دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده فنی و مهندسی

طراحی سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی

تهیه و تنظیم :

یاسر مستشاری

استاد راهنما :

دکتر علی کیهانی

استاد مشاور :

دکتر محسن طالب زاده

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران گرایش سازه

آبان ماه ۱۳۸۴

تقدیم...

تقدیم به پدر و مادر عزیزم که همانند خورشیدی در آسمان دل من می درخشند. باشد که توانسته باشم اندکی از اضطراب چشمان نگرانشان را که همیشه آرزومند سعادت من است، کاسته باشم. امیدوارم که شمع هستی حیاتشان همواره و تا همیشه فروزان بماند تا من نیز چون پروانه ای عاشقانه بر گرد وجود مقدسشان بگردم.

تقدیم به او که مثل هیچکس نیست

و بودنش زیباترین بهانه برای ادامه

زندگیست...

تشکر وقدردانی...

آنچه پیش روی شما قرار دارد مرهون رهنمودها و زحمات بی دریغ استاد عزیز و گرامی جناب آقای دکتر علی کیمانی است که با توصیه ها و راهنماییهای دلسوزانه خویش در مراحل سخت و دشوار این تحقیق، راهگشا و روشنایی بخش ادامه مسیر بوده اند. بدون شک فراهم نمودن چنین مجموعه ای بدون مساعدت و همکاری ایشان میسر نمی گردید.

چکیده :

آنچه امروزه در اکثر کارگاههای بتن ریزی به منظور پذیرش و یا عدم پذیرش بتن کارگاهی مورد استفاده قرار می گیرد، کنترل و بررسی ضوابط و مقرراتی است که تنها بر ارزیابی نتایج نمونه های آزمایشگاهی مخلوط بتنی و روابط کنترلی خاص تأکید می نماید. حال آنکه مخلوط بتنی مورد استفاده در کارگاه و نمونه های نگهداری شده در شرایط استاندارد آزمایشگاهی دو سرنوشت متفاوت را طی نموده و در شرایطی کاملاً مجزا از یکدیگر به کسب مقاومت نهایی خویش می پردازند. با توجه به اینکه تأثیر بسیاری از پارامترها و عوامل کارگاهی بر ظرفیت باربری نهایی سازه بتنی بر هیچکس پوشیده نیست، لذا منطقی تر آن است که در هنگام صدور حکم نهایی در مورد میزان مقبولیت سازه بتنی، مسیری را که بتن در طول روند کسب مقاومت نهایی خویش در کارگاه پیموده است، مورد ارزیابی قرار داده و سپس تصمیم مقتضی را اتخاذ نماییم تا بدین ترتیب با اجتناب از صدور حکم یکسان و قطعی در مورد دو قطعه بتنی با مشخصات متفاوت و گرفتن تصمیمی صحیح و منطقی از بروز خسارات جبران ناپذیر جلوگیری نماییم. از سوی دیگر بسیاری از پارامترها و عوامل مؤثر بر ظرفیت باربری نهایی سازه بتنی نظیر کیفیت شرایط کارگاهی به دلیل برخورداری از ماهیت کیفی و نادقیق بگونه ای می باشند که نمی توان چگونگی تأثیر آنها را در قالب روابط دقیق ریاضی بیان نمود و این همان دلیلی است که باعث می شود تا آیین نامه ها نیز به سبب استفاده از اصول مبتنی بر منطق کلاسیک از بیان روابط کنترلی دقیق و معین در مورد میزان تأثیر اینگونه پارامترها عاجز و ناتوان بوده و تنها بر لزوم رعایت نکات خاص تأکید نمایند. با توجه به قابلیتهای سیستمهای فازی در استدلال و تصمیم گیری در شرایط عدم اطمینان و همچنین توانایی این سیستمها در صورت بندی ریاضی بسیاری از مفاهیم و متغیرهایی که نادقیق و مبهم هستند، در این تحقیق سیستم هوشمندی را طراحی و شبیه سازی نموده ایم تا در موقعیتهای تصمیم گیری با بررسی پارامترهای مؤثر بر مقبولیت سازه بتنی اعم از متغیرهای دقیق و قابل اندازه گیری و پارامترهای نادقیق و مبهم و دارای عدم قطعیت بتواند تصمیمی صحیح، منطقی و مبتنی بر دانش، تجربه و مهارت را اتخاذ نماید.

کلمات کلیدی :

