

بررسی روش منطق فازی جهت پیش بینی رفتار دراز مدت و دوام بتن

حسین نادرپور^۱

سیدعلیرضا علوی^۲

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

naderpour@semnan.ac.ir

چکیده:

یکی از مهمترین چالش ها در بحث مدل سازی عددی و یا نرم افزاری رفتار دراز مدت و یا پارامترهای مربوط به دوام بتن و اعضای بتن آرمه، نحوه ی اعمال و در نظرگرفتن عدم قطعیت و احتمالات است که باعث پیچیدگی در مدل سازی و پیشبینی شده است. افزون بر عدم قطعیت، وجود پارامتر های توصیفی و کیفی در کنار پارامتر های عددی و کمی، کار را برای مهندسين و محققين پیچیده تر کرده است. امروزه از روش های گوناگون ریاضیاتی برای انجام این امر بهره گرفته می شود، که یکی از این ها، روش های مبتنی بر منطق فازی که به آنها سیستم های فازی نیز گفته می شود، است. منطق فازی در سال ۱۹۶۵ معرفی شد و از جمله منطق های چندارزشی است و بر نظریه ی مجموعه های فازی استوار است. منطق فازی فناوری جدیدی است که شیوه هایی را که برای طراحی و مدل سازی یک سیستم نیازمند ریاضیات پیچیده و پیشرفته است، با استفاده از مقادیر زبانی و دانش انسانی جایگزین می سازد. در این مقاله، قدرت و دقت روش های مبتنی بر منطق فازی برای پیش بینی محل و نوع ترک در اعضای بتنی، ارزیابی دوام بتن، ارزیابی خوردگی بتن و میلگردها، تشخیص و پیش بینی تخریب بتن، پیش بینی مقاومت بتن در برابر نفوذ آب و ارزیابی طول عمر اعضای بتنی در برابر عوامل محیطی مورد بررسی قرار گرفته شده است.

واژه های کلیدی: منطق فازی، بتن، دوام، مدل سازی، پیش بینی.

۱- مقدمه:

به دلیل برخی مزایا از جمله در دسترس بودن و هزینه پایین مصالح بتنی، عمر بهره‌برداری بالاتر در مقایسه با دیگر مصالح ساختمانی از قبیل فولاد یا چوب، استحکام بالا، تعمیر و نگهداری کم هزینه‌تر، مقاومت خوب بتن در برابر آتش، مقاومت فشاری بتن و انعطاف‌پذیری در فرم و شکل منجر به استفاده گسترده از بتن مسلح در ساخت و ساز شده است و به همین دلیل است که امروزه می‌توان در هر بخشی از جهان انواع مختلفی از سازه‌ها و ساختمان‌های کوچک و بلند، پل، سد، تونل‌ها، کانال‌ها و مخازن که از بتن مسلح ساخته شده‌اند را دید [۱].

اکثر محاسبات بار برای سازه‌های بتنی بر اساس مقاومت فشاری بتن ۲۸ روزه بتن است، بر این مبنای که بتن در سال‌های بعدی هم همچنان به کسب مقاومت ادامه می‌دهد. هرگونه تغییر در کسب دوام بتن به طور واضح برای یکپارچگی سازه مضر است و قطعاً هر تغییر ناگهانی در ویژگی‌های دوام بتن می‌تواند فاجعه‌انگیز باشد. پس توجه به این نکته ضروری است که علاوه بر تأمین مقاومت بتن می‌بایست عملکرد دراز مدت سازه با توجه به شرایط بدقت ارزیابی گردد و بر اساس آن تدابیر لازم برای حفظ پایداری و دوام سازه ایجاد شود تا علاوه بر تحمل بارهای وارده، تحمل شرایط جوی منطقه، حملات شیمیایی محتمل و سایر فرآیندهای تخریبی دیگر نیز، برای بتن اجرا شده میسر گردد. بنابراین ایجاد یک سازه بتنی در دو نقطه با شرایط محیطی مختلف هرچند به لحاظ کاربری، نیروهای وارده و مقادیر مقاومت بتن کاملاً یکسان باشند ولی تأثیرات عوامل محیطی (جوی، فیزیکی، شیمیایی) می‌تواند تغییرات اساسی در روند استفاده از مصالح مصرفی، مواد افزودنی، نحوه ساخت و عمل‌آوری بتن ایجاد نماید. به هر حال جهت داشتن بتنی مرغوب و با دوام، مصرف برخی از مواد افزودنی و اقدام به تدابیر محافظت‌کننده یا پیشگیرانه ضروری می‌گردد. اگر چه شرایط نامطلوب در درجه اول چندان تأثیری بر روی مقاومت سازه نداشته باشد و روند رشد مقاومت بتن نیز در سنین اولیه به خوبی طی شود بطوری که مقاومت مشخصه طراحی نیز حاصل گردد، اما قطعاً در صورتی که استانداردهای مرتبط با شرایط حاکم بر پروژه رعایت نگردد تأثیرات پیش‌بینی نشده محیطی به مرور زمان سبب افت کیفیت سازه گردیده و از طول عمر مفید آن می‌کاهد. پس بدیهی است که در نتیجه افت کیفیت بتن، مقاومت و باربری سازه نیز کاهش یافته و نهایتاً تأثیرات تجمعی این موضوع نابودی و تخریب کامل سازه را بسیار زودتر از طول عمر تعریف شده در پی خواهد داشت [۲].

