و مقدار خطا و نرخ تغییرات آن در نظر می‌گیریم.
- با توجه به این سه قانون کلی، می‌توان یک پایگاه قواعد تشکیل داد. اگر هر کدام از موارد خطا و تغییرات آن به پنج مقدار فازی $\{NL, NS, Z, PS, PL\}$ و خروجی کنترل کننده به هفت مقدار فازی $\{NL, NM, NS, Z, PS, PM, PL\}$ ¹ افراز شود، پایگاه قواعد را نظیر جدول 9-1 می‌توان در نظر گرفت.

¹ Negative Large, Negative Medium, Negative Small, Zero, Positive Small, Positive Medium, Positive Large

جدول 9-1: یک پایگاه قواعد فازی

	NL	NS	Z	PS	PL
NL	PL	PL	PM	PS	Z
NS	PL	PM	PS	Z	NS
Z	PM	PS	Z	NS	NM
PS	PS	Z	NS	NM	NL
PL	Z	NS	NM	NL	NL

همان گونه که مشاهده می شود، قواعد در جدول 9-1 کاملاً ساده و به صورت متقارن و تقریباً خطی بیان می شوند. مثلاً یکی از این قواعد به صورت زیر است:

$$\text{if } e \text{ is NS and } \Delta e \text{ is Z then } C = PS$$

در سال 1993 نشان داده شد که اگر توابع عضویت، متغیرهای زبانی مثلثی و متقارن فرض شوند و تعداد متغیرهای زبانی $C, \Delta e, e$ به اندازه مناسب اختیار شود، کنترل کننده فازی با دقتی مانند یک کنترل کننده کلاسیک عمل می نماید.

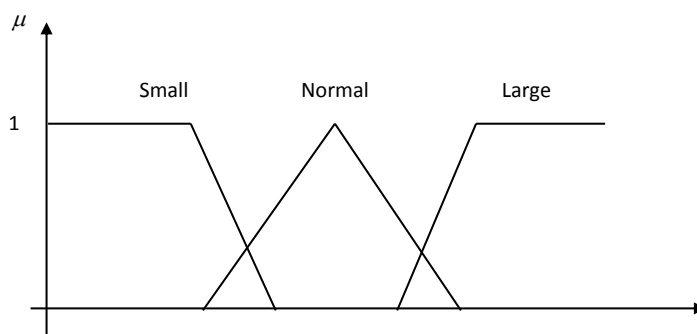
9-3-2: تجربه و دانش انسان خبره

در بعضی موارد تجربه و دانش انسان خبره، مناسب ترین منبع برای ایجاد پایگاه معرفت است. یک مثال بسیار مناسب در اینجا، ماشین لباس شویی کاملاً اتوماتیک طراحی شده در کارخانه Hitachi می باشد. هدف تیم طراح، ذخیره بیشتر آب، کاهش اغتشاش و حفظ کیفیت لباس، افزایش بهره وری شستشو، کاهش زمان شستشو و انجام تمام کارهای فوق به ساده ترین روش ممکن بود. آنها برای انجام این کار کوشیدند تا تمامی اعمال و تجارب یک خانه دار را به صورت قواعد مدل کنند.

ورودیهای کنترل کننده شامل میزان لباسها، جنس لباسها، میزان آلودگی و نوع آلودگی بوده، خروجیهای کنترل کننده شامل قدرت چرخش پره های موتور و زمان شستشو می باشد. اولین سؤالی که ممکن است پیش بیاید، این است که ورودیهای کنترل کننده مانند میزان

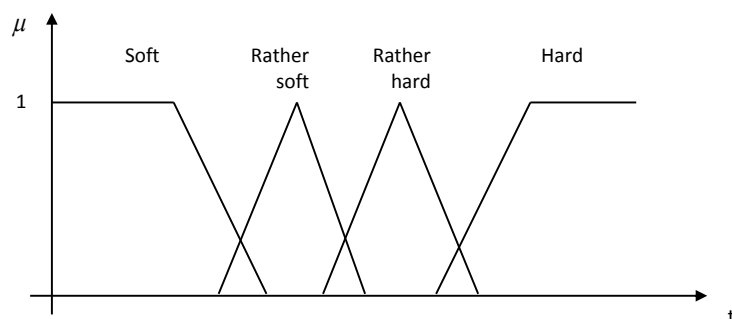
لباسها، جنس لباسها و ... چگونه به دست می‌آید؟ تعیین میزان و جنس لباسهایی که باید شسته شوند در دو مرحله صورت می‌گیرد.