بتن کارگاهی، کنترل کیفیت، منطق فازی، سیستم فازی

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

مقدمه ۱

بخش اول : تئوری فازی و کاربرد آن در مهندسی عمران

فصل اول : تاریخچه مختصری از تئوری و کاربردهای فازی ۸

۱-۱ آغاز تئوری فازی ۸

۱-۲ رشد تئوری فازی و خلق کاربردهای عملی ۹

۱-۳ توسعه کاربردهای عملی و خلق کاربردهای بزرگ ۱۰

۱-۴ چالشها کماکان باقی است ۱۱

فصل دوم : مروری بر نظریه مجموعه های معمولی ۱۲

۲-۱ مقدمه ۱۲

۲-۲ مجموعه ها ۱۲

۲-۳ شمولیت ۱۳

۲-۴ عملگرهای مجموعه ای ۱۴

۲-۵ عدد اصلی یک مجموعه و مجموعه توانی آن ۱۶

۲-۶ تابع نشانگر ۱۶

فصل سوم : مجموعه های فازی ۱۹

۳-۱ مقدمه ۱۹

۳-۲ مفاهیم و تعاریف مقدماتی ۲۱

۳-۳ تعاریف بنیادین ۲۳

۳-۴ نمادگذاری ۲۴

۳-۵ عدد اصلی یک مجموعه فازی ۲۵

۳-۶ عملگرهای مجموعه ای ۲۶

۳-۷ بعضی عملگرهای دیگر ۲۷

۳-۸ عملگرهای جانشین *max* و *min* ۲۸

۳-۹ نکات تکمیلی ۳۱

فصل چهارم : ریاضیات فازی ۳۲

۴-۱ اصل گسترش ۳۲

۴-۲ اعداد فازی ۳۴

۴-۳ اعداد فازی LR ۳۵
۴-۴ رابطه های فازی ۳۶
۴-۵ ترکیب روابط فازی ۳۷
۴-۶ اندازه امکان ۳۸
۴-۷ اندازه لزوم ۳۸
۴-۸ تابع توزیع امکان ۳۹
۴-۹ عینی بودن یا ذهنی بودن امکان ۴۰
فصل پنجم : منطق فازی ۴۱
۵-۱ مقدمه ۴۱
۵-۲ متغیرهای زبانی ۴۳
۵-۳ استدلال تقریبی ۴۴
۵-۴ قانون قیاس استثنایی تعمیم یافته (GMP) ۴۵
۵-۵ استنتاج فازی بوسیله قانون ترکیبی استنتاج (CRI) ۴۶
۵-۶ تعمیم روش CRI ۴۷
فصل ششم : سیستم های فازی ۵۰
۶-۱ مقدمه ۵۰
۶-۲ سیستم های فازی چگونه سیستم هایی هستند ؟ ۵۱
۶-۳ معرفی انواع سیستم های فازی ۵۳
۶-۴ پایگاه قواعد فازی ۵۵
۶-۵ موتور استنتاج فازی ۵۶
۶-۶ انواع موتورهای استنتاج فازی ۵۷
۶-۷ فازی سازها و غیر فازی سازها ۵۸
۶-۸ فازی سازها ۵۸
۶-۹ غیر فازی سازها ۶۰
۶-۱۰ سیستمهای فازی بعنوان نگاشتهای غیر خطی ۶۲
۶-۱۱ طراحی سیستم فازی ۶۳
۶-۱۲ طراحی سیستم فازی توسط جعبه سیاه ۶۴
۶- ۱۳ طراحی سیستم فازی با استفاده از داده های ورودی - خروجی ۶۷
۶-۱۴ روش جدول جستجو ۶۹
فصل هفتم : کاربرد منطق فازی در مهندسی عمران ۷۲
۷-۱ مقدمه ۷۲
۷-۲ موارد کاربرد ۷۲

۷-۳ مقاومت مصالح و مکانیک جامدات ۷۳
۷-۴ مدل سازی و شبکه بندی ۷۴
۷-۵ مکانیک خاک و مهندسی پی ۷۴
۷-۶ برنامه نویسی و تهیه نرم افزار ۷۵
۷-۷ توابع تعلق و یا عضویت ۷۶
۷-۸ نمونه هایی از کاربرد سیستمهای هوشمند در مهندسی ۷۸
فصل هشتم : نتیجه گیری ۸۶

بخش دوم : طراحی سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی

فصل نهم : بتن شناسی ۹۴
۹-۱ مقدمه ۹۴
۹-۲ اجزاء تشکیل دهنده بتن ۹۵
۹-۳ سنگدانه ها ۹۶
۹-۴ آب ۱۰۲
۹-۵ سیمان ۱۰۵
فصل دهم : بتن کارگاهی از ساخت تا اجرا ۱۰۷
۱۰-۱ مقدمه ۱۰۷
۱۰-۲ ماشین آلات ۱۰۷
۱۰-۳ قالب بندی ۱۱۰
۱۰-۴ اقدامات اولیه قبل از بتن ریزی ۱۱۱
۱۰-۵ بتن ریزی ۱۱۳
۱۰-۶ بتن ریزی در شرایط آب و هوایی مختلف ۱۱۵
۱۰-۷ نگهداری و مراقبت از بتن ۱۱۶
۱۰-۸ عوامل مؤثر در مراقبت از بتن ۱۱۹
۱۰-۹ مدت مراقبت ۱۱۹
فصل یازدهم : ضوابط پذیرش بتن در آیین نامه های مختلف ۱۲۱
۱۱-۱ مقدمه ۱۲۱
۱۱-۲ نمونه برداری ۱۲۲
۱۱-۳ آزمایش بتن سخت شده ۱۲۳
۱۱-۴ آزمایش تعیین مقاومت فشاری ۱۲۴
۱۱-۵ ضوابط پذیرش بتن در آیین نامه های مختلف ۱۲۵
۱۱-۶ آیین نامه بتن ایران ۱۲۹

۱۱-۷ کنترل کیفیت ۱۳۰
فصل دوازدهم : عوامل مؤثر بر مقاومت بتن کارگاهی ۱۳۲
۱۲-۱ مقدمه ۱۳۲
۱۲-۲ نوع مصالح مصرفی ۱۳۳
۱۲-۳ نحوه ساخت بتن ۱۳۳
۱۲-۴ نحوه بتن ریزی ۱۳۸
۱۲-۵ نحوه عمل آوردن و نگهداری از بتن ۱۴۰
۱۲-۶ شرایط آب و هوایی ۱۴۰
فصل سیزدهم : فرضیات طراحی سیستم ۱۴۱
۱۳-۱ مقدمه ۱۴۱
۱۳-۲ فرضیات طراحی ۱۴۳
۱۳-۳ ساخت مخلوط بتنی و انتقال آن به محل اجرا ۱۴۵
۱۳-۴ عملیات بتن ریزی ۱۴۹
۱۳-۵ عمل آوردن و مراقبت از بتن ۱۵۲
۱۳-۶ نکات تکمیلی ۱۵۵
۱۳-۷ خلاصه فرضیات طراحی ۱۵۶
فصل چهاردهم : طراحی سیستم فازی ۱۵۸
۱۴-۱ مقدمه ۱۵۸
۱۴-۲ پایگاه قواعد فازی ۱۵۸
۱۴-۳ فرم نظرسنجی ۱۶۰
۱۴-۴ تشکیل قواعد فازی ۱۶۸
۱۴-۵ نتایج بدست آمده از نظرسنجی ۱۷۰
۱۴-۶ فازی سازی متغیرهای ورودی و خروجی ۱۷۴
۱۴-۷ موتور استنتاج فازی سیستم ۱۹۲
۱۴-۸ غیر فازی ساز سیستم ۱۹۳
۱۴-۹ قابلیت ارائه پیشنهاد توسط سیستم ۱۹۴
فصل پانزدهم : معرفی نرم افزار مطلب ۲۰۰
۱۵-۱ مقدمه ۲۰۰
۱۵-۲ سیستم فازی تعیین رتبه یک رستوران ۲۰۲
۱۵-۳ مدل سازی سیستم فازی در نرم افزار مطلب ۲۰۳
۱۵-۴ ویژگیهای نرم افزار مطلب در بخش فازی ۲۰۷