یکی از مهمترین چالش‌ها در بحث مدل‌سازی عددی و یا نرم‌افزاری رفتار دراز مدت و یا پارامترهای مربوط به دوام بتن و اعضای بتن آرمه، نحوه‌ی اعمال و در نظر گرفتن عدم قطعیت و احتمالات است که باعث پیچیدگی در مدل‌سازی و پیش‌بینی شده است. افزون بر عدم قطعیت، وجود پارامترهای توصیفی و کیفی در کنار پارامترهای عددی و کمی، کار را برای مهندسين و محققين پیچیده تر کرده است. امروزه از روش‌های گوناگون ریاضیاتی برای انجام این امر بهره‌گرفته می‌شود، که یکی از این‌ها، روش‌های مبتنی بر منطق فازی که به آنها سیستم‌های فازی نیز گفته می‌شود، است. منطق فازی از روش‌های مبتنی بر محاسبات نرم^۱ است. اولین بار محاسبات نرم توسط مخترع و مبتکر روش منطق فازی^۲، زاده^۳ مطرح شد. او آن را به عنوان زیر شرح داد [۳ و ۴]: ((محاسبات نرم مجموعه‌ای از روش‌های است که با هدف بهره‌برداری و کمک برای رسیدن سریع و با هزینه کم برای استخراج پاسخ از مسائلی با دامنه عدم اطمینان و عدم قطعیت است. عناصر اصلی آن منطق فازی، محاسبات شبکه عصبی^۴ و استدلال احتمالاتی می‌باشند. به احتمال زیاد محاسبات نرم است که به طور فزاینده نقش مهمی در بسیاری از زمینه‌های کاربردی از جمله مهندسی نرم‌افزار را بازی می‌کند.))

منطق فازی یک زیر مجموعه از محاسبات نرم است. اصطلاح "منطق فازی" در سال ۱۹۶۵ تحت عنوان تئوری مجموعه‌های فازی توسط زاده معرفی شد. در این مقاله، قدرت و دقت روش‌های مبتنی بر منطق فازی برای پیش‌بینی محل و نوع ترک در اعضای بتنی، ارزیابی دوام بتن، ارزیابی خوردگی بتن و میلگردها، تشخیص و پیش‌بینی تخریب بتن، پیش‌بینی مقاومت بتن در برابر نفوذ آب و ارزیابی طول عمر اعضای بتنی در برابر عوامل محیطی مورد و همچنین راهنمایی‌های جهت انتخاب و نحوه پیاده

¹ Soft Computing

² Fuzzy Logic

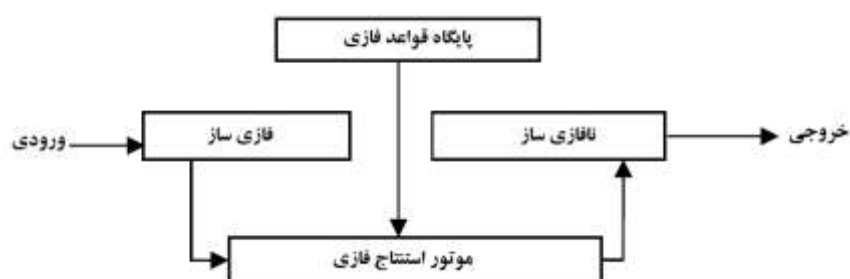
³ Zadeh

⁴ Neural Network

سازی سیستم بررسی قرار گرفته شده است.

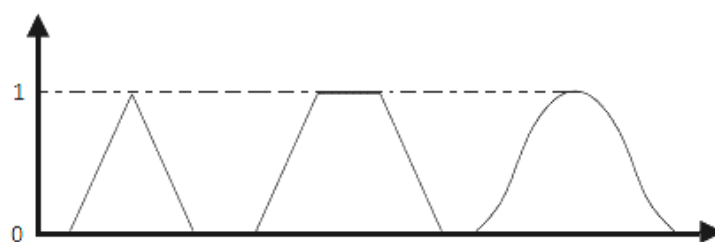
۲- منطق فازی:

در ابتدا منطق فازی برای فرمول کردن و محاسبات اطلاعات زبانی در سال ۱۹۶۵ معرفی شد. پس از آنکه ریاضیات کلاسیک در مدل سازی مسایل پیچیده همچون معادلات و مسایل با چند ورودی و چند خروجی ضعیف عمل کرد، توانایی این روش مشخص شد. قابلیت های کلیدی سیستم های مبتنی بر منطق فازی که به آنها سیستم های استنتاج فازی می گویند، این است که به آسانی می توان دانش تخصصی انسانی را در قالب اطلاعات زبانی و داده های عددی نامشخص برای ماشین و یا کامپیوتر در قالب ورودی و خروجی یک مدل تعریف کرده و سپس با استفاده از آن مدل به استدلال تقریبی ولی با پاسخی دقیق تر و قابل اعتماد تر دست یافت. هر سیستم مبتنی بر منطق فازی همانند شکل (۱) متشکل از شامل چهار بخش اصلی یعنی سازی فازی، پایگاه قواعد فازی، موتور استنتاج فازی و نافازی سازی می باشد که در ادامه به معرفی هر کدام از این بخش ها به ترتیب عملکردشان در سیستم فازی پرداخته شده است [۵].