در مرحله اول مقدار کمی آب به داخل مخزن تزریق می‌کنیم. روشن شدن موتور باعث چرخش آب و لباسهای داخل مخزن می‌شود. سپس موتور را خاموش می‌کنیم. لباسها و آب، نیرویی بر پره‌های موتور وارد می‌کند و باعث می‌شود تا موتور به چرخش خود ادامه دهد که این عمل مقدار کمی انرژی الکتریکی تولید می‌کند. مدت زمان تولید انرژی الکتریکی را اندازه‌گیری می‌نماییم. این زمان می‌تواند معرف میزان لباسها باشد، بدین ترتیب که برای لباسهای بیشتر، مدت زمان تولید این انرژی بیشتر خواهد بود. با توجه به عملیات فوق، میزان لباسها می‌تواند مستقیماً به صورت مجموعه‌ای از عبارات فازی (شکل 4-9) به صورت small, Normal, Large در نظر گرفته شود.



شکل 4-9. میزان لباسها (amount) به عنوان یک ورودی برای کنترل‌کننده

در مرحله دوم عملیات مشابهی مانند آنچه در بالا ذکر شد، با مقدار مناسب آب انجام می‌شود که این مقدار مناسب از میزان لباسها به دست می‌آید. هنگامی که موتور روشن می‌شود لباسها می‌توانند آزادانه‌تر در آب داخل مخزن غوطه‌ور شوند. لباسهای نرم اینرسی کمتر و لباسهای زیر اینرسی بیشتری تولید می‌کنند. مجدداً زمان تولید انرژی، اندازه‌گیری می‌شود که طول این زمان، معرف لباسهای نرم (زمان کمتر) یا زیر (زمان بیشتر) خواهد بود. بدین ترتیب جنس لباسها می‌تواند مانند شکل 5-9 به صورت مجموعه‌ای از عبارتهای فازی *rather soft, soft, rather hard, hard* مدل شود.



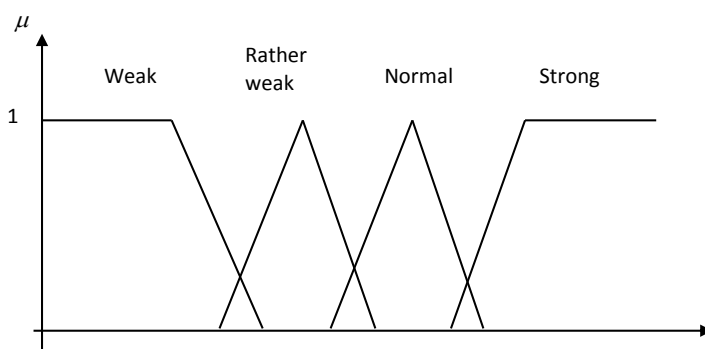
شکل 9-5: جنس لباسها (quality) به عنوان یک ورودی برای کنترل کننده

میزان و نوع متغیرهای ورودی دیگر مثل انواع آلودگی لباسها به وسیله شبکه‌های عصبی محاسبه می‌شود که در اینجا به ذکر آن نمی‌پردازیم. پس از به دست آوردن متغیرهای زبانی ورودی کنترل کننده، می‌توان آنها را در معرض بررسی خانه‌دار خبره قرار داد و قواعد را به صورت زیر به دست آورد:

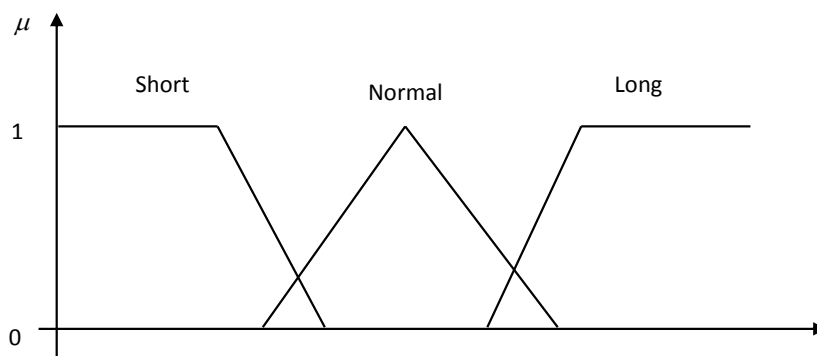
قاعده 1: اگر میزان لباسها زیاد (Large) و جنس آن زبر (Hard) است، چرخش آب قوی (Strong) و زمان چرخش آن طولانی (Long) باشد.

قاعده 2: اگر میزان لباسها کم (Small) و جنس آن نرم (Soft) است، چرخش موتور ضعیف (Weak) و زمان چرخش آن کوتاه (Short) باشد.

در شکل‌های 9-6 و 9-7 تابع عضویت مربوط به مقادیر زبانی متغیرهای خروجی قدرت پره‌های موتور و زمان گردش آن، رسم شده است.