فصل شانزدهم : مدلسازی سیستم با استفاده از نرم افزار مطلب ۲۰۹
۱۶-۱ مقدمه ۲۰۹
۱۶-۲ ایجاد بلوک فازی نتایج آزمایشگاهی ۲۱۰
۱۶-۳ ایجاد بلوک فازی سیستم پذیرش بتن ۲۱۳
۱۶-۴ ایجاد بلوک فازی سیستم پیشنهاد (S) ۲۱۷
۱۶-۵ شبیه سازی سیستم فازی پذیرش بتن ۲۲۰
۱۶-۶ نحوه عملکرد سیستم ۲۲۳
فصل هفدهم : تجزیه و تحلیل سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی ۲۲۹
۱۷-۱ مقدمه ۲۲۹
۱۷-۲ بررسی نحوه عملکرد سیستم ۲۳۰
۱۷-۳ نمونه های عملی ۲۴۹
۱۷-۴ میزان مقبولیت سازه بتنی در یک مجتمع مسکونی ۲۵۰
۱۷-۵ میزان مقبولیت سازه بتنی در یک هتل ۲۶۷
فصل هجدهم : نتیجه گیری و چشم انداز آینده ۲۷۸
۱۸-۱ مقدمه ۲۷۸
۱۸-۲ نتیجه گیری ۲۷۹
۱۸-۳ چشم انداز آینده ۲۸۴
منابع و مراجع ۲۸۶

مقدمه :

دنیای واقعی ما بسیار پیچیده تر از آن است که بتوان یک توصیف و تعریف دقیق برای آن بدست آورد، بنابراین یک توصیف تقریبی (فازی) که قابل قبول و قابل تجزیه و تحلیل باشد، برای یک مدل ضروری به نظر می رسد. با حرکت به سوی عصر اطلاعات، دانش و معرفت بشری بسیار اهمیت پیدا می کند، لذا ما به فرضیه ای نیاز داریم که بتواند دانش بشری را به شکل سیستماتیک فرموله کرده و آنرا به همراه سایر مدلهای ریاضی در سیستم های مهندسی قرار دهد.

نظریه مجموعه های فازی در سال ۱۹۶۵ توسط پروفسور لطفی عسگرزاده دانشمند ایرانی تبار و استاد دانشگاه برکلی آمریکا عرضه شد. این نظریه از زمان ارائه تا کنون گسترش و تعمیم زیادی یافته و کاربردهای گوناگونی در زمینه های مختلف پیدا کرده است. کاربرد اصلی و عملی تئوری فازی و منطق فازی ایجاد سیستم های فازی برای استدلال و استنتاج در شرایط عدم اطمینان و مدلسازی ریاضی دانش بشری می باشد. این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستمهایی را که نادقیق و مبهم هستند، صورت بندی ریاضی ببخشد و زمینه را برای استدلال، کنترل و تصمیم گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد.[۱۹]

بطور کلی عدم قطعیت [1] را می توان به دو نوع ادراکی [2] و غیر ادراکی [3] تقسیم بندی نمود. عدم قطعیت ادراکی برخاسته از تصورات ذهنی از واقعیت ها است و ممکن است بصورت نادقیق و مبهم بیان شود. عدم قطعیت غیر ادراکی بواسطه عدم داشتن اطلاعات کافی از سیستم و وجوه تصادفی پیشامدها، بوجود می آید. حال آنکه عدم قطعیت ادراکی بواسطه عدم دانش و درک کافی از مقادیر و

1-Uncertainty 2-Vagueness 3-Ambiguity

پارامترهای سیستم (در صورتیکه نتوانیم مرز دقیقی بین پدیده ها ترسیم کنیم) ایجاد می گردد.

عدم قطعیت غیر ادراکی را می توان توسط نظریه آمار و احتمالات، قالب بندی ریاضی بخشید و در مورد آن به بحث و بررسی پرداخت. اما اصول احتمالات و آمار برای مدل کردن عدم قطعیت ادراکی محدود کننده بوده و کاملاً مناسب نیستند.

مهندسان ساختمان و محققان با انواع عدم قطعیت غیر ادراکی در پیش بینی رفتار سازه ها و تئوری احتمالات و آمار در طراحی سیستمهای سازه ای سر و کار داشته اند. عدم قطعیت غیر ادراکی به عدم قطعیت تصادفی، آماری و مدل طبقه بندی می شود. عدم قطعیت تصادفی از تصادفی بودن پیشامدها ناشی می شود و می تواند با استفاده از تئوری احتمالات مورد بررسی قرار گیرد. عدم قطعیت آماری نیز از تخمین زدن بعضی از فاکتورها که در آن از اطلاعات محدودی استفاده می کنند، ناشی می شود و می تواند با استفاده از تئوری آمار مورد بررسی قرار گیرد و در نهایت عدم قطعیت مدل از استفاده کردن تقریبات و فرضیات در مدلهای پیش بینی شده ناشی می شود. حال آنکه عدم قطعیت ادراکی از عدم قطعیت یا عدم فهم و درک یک پیشامد یا گزاره، یک مقدار یا یک سیستم ناشی می شود.[۲۱]

تئوری سیستم ها و مجموعه های فازی، ابزار مؤثری را در پرداختن به عدم قطعیت ادراکی فراهم می کند، امری که شاید نتوان بصورت دقیق توسط تئوری احتمالات به آن پرداخت. این تئوری برای مدل کردن نوع ادراکی عدم قطعیت در بسیاری از علوم مختلف از جمله علم مهندسی عمران استفاده شده است. کاربرد اصلی این تئوری در ایجاد سیستم های فازی می باشد. سیستم های فازی امروزه در طیف وسیعی از علوم و فنون کاربرد پیدا کرده اند، از کنترل، پردازش سیگنال، ارتباطات و سیستم های خبره گرفته تا بازرگانی، پزشکی، دانش اجتماعی و .... .