شکل ۱- اجزای سیستم فازی [۱]

سازی^۵ اولین بخش در هر سیستم فازی می باشد که وظیفه محاسبه مقادیر ورودی و پردازش آنها را با استفاده از تابع عضویت به یک یا چند مجموعه فازی را دارد به عبارت دیگر سازی فازی مقدار عددی متغیرها ورودی را به یک مجموعه فازی تبدیل می کند [۵]. تابع عضویت یک مجموعه فازی در واقع همان تعمیم یافته درجه عضویت در نظریه ی مجموعه ها در ریاضیات کلاسیک است، با این تفاوت که در نظریه ی مجموعه ها درجه عضویت یا مقدار یک (۱) و یا صفر (۰) است در صورتی که در مجموعه های فازی می تواند هر مقداری بین صفر و یک باشد. توابع عضویت فازی می تواند اشکال مختلفی داشته باشد، اما در کاربردهای عملی همانند شکل (۲) سه نوع مثلثی، دوزنقه ای و گوسین یا همان زنگوله ای کاربرد فراوان تری دارند. انتخاب نوع تابع عضویت بر اساس نوع داده های ورودی و خروجی می باشد ولی به دلیل پیاده سازی آسان تر آن در محاسبات و برنامه نویسی استفاده از توابع مثلثی فراگیرتر است ولی معمولاً دقت توابع عضویت گوسین بیشتر می باشد [۵].

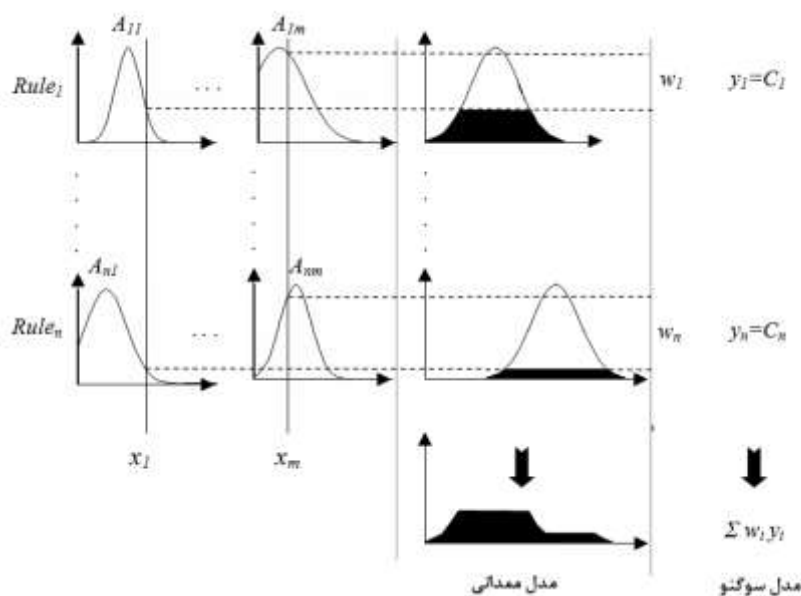


شکل ۲- تابع عضویت های مثلثی، دوزنقه ای و گوسین

⁵ Fuzzification

بخش دوم از سیستم فازی پایگاه قواعد یا پایگاه قواعد فازی^۶ است که به عنوان ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌های متغیرهای فازی تعریف می‌شوند. منطق فازی در اصل به معنای این بود که یک روش برای مدل‌سازی تفکر انسان و استدلال باشد، این کار توسط پایگاه قواعد فازی انجام می‌گیرد. قواعد فازی شامل قوانین و روابط فازی بین ورودی و خروجی است، این قوانین در قالب عبارت "اگر - آنگاه" یا "IF-THEN" بیان می‌شود. به عنوان مثال "اگر A آنگاه B" که در آن A و B گزاره حاوی متغیرهای زبانی^۷ هستند. که در آن A و B مجموعه‌های فازی‌اند که شامل متغیرهای زبانی‌اند. در واقع، استفاده از متغیرهای زبانی و قواعد "اگر - آنگاه" فازی منجر به عدم دقت و عدم اطمینان در این سیستم‌ها می‌شود. بسته به نوع مسئله مورد نظر، دو نوع از اصلی و مهم برای ایجاد قواعد فازی وجود دارد که عبارتند از روش ممدانی^۸ و روش سوگنو^۹ [۵].

بخش سوم موتور استنتاج فازی^{۱۰} است که وظیفه‌ی محاسبه خروجی فازی با در نظر گرفتن و ترکیب قواعد فازی را دارد به عبارت دیگر موتور استنتاج فازی با محاسبه‌ی هر کدام از قواعد فازی در پایگاه قواعد فازی چگونگی تبدیل مجموعه‌ای از ورودی به خروجی مربوطه را یاد می‌گیرد. انواع مختلفی از روش‌های استنتاج و یا استلزام فازی وجود دارد که مهم‌ترین و پرکاربردترین شان استنتاج ممدانی و استنتاج سوگنو- تاکاگی است. این دو روش در مراحل اولیه‌ی سیستم همچون فازی سازی ورودی‌ها مشابه‌اند اما تفاوت اصلی بین روش سوگنو و ممدانی این است که خروجی روش سوگنو توابع است که می‌تواند خطی و یا ثابت باشد، ولی در استنتاج ممدانی، خروجی یک توابع عضویت از مجموعه‌های فازی می‌باشد همچون شکل (۳) [۵ و ۶].



شکل ۳- مقایسه نحوه عملکرد مدل سوگنو و مدل ممدانی [۶]

همانطور که گفته شد در استنتاج ممدانی، خروجی یک توابع عضویت فازی است، پس نافازی ساز^{۱۱} که چهارمین و آخرین بخش اصلی از هر سیستم فازی است که هر نقطه در مجموعه‌ی فازی را به صورت یک عدد دقیق به عنوان خروجی مشخص می‌کند و روش‌های نافازی سازی متعددی پیشنهاد شده است.