شکل 9-6: قدرت پره‌های موتور به عنوان یک خروجی کنترل کننده



شکل 9-7: زمان گردش موتور به عنوان یک خروجی کنترل کننده

قواعد به دست آمده از انسان خبره در جدول 9-2 گردآوری شده است که از آن به عنوان پایگاه معرفت سیستم استفاده می‌شود.

جدول 9-2: قواعد کار با ماشین لباسشویی بر اساس پارامترهای ورودی

	Small	Normal	Large
Soft	Weak	Rather Weak	Normal
	Short	Short	Normal
Rather Soft	Rather Weak	Normal	Normal
	Short	Normal	Normal
Rather Hard	Rather Weak	Normal	Normal
	Short	Normal	Long
Hard	Rather Weak	Normal	Strong
	Short	Normal	Long

علاوه بر قواعد معمولی فازی به فرم بالا که توسط ممدانی ارائه شده است، نوعی دیگر از سیستمهای فازی نیز توسط ساگنو و همکارانش ارائه شده که در آن، نتیجه هر قاعده تابعی از پارامترهای ورودی است مانند:

$$\text{if } x \text{ is } \tilde{A} \text{ then } z = f(x)$$

که تابع f می‌تواند خطی ($y = ax + b$) یا از درجات بالاتر باشد. این توابع را نیز می‌توان به صورت مشابه برای قاعده‌های پایگاه معرفت به دست آورد. بدیهی است اگر در

سیستمی از قواعد مدل ساگو استفاده کردیم، موتور استنتاج آن نیز استراتژی متفاوتی با مدل ممدانی خواهد داشت.

9-3-3: مدل سازی عملکرد انسان خبره

در بعضی از موارد کنترل فرآیند به گونه ای صورت می گیرد که مهارت بیشتر از تجربه مورد نیاز است. در برخی موارد نیز حائلهایی وجود دارند که در آنها شخص خبره نمی تواند عملکرد خود را در قالب قواعد و قوانین و به وسیله متغیرهای زبانی بیان کند. در چنین مواردی نمی توان از روش 9-3-2 استفاده کرد و مجبوریم به جای مصاحبه با انسان خبره، عملکرد سیستم را با توجه به داده های ورودی و خروجی آن مدل نماییم و از روی آن، قواعد فازی را استخراج کرده، در پایگاه معرفت مورد استفاده قرار بدهیم. برای مثال می توان به مدل سازی عملکرد یک راننده به هنگام پارک اتومبیل اشاره کرد که شخص راننده از بیان عملکرد خود در قالب قواعد مشابه قواعد کنترل کننده ماشین لباس شویی عاجز است.

علاوه بر سه روش فوق می توان به روشهای مدل سازی فرآیند کنترل شونده و استفاده از پایگاههای معرفت خودسازنده اشاره کرد که از توضیح تفصیلی آن خودداری می کنیم. برای آشنایی با روش مدل سازی فرآیند کنترل شونده می توان به مقاله "امیرکبیر 31، سیفی پور، نیکروش" و برای آشنایی با پایگاههای معرفت خودسازنده به مرجع "پایان نامه کنترل موشک، کارو لوکس" مراجعه نمود.

9-4: موتور استنتاج¹

پس از به دست آوردن قواعد حاکم بر کنترل کننده و تشکیل پایگاه معرفت، نیاز به موتور استنتاج داریم تا با پذیرفتن ورودیهای فازی براساس قواعد پایگاه معرفت، خروجی فازی مناسب را ایجاد نماییم. همان گونه که قبلاً اشاره شد ممکن است در قسمت شرط، قواعد فازی با یکدیگر هم پوشانی داشته باشند. به عبارت دیگر، تابع عضویت متغیر ورودی با

¹ Inference engine

دو یا سه تابع عضویت از عبارات متغیر زبانی تطابق نسبی داشته باشد که در نتیجه با دو یا سه قاعده از قواعد پایگاه معرفت، قابل استنتاج خواهد شد. در این حالت باید یک استراتژی رقابتی در موتور استنتاج وجود داشته باشد تا بتواند خروجی فازی مناسب را ایجاد کند.

9-4-1: مدل ممدانی

در مدل ممدانی همان‌گونه که گفته شد، قواعد به فرم زیر می‌باشند:

if x is \tilde{A}_1 and y is \tilde{B}_1 then z is \tilde{C}_1

if x is \tilde{A}_2 and y is \tilde{B}_2 then z is \tilde{C}_2

حال اگر متغیرهای ورودی y, x با مجموعه‌های مقدم هر دو قاعده فوق همپوشانی نسبی داشته باشند، خروجی Z باید منتج از هر دو قاعده فوق باشد. بدین منظور از ترکیب "ماکزیمم - مینیمم" یا "ماکزیمم - ضرب" دو قاعده فوق استفاده می‌کنیم.