سیستم های فازی سیستم های مبتنی بر دانش یا قواعد می باشند. قلب یک سیستم فازی یک پایگاه دانش بوده که از قوائد **اگر- آنگاه** فازی تشکیل شده است. بطور خلاصه نقطه شروع ساخت یک سیستم فازی بدست آوردن مجموعه ای از قواعد اگر - آنگاه فازی از دانش خبره یا دانش حوزه مورد بررسی می باشد. 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 مقدار دورهای مناسب مطابق با نوع و میزان کثیفی و حجم

لباس استفاده کردند. این سیستم با سنسورهای نوری می تواند نوع کثیفی، میزان آن و همچنین حجم لباس را تشخیص داده و با توجه به قواعد فازی **اگر- آنگاه** میزان دور مناسب را برای شستشو تشخیص دهد.

با توجه به انعطاف پذیری و قابلیت های ویژه ای که سیستم های فازی دارا می باشند، در زمینه علوم مربوط به مهندسی عمران نیز گسترش و توسعه خاصی یافته اند. اولین سیستم فازی که در زمینه علوم مهندسی عمران ساخته شد، کنترل فازی کوره سیمان بود که در اواخر دهه ۱۹۷۰ توسط شرکتی در دانمارک ابداع شد.

در این سیستم مجموعه ای از قواعد **اگر**- آنگاه فازی رابطه میان خروجی ها و ورودی ها را 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 که با ترکیب این قواعد ساخته شده بود، در سال ۱۹۷۸ به مدت شش 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.[۱۹]

کنترل کیفیت و تعیین میزان مقبولیت بتن کارگاهی از جمله مفاهیمی است که به دلیل ابهام و ماهیت نادقیق بسیاری از پارامترها و متغیرهای آن نظیر کیفیت شرایط کارگاهی، مهارت نیروی انسانی،... و عدم دانش و درک کافی از چگونگی تأثیر این پارامترها بر ظرفیت باربری سازه بتنی، دارای عدم قطعیت می باشد و نمی توان به آسانی در مورد آن اظهارنظر نمود.

آنچه امروزه در اکثر کارگاههای بتن ریزی به عنوان تعیین میزان مقبولیت سازه بتنی مورد استفاده قرار می گیرد، ضوابط و مقررات موجود در آیین نامه ها می باشد که شامل روابطی کنترلی در مورد نتایج مقاومت نمونه های آزمایشگاهی و مقایسه آن با مقاومت مشخصه بتن است. نمونه های بتنی مورد آزمایش و بتن موجود در کارگاه دو سرنوشت مختلف را طی می نمایند. (نمونه های بتنی در آزمایشگاه نگهداری می شوند و قطعه بتنی در کارگاه به سر می برد.) ای بسا مسیری را که بتن کارگاهی می پیماید و حوادثی که پیش روی آن قرار دارد، باعث شود تا قطعه بتنی علیرغم مطلوبیت نتایج آزمایشگاهی از کیفیت نهایی مطلوب برخوردار نباشد و هرگز انتظارات و تواناییهای مورد نظر را

برآورده ننماید، به این ترتیب تنها بر اساس رضایت بخش بودن نتایج آزمایشگاهی، قطعه بتنی که در کارگاه با توجه به شرایط موجود، قابلیتها و تواناییهای خود را از دست داده است، مورد پذیرش قرار می گیرد و خطرات و خسارات جبران ناپذیری را فراهم می نماید. بنابراین تصمیم گیری یکسان در مورد دو قطعه بتنی که هر یک مسیر جداگانه ای را طی نموده و در شرایط متفاوتی به حیات خویش ادامه می دهند، امری غیر منطقی و نادرست می باشد.

علیرغم آنکه تأثیر بسیاری از پارامترها نظیر کیفیت شرایط کارگاهی و یا نحوه نگهداری از بتن تازه بر مقاومت نهایی سازه بتنی در برابر بارهای وارده بر هیچکس پوشیده نیست، اما در مقررات آیین نامه تنها به لزوم رعایت نکات خاص برای افزایش کیفیت این پارامترها اشاره شده است و هیچگونه روابط کنترلی معین و مشخصی در قالب الگوهای ریاضی برای بررسی و ارزیابی وجود ندارد. آنچه مسلم است نبودن روابط دقیق و معین به دلیل عدم اعتبار علمی و یا نداشتن تخصص و دانش نویسندگان آن نیست، بلکه در چنین شرایطی با توجه به ماهیت کیفی و مبهم بسیاری از این پارامترها و عدم امکان اندازه گیری و صورت بندی آن در قالب روابط ریاضی و منطق کلاسیک، امکان بیان روابط کنترلی دقیق و همراه با قطعیت و اطمینان وجود ندارد و آیین نامه ها نیز با توجه به اینکه در مفاهیم مهندسی از اصول منطقی و ریاضی کلاسیک استفاده می نمایند، قادر به ارائه ضوابط و مقررات کنترلی معین برای ارزیابی پارامترهای نادقیق و مبهم نمی باشند. کیفیت شرایط کارگاهی همانگونه که از نام آن بر می آید، دارای ماهیتی کیفی و همراه با عدم قطعیت می باشد. بدین معنا که در بیان میزان کیفیت آن نمی توان از عبارات دقیق و قطعی استفاده نمود یا معیاری قابل اندازه گیری برای آن متصور شد. به عبارت دیگر تأثیر پارامترهایی نظیر شرایط کارگاهی بر مقاومت نهایی سازه بر ما پوشیده نیست، اما بیان این تأثیر و چگونگی آن، امری است که در قالب روابط ریاضی و مبتنی بر اصول منطق کلاسیک امکان پذیر نیست. در حقیقت چنین متغیرهایی دارای عدم قطعیت می باشند.