⁶ Fuzzy Rule Base

⁷ Linguistic Variables

⁸ Mamdani

⁹ Sugeno

¹⁰ Fuzzy Inference Engine

¹¹ Defuzzification

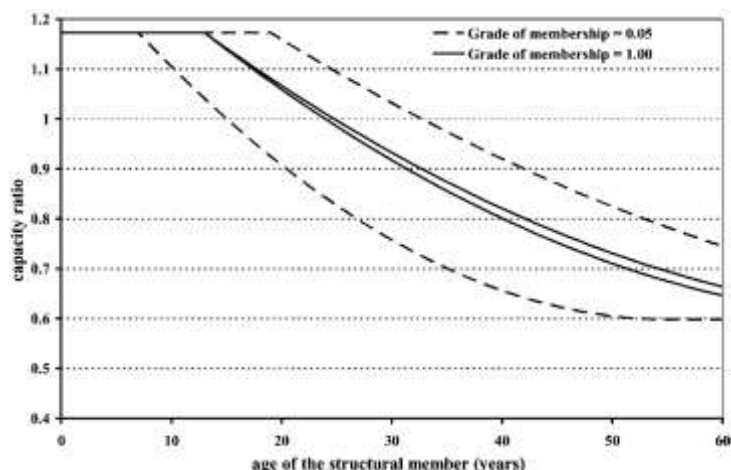
۳- پیش بینی رفتار دراز مدت و دوام بتن:

تحقیقات در این زمینه اولین بار در سال ۱۹۹۸ بود که Chao و Cheng مدلی فازی برای تشخیص و پیش بینی الگوی ایجاد ترک در سازه بتن آرمه ارائه دادند. مدل ارائه شده بر اساس شناسایی علت و اثر ترک جهت ایجاد الگویی جدید برای حل مشکلات در سازه های بتنی بود. جهت مدل سازی دقیق، آنها زمان ایجاد ترک، عمق ترک، الگوی ترک، عضوی که در آن ترک ایجاد شده، دامنه ترک و محل ایجاد ترک را به عنوان مشخصات اصلی ترک در نظر گرفتند. برای ارزیابی واقعی چهار پارامتر اصلی مطابق جدول (۱) که هر کدام شامل پارامترهای فرعی است، در نظر گرفته شده است. آنها پس از ارزیابی مدلشان با موارد عملی به این نتیجه رسیدند که منطق فازی ابزار مناسب و قدرتمندی برای مهندسی جهت حل و مدلسازی مشکلاتی است که نمی توان با ابزارهای متکی بر ریاضیات کلاسیک حل کرد [۷].

جدول ۱ - علت ها و اثرات الگوی ترک در مدل Chao و Cheng

کیفیت مصالح بتنی	روند ساخت ساز با بتن	عوامل محیطی	بارهای وارده
- میزان حرارت هیدراسیون	- مخلوط کردن ناکافی بتن	- تغییرات دما و رطوبت	- اضافه بار
- نحوه پخش خمیر سیمان	- زمان اختلاط بیش از حد طولانی	- دوره های انجماد و ذوب	- نیروی زلزله
- جداسدگی دانه های بتن	- جداسدگی دانه ها در هنگام پخش	- اسیدها و حمله سولفات	- اثر ناهمواری و تغییر شکل
- میزان ناخالصی دانه های بتن	- میزان واکنش قلیایی سنگ دانه ها	- خوردگی میلگرد	- تاثیر اتصال مواد مختلف
- نحوه خشک شدن و شیرینکیج بتن	- و بیره کم و یا بیش از حد بتن	- در معرض دمای بالا و یا آتش	- اثر ساخت سازه جدید در همسایگی
- طرح اختلاط غیرطبیعی خمیر سیمان	- عمل آوری نامناسب		
	- انجماد و ذوب اوایل بتن ریزی		
	- بتن ریزی نامناسب اتصالات		
	- طرح میلگرد ناکافی		
	- پوشش بتن ناکافی		
	- تغییر شکل قالب		
	- برداشتن زود هنگام قالب ها		
	- صاف کردن مناسب سطح بتن		

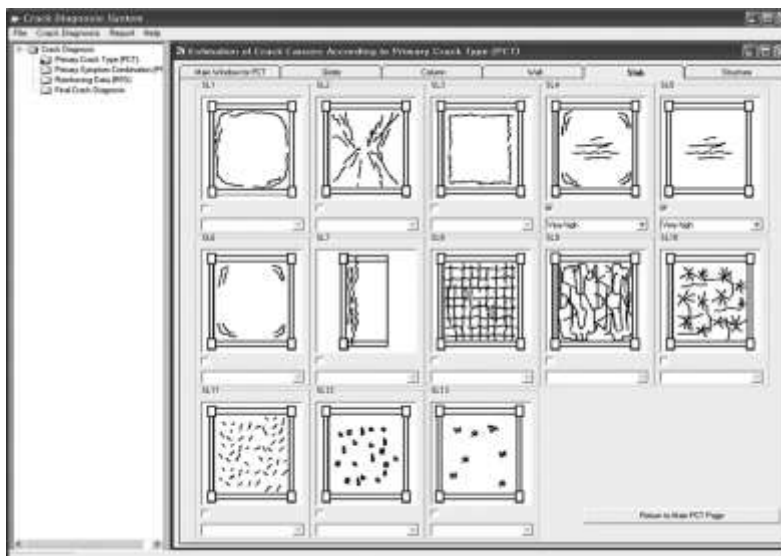
در سال ۲۰۰۲، Anoop و همکاران از منطق فازی برای تخمین عمر سازه های بتنی در محیط خورنده کمک گرفتند. در روش آنها، درجه حرارت محیط، رطوبت نسبی محیط و میزان تر و خشک شدن به عنوان یک عامل مهاجم محیطی برای متغیرهای مدل ورودی فازی در نظر گرفتند. مزیت مدل آنها این بود که این امکان را به مهندسی می دهد که پس از طراحی اعضای بتن مسلح با استفاده از استاندارد های طراحی موجود (آیین نامه های معتبر)، عمر بهره برداری آن عضو را تخمین بزنند. آنها بر اساس مدلشان ظرفیت اعضای بتنی را در هر سنی، با یک تقریب خوب تعیین کردند همانند شکل (۴) که برای یک عضو مشخص نشان داده شده است، همچنین به این نتیجه رسیدند که می توان عمر بهره برداری را بر اساس ضعف مقاومت عضو به علت از دست دادن میلگردها ناشی از خوردگی کلرید یک مسئله حیاتی در محیط های ساحلی، را برآورد کرد [۸].