اگر x_0, y_0 را توسط سنسورها به عنوان پارامترهای کنترلی فرآیند به دست آوریم و آنها را به صورت \tilde{x}_0, \tilde{y}_0 فازی نماییم، x_0 مجموعه‌های \tilde{A}_1, \tilde{A}_2 را در نقاطی با تابع عضویت $\mu_{\tilde{A}_1}(x_0), \mu_{\tilde{A}_2}(x_0)$ و y_0 مجموعه‌های \tilde{B}_1, \tilde{B}_2 را در نقاطی با تابع عضویت $\mu_{\tilde{B}_1}(y_0)$ و $\mu_{\tilde{B}_2}(y_0)$ قطع می‌کنند. قدرت هر یک از قاعده‌های فوق به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\alpha_1 = \mu_{\tilde{A}_1}(x_0) \wedge \mu_{\tilde{B}_1}(y_0)$$

$$\alpha_2 = \mu_{\tilde{A}_2}(x_0) \wedge \mu_{\tilde{B}_2}(y_0)$$

که در آن \wedge همان اپراتور عطف است و می‌توان آن را با عملگر مینیمم مدل کرد. پس از به دست آوردن مقدار قدرت هر یک از قواعد شرکت‌کننده در رقابت، می‌توان خروجی قاعده‌ها را نیز به صورت زیر به دست آورد:

$$\mu_{\tilde{C}_1}(z) = \alpha_1 * \mu_{\tilde{C}_1} \quad z \in Z$$

$$\mu_{\tilde{C}_2}(z) = \alpha_2 * \mu_{\tilde{C}_2} \quad z \in Z$$

که در رابطه‌های فوق $*$ یک عملگر نرم t و Z حوزه تعریف مقادیری است که خروجی هر یک از دو قاعده می‌تواند اخذ نماید. پس از به دست آوردن خروجی فازی توسط هر یک

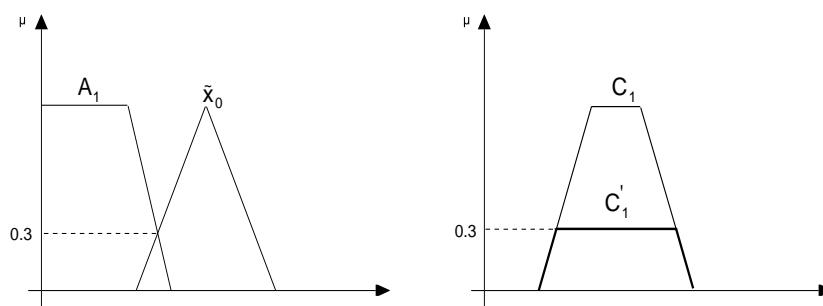
از قاعده‌ها، نتیجه رقابت را می‌توان از اجتماع این نتایج به دست آورد. به عبارت دیگر، نتیجه کلی "ماکزیمم - مینیمم" یا "ماکزیمم - ضرب" به صورت زیر می‌باشد:

$$\mu_{\tilde{C}}(z) = \mu_{\tilde{C}_1}(z) \vee \mu_{\tilde{C}_2}(z) = [\alpha_1 * \mu_{\tilde{C}_1}(z)] \vee [\alpha_2 * \mu_{\tilde{C}_2}(z)]$$

$\mu_{\tilde{C}}(z)$ تابع عضویت خروجی کنترل‌کننده حاصل از ترکیب دو قاعده فوق می‌باشد.

عملگرهای \wedge, \vee می‌توانند با ماکزیمم و مینیمم مدل شوند و $*$ نیز یک نرم t فرض

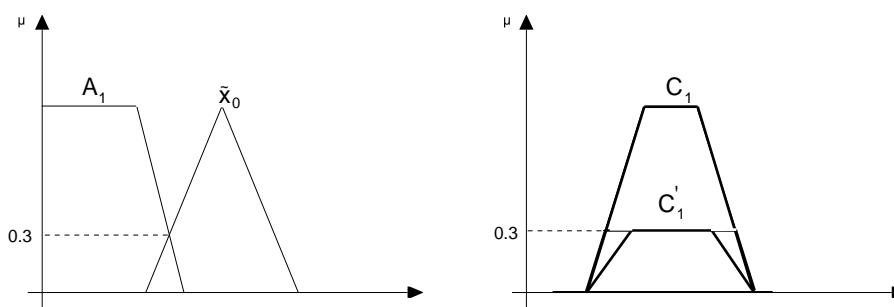
شود. اگر $*$ عملگر مینیمم فرض شده باشد، تابع عضویت خروجی را (شکل 9-8) اصطلاحاً بریده‌شده می‌نامیم.