از سوی دیگر در بسیاری از موقعیتهای تصمیم گیری در مورد میزان مقبولیت سازه بتنی، نتایج بدست آمده از نمونه های آزمایشگاهی و کنترل روابط و مقررات موجود در آیین نامه ها مهندسان را در شرایط مرزی قرار می دهد، در اختیار نداشتن روابط دقیق و معین برای اندازه گیری پارامترهای کیفی و دارای عدم قطعیت باعث می شود تا در چنین شرایطی مهندسان در هنگام تصمیم گیری دچار تردید و عدم اطمینان در پذیرش و یا رد سازه بتنی گردند. البته لازم به ذکر است که در چنین

شرایطی مهندسان باتجربه و خبره با استفاده از قضاوت مهندسی که مبتنی بر دانش، تجربه و هوشمندی است، تصمیم صحیح و منطقی را اتخاذ می نمایند، اما تصمیم گیری نادرست به دلیل عدم داشتن تجربه و مهارت کافی ممکن است خسارات جبران ناپذیری را به همراه داشته باشد. دانش و مهارت یک مهندس خبره بگونه ای است که برای بیان آن تنها می توان از عبارات زبانی استفاده نمود. به عنوان مثال یک مهندس عمران با توجه به تخصص، مهارت و تجربه ای که در طول سالیان متمادی بدست آورده است، می داند در صورتی که عملیات بتن ریزی و همچنین نحوه نگهداری از بتن تازه از کیفیت ضعیفی برخوردار باشد، قطعه بتنی اجرا شده با وجود رضایت بخش بودن نتایج آزمایشگاهی دارای مقاومت نهایی مطلوب و مورد انتظار نخواهد بود، اما بیان معیار دقیق و قابل اندازه گیری برای تعبیر عبارت زبانی ضعیف، امری دشوار است و نمی توان آن را در قالب روابط ریاضی و اصول منطق کلاسیک بیان نمود.

با استفاده از قابلیتهای سیستم های فازی در استدلال، استنتاج و تصمیم گیری در شرایط عدم اطمینان و مدلسازی ریاضی دانش بشری و همچنین توانایی این سیستمها در صورت بندی ریاضی بسیاری از مفاهیم و متغیرهایی که نادقیق و مبهم هستند، می توان سیستم هوشمندی را طراحی و شبیه سازی نمود تا در موقعیتهای تصمیم گیری با بررسی کلیه پارامترهای مؤثر بر مقبولیت سازه بتنی اعم از متغیرهای دقیق و قابل اندازه گیری و متغیرهای نادقیق، مبهم و دارای عدم قطعیت، بتواند تصمیمی صحیح، منطقی و مبتنی بر دانش، تجربه و مهارت را اتخاذ نماید.

با توجه به آنچه مطرح شد، سیستمهای فازی راهبردی مناسب در جهت استفاده از دانش افراد خبره در هنگام تصمیم گیری در مورد پذیرش و یا عدم پذیرش سازه است. لذا در این پروژه به منظور ایجاد یک سیستم کنترلی که در هنگام تصمیم گیری در مورد میزان مقبولیت قطعه بتنی کلیه عوامل و پارامترها را در نظر بگیرد، از سیستمهای فازی استفاده می شود و بر اساس اصول حاکم بر این سیستمها، سیستم فازی پذیرش بتن طراحی می گردد.

مجموعه ای که در پیش روی قرار دارد، در دو بخش تهیه و تنظیم گردیده است. بخش اول این مجموعه با عنوان تئوری فازی و کاربرد آن در مهندسی عمران، به معرفی تئوری فازی و سیستم های فازی و همچنین بیان کاربرد هایی از آن در مهندسی عمران می پردازد. در این بخش پس از بیان تاریخچه مختصری از تئوری و کاربردهای فازی در فصل اول، به منظور درک بهتر مفاهیم نظری

مجموعه های فازی و ساختار جبری آن در فصل دوم، مروری بر نظریه مجموعه های معمولی صورت گرفته است. سپس در فصلهای سوم تا ششم، مفاهیم بنیادین مجموعه های فازی، ریاضیات فازی، منطق فازی و سیستم های فازی بصورت اجمالی مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل هفتم کاربرد این تئوری در شاخه های مختلف مهندسی عمران مطرح گردیده است و در نهایت نتایج مطالب ارائه شده بطور خلاصه عنوان شده است. در بخش دوم این مجموعه به طراحی سیستم فازی پذیرش بتن، پرداخته می شود. در این بخش در فصول نهم تا دوازدهم، بتن و ویژگیهای آن و همچنین مراحلی را که از آغاز تشکیل مخلوط بتنی تا اجرا طی می نماید و نیز ضوابط پذیرش بتن در آیین نامه های مختلف را به منظور ارزیابی کلیه پارامترهای مؤثر بر مقاومت سازه بتنی، مورد بررسی قرار می دهیم و سپس با مشخص کردن عوامل مؤثر بر مقاومت نهایی سازه بتنی در فصل سیزدهم، در فصلهای بعد با بیان فرضیات منطقی به طراحی و مدلسازی سیستم فازی پذیرش بتن پرداخته و در نهایت به منظور کنترل نحوه عملکرد سیستم شبیه سازی شده با انجام آزمایشات در یک کارگاه بتن ریزی و همچنین استفاده از اطلاعات موجود در مورد پروژه های خاص، چگونگی تصمیم گیری توسط سیستم را در فصل هفدهم مورد ارزیابی و بررسی قرار خواهیم داد. در پایان نیز با مطرح نمودن پیشنهادات و راهکارهایی که به نظر نگارنده می تواند در تکامل و پیشرفت سیستم شبیه سازی شده و همچنین استفاده بهینه از قابلیتهای سیستمهای فازی در امر کنترل کیفیت مؤثر باشد، زمینه ای را فراهم خواهیم نمود تا پژوهشگران و علاقه مندان به تحقیق و بررسی در مورد کاربرد سیستمهای فازی در صورت تمایل بتوانند از آن استفاده نمایند.