شکل ۴- نمودار بدست آمده از مدل فازی Anoop و همکاران، نسبت ظرفیت مقطع به سن عضو [۸]

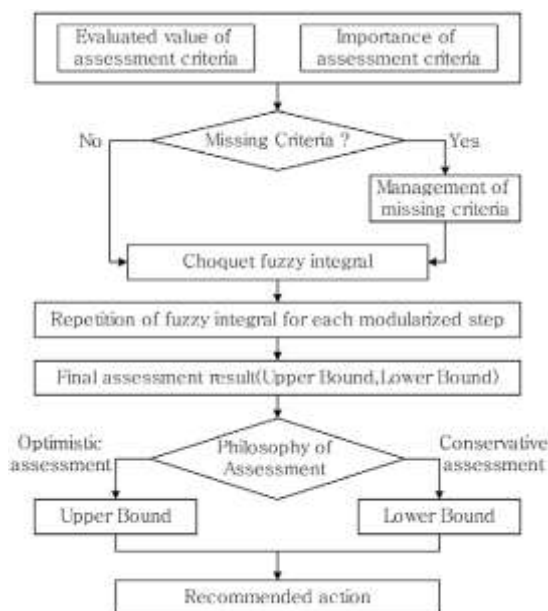
در سال ۲۰۰۵، Li و همکارانش ارزیابی فازی برای دوام بتن (تسریع شده) انجام دادند. آنها نتایج آزمایشگاهی مربوط به دوام برای دو مخلوط مختلف بتنی متفاوت که مربوط به دو کارگاه مختلف را انجام دادند. سپس نتایج آزمایشگاهی را با ارزیابی مصنوعی فازی مقایسه کردند. برای آزمایش، برای بدست آوردن مقاومت فشاری و مدول یانگ نمونه ها، نمونه ها در مقابل آزمون انجماد و ذوب قرار گرفتند. برای تعیین میزان زوال، آنها عمق نفوذ آب برای ضرایب نفوذ دو مخلوط مختلف بتنی اندازه گیری کردند و پس از آن برای عمق کربناته بتن، آنها مخلوط های بتن تحت شرایط آزمایش تسریع شده در محفظه کربناته مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه، مقاومت در برابر سرما، نفوذ آب، عرض و عمق ترک به عنوان ورودی های ارزیابی فازی در نظر گرفته شد و پس از آن برای شرایط ارزیابی، عملکرد دوام را به پنج دسته: بسیار عالی، بسیار خوب، خوب، متوسط، و ضعیف تقسیم کردند. در نهایت، آنها به این نتیجه رسیدند که نتایج ارزیابی فازی در مقایسه با تحقیقات آزمایشگاهی نشان می دهد که روش فازی برای ارزیابی دوام بتن مناسب و کارآمد است [۹].

در سال ۲۰۰۶، Kim و همکاران، سیستم ارزیابی سازه ای بر اساس تئوری فازی برای ساختمان های بتن مسلح به منظور برآورد وضعیت فعلی ساختمان ارایه دادند. برای این منظور، آن ها چهار دسته ارزیابی اولیه از جمله تاریخچه ساخت، شرایط محیطی، ظرفیت سازه ای و دوام که هر کدام از این دسته ها شامل زیرمجموعه هایی نیز می باشند، را در نظر گرفتند. یک روش گام به گام ارزیابی کارآمد که می تواند مشکلات معیارهای ارزیابی را تسهیل کند که این معیارها ممکن است توسط ارزیابی های بصری باشد. به منظور یکپارچه سازی نتایج پیش بینی شده از سیستم فازی استفاده شد. سیستم آنها یک شاخص وضعیت را بر اساس اطلاعات خروجی که به منظور اقدامات لازم جهت تعمیرات و مدیریت آینده سازه، به عنوان نتیجه بررسی ارایه می کند [۱۰]. محیط این نرم افزار در شکل (۵) آورده شده است.



شکل ۵- محیط نرم افزار فازی تشخیص ترک Kim و همکاران [۱۰]