شکل 9-8: تابع عضویت بریده‌شده

می‌توان $*$ را معادل عملگر ضرب در نظر گرفت. در این صورت تابع عضویت خروجی را

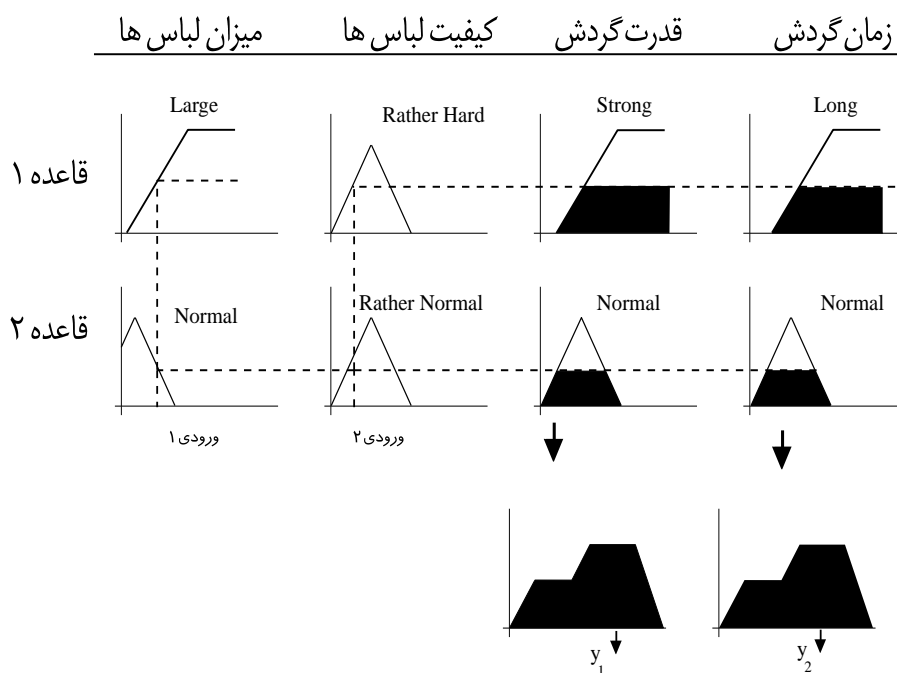
مقیاس‌شده می‌نامیم که در شکل 9-9 به نمایش درآمده است.



شکل 9-9: تابع عضویت مقیاس‌شده

خروجی موتور استنتاج یک تابع عضویت است که به وسیله واحد غیرفازی‌کننده به یک مقدار قطعی تبدیل می‌شود. حال با یک مثال، عمل ترکیب یا رقابت دو قاعده عنوان شده را در مورد مثال ماشین لباس‌شویی *Hitachi* بررسی می‌نماییم.

در این ماشین لباس‌شویی تمام اتوماتیک، دو قاعده به عنوان قاعده‌های 1 و 2 خارج از جدول پایگاه معرفت مطرح شده‌اند. فرض می‌کنیم ورودیهای x_1 ، x_2 معرف اندازه میزان لباسها و جنس آن باشند. برای به دست آوردن قدرت گردش پره‌های موتور و زمان گردش آن باید دو قاعده 1 و 2 مطرح شده را با هم ترکیب نماییم که رقابت این دو قاعده و نتیجه نهایی در شکل 9-10 قابل مشاهده است.



شکل 9-10: رقابت در قواعد مدل ممدانی

9-4-2: مدل ساگنو

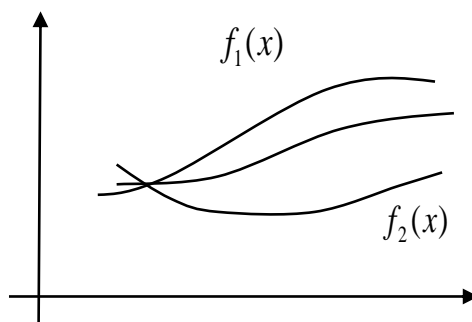
در مدل ساگنو، فرم قواعد پایگاه معرفت با مدل ممدانی تفاوت دارد. در این مدل تلاش بر مدل‌سازی مهارت شخص خبره بوده، قواعد به فرم کلی زیر می‌باشند:

if x is \tilde{A}_1 then y is $f_1(x)$

if x is \tilde{A}_2 then y is $f_2(x)$

که f تابعی بر حسب متغیرهای ورودی کنترل کننده است.