بخش اول:
شهری خاری و کاربرد آن در مهندسی عمران

فصل اول

تاریخچه مختصری از تئوری و کاربردهای فازی

۱-۱ آغاز تئوری فازی : (دهه ۱۹۶۰)

تئوری فازی بوسیله پروفسور لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ در مقاله‌ای بـه نـام «مجموعـه‌هـای فـازی» معرفی گردید. قبل از کار بر روی تئوری فازی لطفی‌زاده یک شخص برجسته در تئوری کنترل بود. او مفهوم «حالت» که اساس تئوری کنترل مدرن را شکل می‌دهد، توسعه داد. در اوایل دهـه ۶۰ او فکـر کرد که تئوری کنترل کلاسیک بیش از حد بر روی دقت تأکیـد داشـته و از ایـن‌رو بـا سیـستم‌هـای پیچیده نمی‌تواند کار کند. در سال ۱۹۶۲ چیزی را بدین مضمون برای سیستم‌های بیولوژیک نوشـت، «ما اساساً به نوع جدیدی از ریاضیات نیازمندیم، ریاضیات مقادیر مبهم یا فازی که توسط توزیـع‌هـای احتمالات قابل توصیف نیستند». پس از آن وی ایـده‌اش را در مقالـه «مجموعـه‌هـای فـازی» تجـسم بخشید. با پیدایش تئوری فازی، بحث‌وجدل‌ها پیرامون آن آغاز گردید. بعضی‌ها آنرا تأیید نموده و کار روی این زمینهٔ جدید را شروع کردند و برخی دیگر نیز این ایراد را وارد می‌کردنـد کـه ایـن ایـده بـر خلاف اصول علمی موجود می‌باشد. با این حال بزرگترین چالش از ناحیه ریاضیدانانی بود کـه معتقـد بودند، تئوری احتمالات برای حل مسائلی که تئوری فازی ادعای حل بهتر آن را دارد، کفایت می‌کند. بدلیل اینکه کاربردهای علمی تئوری فازی در ابتدای پیدایش آن مشخص نبـود، تفهـیم آن از جهـت فلسفی کار مشکلی بود و تقریباً هیچیک از مراکز تحقیقاتی تئوری فازی را بعنوان یک زمینه تحقیـق جدی نگرفتند.

با وجودی که تئوری فازی جایگاه واقعی خود را پیدا نکرد، با این حال هنوز محققینی بودند که در گوشه و کنار دنیا، خود را وقف این زمینهٔ جدید نمودند و در اواخر دهه ۱۹۶۰ روشهای جدید فازی نظیر الگوریتم‌های فازی، تصمیم‌گیری‌های فازی و... مطرح گردید.

۱-۲ رشد تئوری فازی و خلق کاربرد های عملی : (دهه ۱۹۷۰)

اگر بگوئیم پذیرفته‌شدن تئوری فازی بعنوان یک زمینه مستقل، بواسطه کارهای برجستهٔ پروفسور لطفی‌زاده بوده است، سخن به گزاف نگفته‌ایم. بسیاری از مفاهیم بنیادی تئوری فازی بوسیلهٔ لطفی زاده در اواخر دهه ۶۰ و اوایل دهه ۷۰ مطرح گردید. پس از معرفی مجموعه‌های فازی در سال ۱۹۶۵، او مفاهیم الگوریتم‌های فازی در سال ۱۹۶۸، تصمیم‌گیری فازی در سال ۱۹۷۰ و ترتیب فازی را در سال ۱۹۷۱ مطرح نمود.

در سال ۱۹۷۳ او مقالهٔ دیگری را منتشر کرد به نام: «طرح یک راه‌حل جدید برای تجزیه و تحلیل سیستم‌های پیچیده و فرآیندهای تصمیم‌گیری». این مقاله اساس کنترل فازی را بنا کرد. او در این مقاله متغیرهای زبانی و استفاده از قواعد اگر-آنگاه را برای فرموله‌کردن دانش بشری معرفی نمود.

رخداد بزرگ در دهه ۱۹۷۰، تولید کنترل‌کننده‌های فازی برای سیستم‌های واقعی بود.

درسال ۱۹۷۵، ممدانی[1] و آسیلیان[2] چهارچوب اولیه‌ای را برای کنترل‌کننده فازی مشخص کردند و کنترل‌کننده فازی را به یک موتور بخار اعمال نمودند. نتایج در مقاله‌ای تحت عنوان «آزمایشی در سنتز زبانی با استفاده از یک کنترل‌کننده فازی» منتشر گردید. آنها دریافتند که ساخت کنترل‌کننده فازی بسیارساده بوده و بخوبی نیز کار می‌کند. در سال ۱۹۷۸، هولمبلاد[3] و اوستر گارد[4] اولین کنترل‌کننده فازی را برای کنترل یک فرآیند صنعتی کامل بکار بردند، (کنترل فازی کوره سیمان.)

در مجموع، پایه‌گذاری تئوری فازی در دهه ۱۹۷۰ صورت گرفت. با معرفی مفاهیم جدید، تصویر تئوری فازی بعنوان یک زمینه جدید، هر چه بیشتر شفاف گردید. کاربردهای اولیه‌ای نظیر کنترل موتور بخار و کنترل کوره سیمان نیز تئوری فازی را بعنوان یک زمینه جدید مطرح کرد.