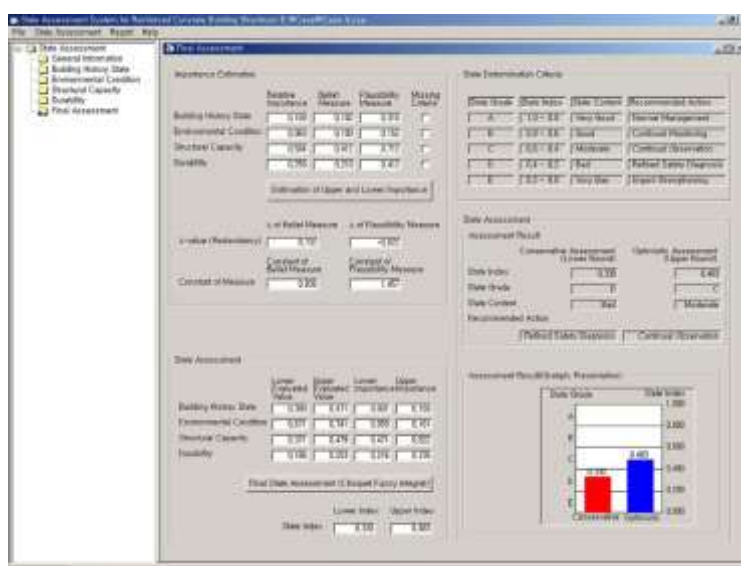
در سال ۲۰۰۷، Kim و همکاران مدلی مبتنی بر نظریه ی مجموعه های فازی برای تشخیص ترک خوردگی در سازه های بتن مسلح ارائه دادند. سیستم آنها برای کمک به هم افراد متخصص و غیر متخصص برای تشخیص علت ترک ارائه شد. مدل آنها برای موسسه بتن ژاپن (JCI) ارائه و استفاده شد. برای تشخیص ترک در سازه های بتن آرمه آنها تمامی علل احتمالی را با کمک متغیرهای زبانی (توصیفی) وارد سیستم فازی کردند و سپس با توسعه یک رابط گرافیکی برای مدل فازی آن را تبدیل به یک نرم افزار کاربردی کردند که بسیار مورد توجه قرار گرفت [۱۱].



شکل ۶- فلوچارت سیستم ارزیابی فازی Kim و همکاران [۱۱]

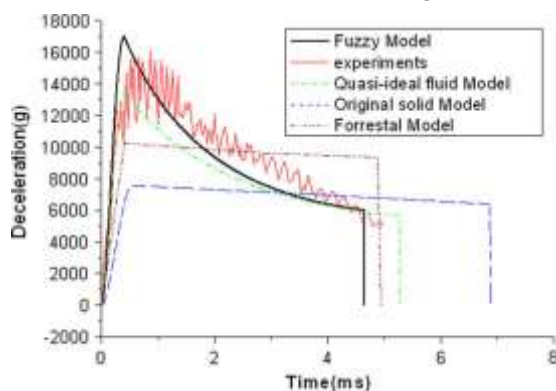
نتایج بدست آمده از این نرم افزار با نتایج بدست آمده از ارزیابی میدانی متخصصین مشابه بود. نمونه ای از نتایج نهایی ارزیابی برای یکی از موارد واقعی در شکل (۷) نشان داده شده است. در نهایت، آنها به این نتیجه رسیدند که سیستم پیشنهادی خود را

می تواند به عنوان یک مدل جهت پیشنهاد روش مناسب و کارآمد تعمیر و نگهداری و مدیریت برای سازه های بتن آرمه استفاده کرد [۱۱].



شکل ۷- نمونه ای از نتایج ارزیابی مدل پیشنهادی Kim و همکاران [۱۱]

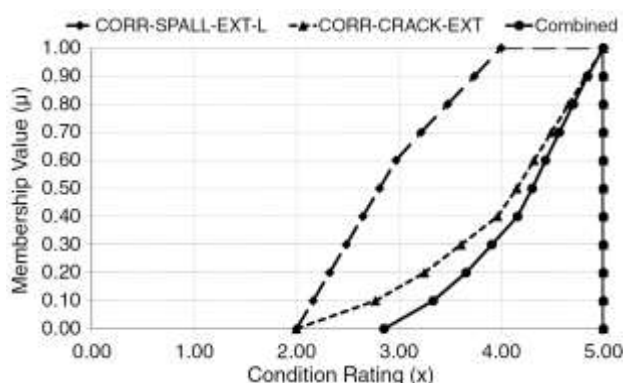
در سال ۲۰۰۷، Rao و Anoop از منطق فازی برای تخمین عمر باقی مانده تیرهای بتن آرمه پل بتنی تحت تاثیر خوردگی استفاده کردند. آن ها جهت اطمینان از مدل ارائه شده، از مدل خود در مطالعه موردی برای یک پل در ایالات متحده استفاده کردند. نتایج بدست آمده از مدل سازی و گزارش های اعلام شده بسیار نزدیک به هم بوده و رضایت بخش بود [۱۲]. در سال ۲۰۰۹، Shiqiai و همکارانش مدل فازی برای تعیین مقاومت بتن در برابر نفوذپذیری ارائه دادند. براساس نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل کامل فرایند نفوذ یک پرتابه سفت و سخت به درون یک بتن برای ۱۲ نمونه مدلسازی فازی انجام شد. نتایج مدل آزمایشگاهی و فازی بسیار نزدیک به هم بود و نسبت به دیگر مدل های موفق ترین بود و برای مثال می توان نمودار نتایج مربوط به یکی از این مدل ها را در شکل (۸) مشاهده کرد [۱۳].



شکل ۸- مقایسه نتایج مدل فازی Shiqiai و همکارانش با مقادیر آزمایشگاهی و مدل های دیگر [۱۳]

در سال ۲۰۱۰، Mitra و همکارانش وضعیت ساختمان بتن مسلح با درنظر گرفتن خوردگی میلگرد با کمک سیستم فازی را بررسی کردند. آنها یک مدل فازی بر اساس بازرسی های بصری در محل برای به دست آوردن شاخص وضعیت ساختمان بتن مسلح که دچار خوردگی بر اثر کلرید ارئه کردند. مدل آنها وضعیت سازه را دسته بندی کرده و اولویت های تعمیر را ارایه می نمود که اولویت های تعمیر وابسته به تفسیر بازرسی های صورت گرفته بود [۱۴].