در اینجا نیز ممکن است به ازای برخی از حالت‌های ورودی، دو قاعده قابل استفاده باشند که خروجی y از ترکیب دو قاعده‌ای به دست می‌آید که قسمت شرط آن قاعده‌ها توسط ورودی کنترل کننده برآورده شده است. شکل 9-11 رقابت یا ترکیب دو قاعده $f_1(x)$ و $f_2(x)$ را نشان می‌دهد. هرکدام از این دو تابع سعی می‌کنند تا خروجی نهایی تابع کنترل را به سمت خود بکشند.



شکل 9-11: رقابت در قواعد مدل ساگنو

9-5: غیرفازی کننده¹

همان گونه که قبلاً اشاره شد پارامترهای کنترلی که به فرآیند اعمال می‌کنیم به صورت اعداد و مقادیر قطعی (غیرفازی) هستند. اما می‌دانیم که مقادیر به دست آمده از موتور استنتاج، مقادیر فازی می‌باشند و لازم است تا این مقادیر یا مجموعه‌های فازی را به مقادیر غیرفازی مناسب تبدیل نماییم. ورودی بلوک غیرفازی کننده، خروجی موتور استنتاج و اجتماع نتایج به دست آمده از قاعده‌های درگیر در رقابت است.

¹ Defuzzifier

هر قاعده، خروجی C'_i را داشته که ارتفاع آن (α_i) قدرت آن قاعده در رقابت را مشخص می‌نماید و مقدار قله C'_i برابر مقداری از Z است که در آن، C'_i بیشترین مقدار را داراست که با $Z^{(i)}$ نمایش داده می‌شود. به عنوان مثال، C'_i برای یک تابع عضویت مثلثی، رأس مثلث است که بیشترین میزان عضویت را دارا می‌باشد. نقطه‌ای از محور Z که در آن نقطه تابع عضویت بیشترین مقدار را داراست، مقدار قله^۱ یا $Z^{(i)}$ نام دارد. اگر تابع عضویت دوزنقه‌ای باشد، میانگین نقاطی که دارای میزان عضویت بیشینه هستند، به عنوان مقدار قله فرض می‌شود. خروجی Z^* به عنوان خروجی بلوک غیرفازی‌کننده می‌تواند به وسیله یکی از روشهایی که در ادامه مطرح می‌شوند، به دست آید.

9-5-1: روش مرکز ثقل^۲

این روش یکی از بهترین روشهای غیرفازی‌کردن است که در آن، فضای تعریف گسسته بوده، $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_l\}$ است و مقدار غیرفازی Z به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$Z^* = \frac{\sum_{i=1}^l z_i \mu_c(z_i)}{\sum_{i=1}^l \mu_c(z_i)} = \frac{\sum_{i=1}^l z_i \cdot \max_k \mu_{c_k}(z_i)}{\sum_{i=1}^l \max_k \mu_{c_k}(z_i)}$$

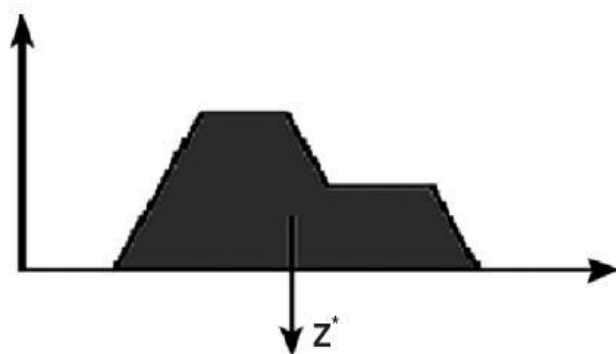
اگر فضای Z پیوسته باشد خواهیم داشت:

$$Z^* = \frac{\int z \cdot \mu_c(z) dz}{\int \mu_c(z) dz} = \frac{\int z \cdot \max_k \mu_{c_k}(z) dz}{\int \max_k \mu_{c_k}(z) dz}$$

به عنوان مثال می‌توان به شکل 9-12 توجه کرد که در آن، دو مجموعه بریده‌شده در قسمتهایی با یکدیگر همپوشانی دارند و مقدار غیرفازی‌شده Z^* به صورت \downarrow مشخص شده است. پیچیدگی محاسباتی و سرعت پایین از معایب کنترل‌کننده‌ای است که از این نوع غیرفازی‌کننده استفاده می‌کند.