معمولاً زمینه‌های تحقیق جدید باید بوسیله مراکز تحقیقاتی و دانشگاهها حمایت گردد. این امرمتأسفانه در مورد تئوری فازی اتفاق نیفتاد. ضمن اینکه بسیاری از محققین، زمینه کاری خود را بدلیل عدم پشتیبانی تغییر دادند. این مطالب بویژه در ایالات متحده واقعیت داشت.

1-Mamdani 2-Assilain 3-Holmblad 4-Ostergard

۱-۳ توسعه کاربردهای عملی و خلق کاربردهای بزرگ (دهه ۱۹۸۰)

در اوایل دهه ۱۹۸۰ این زمینه از نقطه نظر تئوریک پیشرفت کندی داشت. در این مدت راه‌حل‌ها و مفاهیم جدید اندکی معرفی گردید، چرا که هنوز افراد کمی بر روی آن کار می‌کردند. در واقع کاربردهای کنترل فازی بود که هنوز تئوری فازی را سرپا نگهداشته بود.

مهندسان ژاپنی (با حساسیتی که نسبت به فن‌آوری‌های جدید دارند) به سرعت دریافتند که کنترل‌کننده‌های فازی بسهولت قابل طراحی بوده و در مورد بسیاری از مسائل می‌توان از آنها استفاده کرد.

بدلیل اینکه کنترل فازی به یک مدل ریاضی نیاز ندارد، آنرا می‌توان در مورد بسیاری از سیستم‌هایی که بوسیله تئوری کنترل متعارف قابل پیاده‌سازی نیستند، بکار برد. در سال ۱۹۸۰ سوگنو[1] اولین کاربرد ژاپنی سیستمهای فازی با نام کنترل سیستم تصفیه آب فوجی را طراحی نمود. در سال ۱۹۸۳ او مشغول کار بر روی یک ربات فازی شد. ماشینی که از راه دور کنترل‌شده و خودش به تنهایی عمل پارک را انجام می‌داد.

در این سالها یاشانوبو[2] و میاموتو[3] از شرکت هیتاچی کار روی سیستم کنترل قطار زیرزمینی سندایی را آغاز کردند. بالاخره در سال ۱۹۸۷ پروژه به ثمر نشست و یکی از پیشرفته‌ترین سیستم‌های قطار زیرزمینی را در جهان بوجود آورد. در جولای ۱۹۸۷، دومین کنفرانس سیستم‌های فازی در توکیو برگزار گردید.

این کنفرانس دقیقاً سه‌روز پس از افتتاح قطار زیرزمینی سندایی آغاز به کار کرد. در این کنفرانس هیروتا[4] یک روبات‌فازی را به نمایش قرار داد که که پینگ‌پنگ بازی می‌کرد. یاماکاوا[5] نیز سیستم فازی‌ای را نشان داد که یک پاندول معکوس را در حالت تعادل قرار می‌داد. قبل از این رویدادها، تئوری فازی چندان در ژاپن شناخته شده نبود، ولی پس از آن موجی از توجه مهندسان، دولتمردان و تجار را فرا گرفت به نحوی که در اوائل دهه ۹۰ تعداد زیادی از لوازم و وسائلی که بر اساس تئوری فازی کار می‌کردند، در فروشگاهها به چشم می‌خورد.

1- Sogno 2- Yashanobu 3- Miyamoto 4-Hirota 5-Yamakawa

۱-۴ چالشها کماکان باقی است

موفقیت سیستم‌های فازی در ژاپن، تعجب محققان را در امریکا و اروپا برانگیخت. عده‌ای هنوز به آن خرده می‌گرفتند، ولی عده‌ای دیگر از عقیده خود دست برداشته و بعنوان موضوع جدی آن را در دستورکار خود قرار دادند. در فوریه ۱۹۹۲ اولین کنفرانس بین‌المللی IEEE در زمینه سیستمهای فازی درسان‌دیگو برگزار گردید. این یک اقدام سمبلیک در مورد پذیرفتن سیستمهای فازی بوسیله بزرگترین سازمان مهندسی یعنی IEEE بود. در سال ۱۹۹۳ بخش سیستمهای فازی IEEE گشایش یافت. از نقطه نظر تئوری، سیستم‌های فازی و کنترل در اواخر دهه ۸۰ و اوائل دهه ۹۰ رشد چشمگیری پیدا کرد و پیشرفتهایی در زمینه برخی مشکلات اساسی سیستم‌های فازی صورت گرفت. بعنوان مثال تکنیک‌های شبکه عصبی برای تعریف توابع تعلق استفاده شدند. با وجودی که تصویر سیستم‌های فازی شفاف‌تر شده است، با این حال هنوز کارهای زیادی باید انجام شود و بسیاری از راه‌حل‌ها و روش‌ها در ابتدای راه قرار دارد. [۱۹]

فصل دوم

مروری بر نظریهٔ مجموعه‌های معمولی

۲-۱ مقدمه :

مجموعه‌های فازی تعمیمی از مجموعه‌های معمولی‌اند. مناسب است که قبل از شروع مباحث نظریه مجموعه‌های فازی، مفاهیم و تعاریف اصلی مجموعه‌های معمولی را که در ارتباط با مفاهیم فازی است و به درک مطالب کمک می‌کند، یادآوری کنیم. در این بخش این کار انجام شده است. مرور فصل حاضر از این نظر حائز اهمیت است که خوانندگان بهتر می‌توانند مفاهیم نظری مجموعه‌های فازی (که در بخشهای بعد ارائه می‌شود) و ساختار جبری آن را درک کرده و با حالت معمولی مقایسه کنند.