در سال ۲۰۱۲، Jain و Bhattacharjee مفاهیم تئوری مجموعه فازی را به منظور ارزیابی بصری وضعیت خرابی سازه های بتن آرمه به کار بردند. آنها برای مدل سازی از داده های کیفی که با استفاده از بازرسی بصری (با تهیه پرسشنامه) به دست آمده بودند، استفاده کردند. به عنوان اولین قدم، آنها مشخصه ها، علل و عوامل خرابی و زوال در بتن و نحوه ی تعمیرشان را در سازه های بتن مسلح را دسته بندی کردند. برای تعیین توابع عضویت فازی، آنها از داده ها حاصل از پاسخ پرسشنامه به دست آمد، استفاده کردند. شکل (۹) نمونه ای از توابع عضویت فازی برای ارزیابی زوال بتن در سازه های بتن آرمه با توجه به ایجاد ترک و پوسته پوسته شدن بتن است. آنها پس از مدل سازی با موفقیت توانستند چند سازه را مورد مطالعه ی موردی قرار دهند [۱۵].



شکل ۹- یکی از توابع عضویت فازی مدل Jain و Bhattacharjee برای ارزیابی خرابی در سازه های بتن آرمه [۱۵]

در سال ۲۰۱۴، Malek و همکاران یک مدل بر اساس تئوری مجموعه فازی برای ارزیابی ریسک سازه بر اساس زوال بتن توسعه دادند. آن ها ابزاری مفید که برای اندازه گیری میزان خطر ناشی از زوال و بدتر شدن بتن جهت کمک به تعیین میزان نیاز تعمیرات توسعه و ارایه داند. آنها از تست های غیر مخرب بتن به عنوان ابزاری برای مطالعه ی گسترش زوال بتن بهره گرفتند. آنها گزارش کردند که مدل ارائه شده به اندازه کافی توانا است تا بتواند در مورد معیارهای سازه ای قضاوت و میزان زمان ایده آل تعمیر را تعیین کند و می توان برای موارد واقعی جهت تعیین ایمنی به طور موثر به کار برد [۱۶].

۴- پیاده سازی و ایجاد مدل:

با توجه به بخش قبل، می توان که این شاخه از کاربرد محاسبات نرم و هوش مصنوعی بسیار جدید است تمامی کارهای صورت گرفته در این حوزه به کمتر از دو دهه ی اخیر مربوط می شوند. در گذشته پژوهش های آزمایشگاهی فراوانی چه در ایران و یا در سایر کشور ها در زمینه بهبود دوام و کیفیت بتن انجام گرفته است ولی با توجه پیچیدگی عوامل موثر و وجود پارامتر های توصیفی و کیفی در کنار پارامتر های عددی و کمی، مهندسين و محققين را برای پروژه های جدید مجبور به انجام آزمایش های مجدد می کند. با استفاده از سیستم های منطق فازی می توان بر اسای اطلاعات بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی انجام شده در گذشته مدل های دقیق و قابل اطمینان جهت پیشبینی رفتار و یا عملکرد اعضای بتن آرمه در برابر عوامل محیطی ایجاد کرد. می توان گفت اکثر این مدل ها و یا تمامی این مدل ها با کمک توابع و یا جعبه ابزار منطق فازی در نرم افزار متلب^{۱۲} ایجاد شده اند. در متلب سیستم های فازی به دو دسته ی مجزا که یکی سیستم استنتاج فازی^{۱۳} و دیگری سیستم استنتاج عصبی-فازی^{۱۴}، تقسیم بندی می شوند. سیستم استنتاج فازی به طور مختصر در بخش اول این مقاله توضیح داده شد. اما سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی که در سال ۱۹۹۳ توسط Jang معرفی شد [۱۷]، ترکیبی از شبکه عصبی و منطق فازی است که به

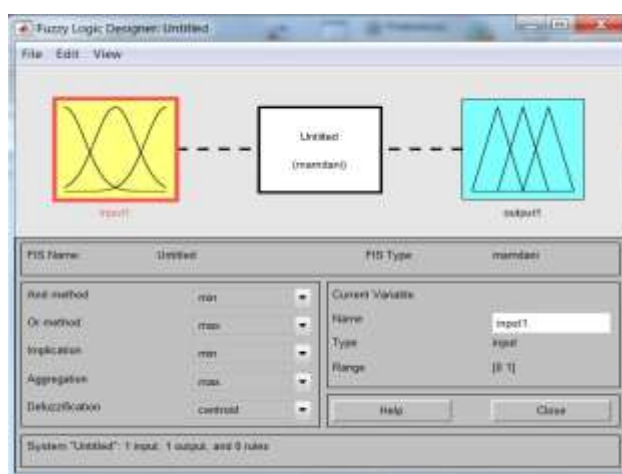
¹² MATLAB

¹³ Fuzzy Inference System (FIS)

¹⁴ Adaptive Neural-Fuzzy Inference System (ANFIS)

عبارت ساده می توان گفت قواعد و قوانین فازی در این سیستم به کمک شبکه عصبی ایجاد می شود و نتیجه گری و استنتاج بر عهده منطق فازی است، این گونه سیستم نیز شامل الگوریتم های و زیر مجموعه های متفاوتی است که تماما در نرم افزار متلب به آسانی در دسترس می باشند.