¹ Peak

² Cetner Of Gravity (COG) = Center Of Area (COA)



شکل 9-12: غیرفازی کننده به روش مرکز ثقل

9-5-2: روش مرکز مجموعه¹

در روش مرکز ثقل مجبور بودیم تابع عضویت خروجی C را محاسبه نماییم تا در صورتی که دو C'_i همپوشانی داشتند، ناحیه همپوشانی را فقط یکبار در محاسبات وارد نماییم. اما در این روش هر C'_i به طور جداگانه محاسبه می شود و این امکان را به ما می دهد تا بدون محاسبه C از سرعت بیشتری برخوردار شویم.

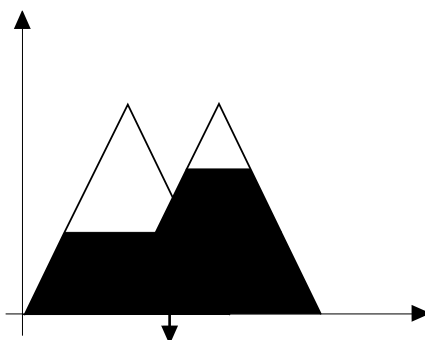
به همین دلیل، این الگوریتم یکی از سریع ترین الگوریتم های عمل غیرفازی کردن است و بیشتر کنترل کننده های فازی از این الگوریتم استفاده می نمایند. نحوه انجام این روش برای فضای تعریف گسسته و پیوسته به ترتیب به صورت زیر است:

$$Z^* = \frac{\sum_{i=1}^l z_i \sum_{k=1}^n \mu_{c'_k}(z_i)}{\sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^n \mu_{c'_k}(z_i)}$$

$$Z^* = \frac{\int_z z \cdot \sum_{k=1}^n \mu_{c'_k}(z) dz}{\int_z \sum_{k=1}^n \mu_{c'_k}(z) dz}$$

¹ Center Of Sums (COS)

روش مرکز مجموعه‌ها در شکل 9-13 نشان داده شده است.



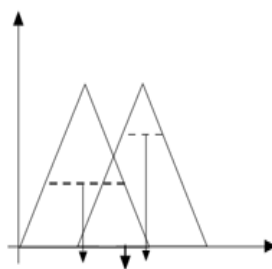
شکل 9-13: غیرفازی‌کننده به روش مرکز مجموعه‌ها

9-5-3: روش ارتفاع

در این روش نیز به محاسبه C نیاز نداریم و می‌توانیم از خروجیهای مجزای بریده‌شده یا مقیاس‌شده استفاده نماییم. این روش، مقدار قله هر C_i' را با وزن α_i در نظر می‌گیرد و برای سیستمی که n قاعده دارد خروجی قطعی را به صورت زیر به دست می‌آورد:

$$Z^* = \frac{\sum_{k=1}^n \alpha_k \cdot z^k}{\sum_{k=1}^n \alpha_k}$$

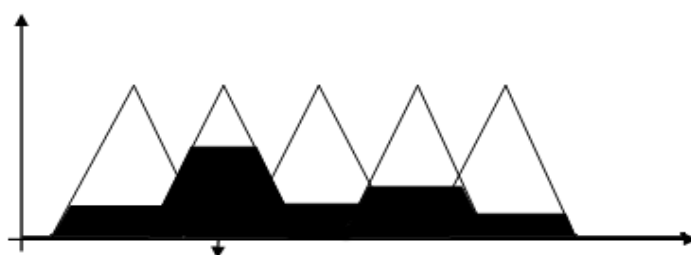
مهمترین مزیت این روش، سادگی و سرعت آن است. یک نمونه از غیرفازی‌کردن به روش ارتفاع در شکل 9-14 به نمایش درآمده است.



شکل 9-14: غیرفازی‌کننده به روش ارتفاع

9-5-4: روش مرکز بزرگترین سطح

این روش زمانی استفاده می‌شود که خروجی C به صورت یک تابع عضویت غیرمحدب باشد. به عبارت دیگر تابع عضویت خروجی C همگرا نبوده، اما حداقل دارای دو زیرمجموعه فازی همگرا باشد. همان‌گونه که در شکل 9-15 دیده می‌شود، خروجی C از دو زیرمجموعه فازی همگرا تشکیل شده است.



شکل 9-15: غیرفازی کننده به روش مرکز بزرگترین سطح

در این حالت زیرمجموعه‌های فازی همگرا را مشخص می‌نماییم و سطح زیر نمودار هر کدام از آنها را به دست می‌آوریم. مقدار قطعی Z^* از روش مرکز ثقل برای زیرمجموعه فازی همگرایی که بیشترین سطح را دارد، به دست خواهد آمد. بدیهی است در صورتی که تابع خروجی C محدب باشد، این روش به روش مرکز ثقل تبدیل می‌شود.

9-5-5: روش متوسط ماکزیمم^۱

این روش در سه مرحله انجام می‌شود و نهایتاً متوسط مقادیری از Z که دارای بیشترین مقدار عضویت در C هستند، به عنوان Z^* انتخاب می‌شود. مرحله ۱: درجه عضویت ماکزیمم در خروجی C محاسبه می‌شود:

$$hgt(Z) = \max_{z \in Z} \mu_c(z)$$

مرحله ۲: مجموعه‌ای از اعضاء Z با درجه عضویت $hgt(Z)$ تشکیل می‌شود:

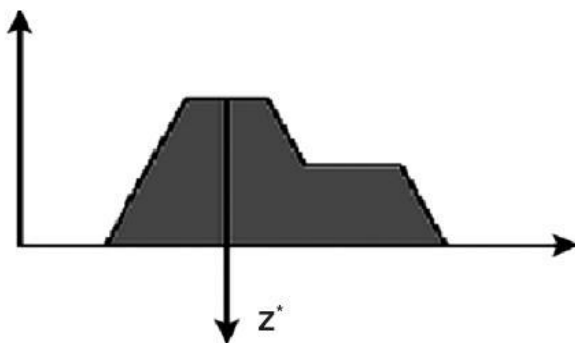
¹ Mean Of Maxima (MOM)

$$M = \{z / z \in Z, \mu_c(z) = hgt(Z)\}$$

مرحله 3:

$$Z^* = \frac{\inf M + \sup M}{2}$$

باید توجه داشت که ممکن است تابع عضویت Z^* برابر $hgt(Z)$ نباشد که در این صورت باید بسته‌ترین فاصله با ماکزیمم تابع عضویت را برای M در نظر بگیریم. علاوه بر روش متوسط ماکزیمم، روشهای اولین ماکزیمم نیز وجود دارند که کوچکترین یا بزرگترین عضو مجموعه M را به عنوان مقدار قطعی Z^* در نظر می‌گیرند.



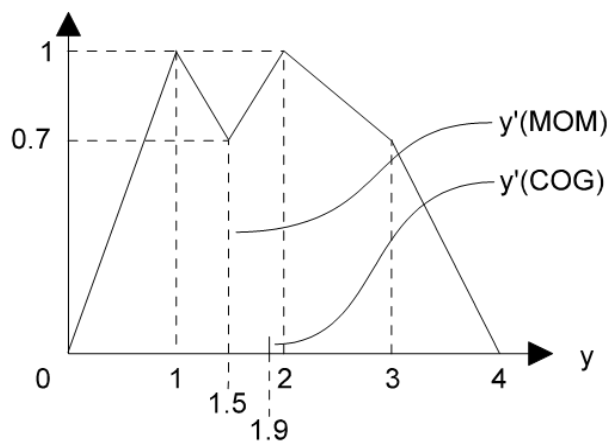
شکل 9-16: غیرفازی‌کننده به روش متوسط ماکزیمم

شکل 9-16 بیانگر عملکرد غیرفازی‌کننده به روش متوسط ماکزیمم است. شکل 9-17 عملکرد روش مرکز ثقل و روش متوسط ماکزیمم را برای یک مسئله خاص مورد بررسی و مقایسه قرار می‌دهد.

محاسبات برای این دو روش در زیر نشان داده شده است:

$$y'(COG) = \frac{(0 \times 0) + (1 \times 1) + (1 \times 2) + (0.7 \times 3)}{1 + 1 + 0.7} \approx 1.9$$

$$y'(MOM) = \frac{1 + 2}{2} = 1.5$$



شکل 9-17: مقایسه عملکرد روشهای مرکز ثقل و متوسط ماکزیمم

9-5-6: غیر فازی کننده در مدل ساگنو

در مدل ساگنو، خروجی کنترل کننده به صورت تابعی از ورودیها در نظر گرفته می شود:

$$\text{Rule } i: \text{if } x \text{ is } \tilde{A}_i \text{ and } y \text{ is } \tilde{B}_i \text{ then } z \text{ is } F(x, y)$$

در این حالت برای به دست آوردن خروجی قطعی Z^* از رابطه زیر استفاده می نماییم:

$$Z^* = \frac{\sum \alpha_i F_i(x, y)}{\sum \alpha_i}$$

مشخص است که این روش شباهت زیادی به روش ارتفاع دارد.

در این فصل ضمن آشنایی کلی با ایده کنترل کننده های فازی، مدل های ممدانی و ساگنو را شناختیم و مثال های عملی چهار بلوک اصلی کنترل کننده های فازی را شرح دادیم. حال می توانیم برای فرآیندهایی که مایل به کنترل آنها هستیم، از کنترل کننده های فازی استفاده کنیم و با مزیت های آنان در عمل نیز آشنا شویم.