اگر مطالعه و آزمایش ما شامل ترکیبی از داده های توصیفی و کمی و یا فقط توصیفی باشد بهترین مدل استفاده از سیستم استنتاج فازی ممدانی با استفاده از متغییر های زبانی است، که خوشبختانه علاوه بر تابع آن، جعبه ابزار گرافیکی آن نیز در محیط نرم افزار متلب وجود دارد همانند شکل (۱۰) که می توان به راحتی یک مدل فازی را بر اساس اطلاعات گردآوری شده ایجاد کرد. اگر اطلاعات ما شامل فقط ورودی ها و قواعد باشند و آنهم به صورت پارامتر های عددی، می توان علاوه بر سیستم استنتاج فازی ممدانی، از سیستم استنتاج فازی TSK نیز بهره برد. اگر ما مجموعه داده هایی فقط عددی شامل ورودی ها و خروجی داشته باشیم و در ایجاد قواعد فازی مهارت نداشته باشیم می توانیم به آسانی از سیستم استنتاج عصبی-فازی کمک بگیریم.



شکل ۱۰- جعبه ابزار گرافیکی سیستم استنتاجی فازی در محیط نرم افزار متلب

۵- نتیجه گیری:

علاوه بر موارد ذکر شده، در زمینه هایی همچون بهینه سازی اعضا بتنی، پیش بینی خواص و رفتار اعضای بتنی مقاوم سازی شده با کامپوزیت ها، پیش بینی مقاومت بتن و سیمان، پیش بینی خواص مکانیکی بتن، طراحی طرح اختلاط بهینه بتن، اعتماد پذیری اعضای سازه ای و ... از منطق فازی کمک گرفته شده است. از آنجا که منطق فازی که بر روی احتمال و بر اساس عدم اطمینان و تقریب است، پاسخ های بدست آمده از سیستم های مبتنی بر منطق فازی دقیق تر و قابل اعتمادتر نسبت به دیگر روش های و سیستم های مشابه اند و به منطق انسان نزدیک تر است. یکی از موارد حائز اهمیت در مورد سیستم های استنتاج فازی این است که در صورت انجام آزمایش های جدید و یا بدست آمدن نتایج دقیق تر و جدید تر می توان به راحتی این نوع سیستم ها را بروز تر و دقیق تر کرد.

مراجع:

- ۱- نادرپور، حسین، فخاریان، پویان، علوی، سیدعلیرضا، "بررسی بهره گیری از سیستم استنتاج فازی در بهبود و پیشبینی رفتار اعضای بتن آرمه تقویت شده با FRP"، اولین کنفرانس ملی کاربرد کامپوزیت ها در صنعت ساختمان، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه شهید رجایی تهران، اردیبهشت ۱۳۹۵.
- ۲- ریکسوم، روگر، "مواد افزودنی شیمیایی بتن"، علیرضا صالحین، رضا عسگری اصل، تهران، انتشارات دانشگاهی فرمند، ۱۳۹۲.
- 3- Zadeh, Lotfi. A , "Fuzzy Sets. Information and Control", 338- 354, 1965.
- 4- Zadeh, Lotfi. A, "Soft Computing and Fuzzy Logic", IEEE Software, vol. 11, no. 6, 48-56,1994.
- 5- Naderpour, H. and Alavi, S.A, "Application of Fuzzy Logic in Reinforced Concrete Structures", in Y. Tsompanakis, J. Kruis, B.H.V. Topping, (Editors), Proceedings of the Fourth International Conference on Soft Computing Technology in Civil, Structural and Environmental Engineering, Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK, Paper 10, 2015.
- 6- S. Tesfamariam, H. Najjaran, "Adaptive Network-Fuzzy Inferencing to Estimate Concrete Strength Using Mix Design", Journal of Materials in Civil Engineering, 19(7), 550-560, 2007.
- 7- C.J. Chao, F.P. Cheng, "Fuzzy Pattern Recognition Model For Diagnosing Cracks In RC Structures", Journal of Computing in Civil Engineering, 12(2), 111-119, 1998.
- 8- M.B. Anoop, K.B. Rao, T.V.S.R.A. Rao, "Application of fuzzy sets for estimating service life of reinforced concrete structural member in corrosive environments", Engineering Structures, 24, 1229-1242, 2002.
- 9- Z. Li, C.K. Chau, X. Zhou, "Accelerated Assessment and Fuzzy Evaluation of Concrete Durability", Journal of Materials in Civil Engineering, 17(3), 257-263, 2005.
- 10- Y.M. Kim, C.K. Kim, S.G. Hong, "Fuzzy based state assessment for reinforced concrete building structures", Engineering Structures, 28, 1286-1297, 2006.
- 11- Y.M. Kim, C.K. Kim, G.H. Hong, "Fuzzy set based crack diagnosis system for reinforced concrete structures", Computers and Structures, 85, 1828-1844, 2007.
- 12- M.B. Anoop, K. Balaji Rao, "Application of Fuzzy Sets for Remaining Life Assessment of Corrosion Affected Reinforced Concrete Bridge Girders", Journal of Performance of Constructed Facilities, 21(2), 166-171, 2007.
- 13- G. Shiqiao, L. Haipeng, J. Lei, "A fuzzy model of the penetration resistance of concrete targets", International Journal of Impact Engineering, 36, 644-649, 2009.
- 14- G. Mitra, K.K. Jain, B. Bhattacharjee, "Condition Assessment of Corrosion-Distressed Reinforced Concrete Building Using Fuzzy Logic", Journal of Performance of Constructed Facilities, 24(6), 562-570, 2010.
- 15- K.K. Jain, B. Bhattacharjee, "Application of Fuzzy Concept to the Visual Assessment of Deteriorating Reinforced Concrete Structures", Journal of Construction Engineering and Management, 138(3), 399-408, 2012.
- 16- M. Malek, M. Tumeo, J. Saliba, "Fuzzy Logic Approach to Risk Assessment Associated with Concrete Deterioration", ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering System, Part A: Civil Engineering, 1(1), 2014.
- 17- J.S.R. Jang, "ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system", IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, 23(3), 665-685, 1993.