۲-۲ مجموعه‌ها:

گردآیه‌ای معین از اشیاء را مجموعه می‌نامیم. اشیاء این گردآیه اعضا یا عناصر مجموعه نامیده می‌شوند. مجموعه‌ها را با حروف بزرگ لاتین A, B و ... و اعضای آنها را با حروف کوچک لاتین a, b و... می‌نمایانیم. چنانچه a عضو مجموعه A باشد می‌نویسیم $a \in A$ و می‌خوانیم: a عضو A است. در غیراینصورت می‌نویسیم $a \notin A$ و می‌خوانیم: a عضو A نیست. برای نشان‌دادن یک مجموعه روشهای مختلفی به کار می‌رود که آنها را در مثال زیر توضیح می‌دهیم.

مثال ۱ : می‌خواهیم همه اعداد طبیعی کوچکتر از ۱۰ را به صورت یک مجموعه توصیف کنیم و نشان دهیم. فرض کنید این مجموعه را A بنامیم. روشهای زیر برای نشان‌دادن مجموعه A متداول است.

$$A = \{1,2,3,...,10\}$$

$$A = \{x \in N \mid x < 10\}$$

$$A = \{x_{i+1} = x + 1 ; i = 0,1,2,...,9 , x_o = 0\}$$

در هر بحث و موضوع، مجموعهٔ شامل همه عناصر مورد بحث را مجموعهٔ مرجع نامیده و با علامت Y و یا X می‌نمایانیم. مثلاً هنگامی که درباره ویژگیهای اعداد صحبت می‌کنیم، فرض می‌کنیم $X = R$.

گاهی یک مجموعه مانند A را با یک ویژگی کاملاً معین مشخص می‌کنند. یعنی اگر P یک ویژگی خوشتعریف[1] روی X باشد، مجموعه A به صورت زیر تعریف می شود :

$$A = \{x \in X \,|\, P(x)\}$$

مثال۲: اگر X مجموعه انسانها و P ویژگی «بلندقدتر از (cm) ۱۸۰ باشد» آنگاه

$$A = \{x \in X \,|\, P(x)\}$$

عبارت است از مجموعهٔ تمام انسانهایی که دارای ویژگی P می باشند.

قبل از ادامه بحث یک نکته بسیار مهم را یادآوری می‌کنیم. در نظریه مجموعه‌ها بر لفظ معین در تعریف مجموعه تأکید می‌شود. این تأکید به مفهوم عضویت باز می‌گردد. به این معنی که به یک گردآیه وقتی و فقط وقتی لفظ مجموعه اطلاق می‌شود که اعضاء آن دقیقاً مشخص و معین باشند. برای مثال، دانشجویانی از یک دانشگاه که طول قد آنها از (cm) ۱۸۰ بیشتر است، یک مجموعه را مشخص می‌کنند. اما دانشجویانی از آن دانشگاه که «بلندقد» هستند تشکیل یک مجموعه نمی‌دهند. زیرا مفهوم و ویژگی بلند قدبودن یک مفهوم و ویژگی دقیق و معین و خوشتعریف نیست و در نتیجه نمی‌توانیم راجع به عضویت و یا عدم عضویت یک دانشجو مثلاً با طول قد (cm)۱۸۵ در گردآیه دانشجویان بلندقد اتفاق‌نظر داشته باشیم. به عبارت دیگر برای آنکه یک گردآیه، مجموعه باشد باید خاصیتی مانند P که گردآیه توسط آن تعریف می‌شود، کاملاً خوشتعریف و واضح باشد. در مثال فوق «قدبلندتر از (cm) ۱۸۰» یک ویژگی خوشتعریف است، ولی ویژگی «بلندقدبودن» یک ویژگی ذهنی و ناخوشتعریف و مبهم است و تشخیص اینکه یک شخص دارای این ویژگی هست یا خیر (و یا تا چه اندازه این ویژگی را دارد) به فرد نظردهنده بستگی دارد.

۲-۳ شمولیت[2] :

اگر A و B دو مجموعه باشند، گوئیم A زیرمجموعه B است (و یا B شامل A است) اگر هر عضو Aعضوی از B باشد و در این حالت می‌نویسیم $A \subseteq B$. اگر حداقل یک عضو B در A نباشد A را یک

1-welldefind 2-inclusion

زیرمجموعهٔ B گوئیم و می‌نویسیم $A \subset B$. دو مجموعه B و A را مساوی گوئیم و می‌نویسیم $A = B$ اگر: $B \subseteq A , A \subseteq B$

مجموعه‌ای را که شامل هیچ عضو نباشد، مجموعه تهی می‌نامیم و با $\{\}$ یا ϕ می‌نمایانیم. مثلاً مجموعه اعداد طبیعی کوچکتر از صفر و یا مجموعه انسانهای ساکن کرهٔ مریخ، مجموعه‌های تهی هستند. روشن است که برای هر مجموعهٔ دلخواه A داریم $\phi \subseteq A$.

۲-۴ عملگرهای مجموعه‌ای:

۲-۴-۱متمم: فرض کنید X یک مجموعه مرجع و A یک زیرمجموعهٔ دلخواه از آن باشد. متمم A (نسبت به X) که با A' نشان داده می‌شود، عبارت است از مجموعهٔ عناصری از X که در A نیستند. یعنی:

$$A' = \{x \in X \mid x \notin A\}$$

بدیهی است که $\phi' = X$ و $X' = \phi$. بعلاوه متمم ویژگی برگشت‌پذیری دارد، یعنی $(A')' = A$.

۲-۴-۲ اجتماع: اجتماع دومجموعه B,A که با $A \cup B$ نشان داده می‌شود، عبارت است از مجموعهٔ عناصری که یا در A عضو باشند و یا در B (و یا در هردو). یعنی:

$$A \cup B = \{x \mid x \in A \text{ یا } x \in B\}$$

بدیهی است که برای هر مجموعهٔ دلخواه A داریم:

$$A \cup A = A$$
$$, A \cup X = X$$
$$A \cup \phi = A$$

و بویژه اینکه:

$$A \cup A' = X \qquad \text{قانون شمولیت :}$$

در حالت کلی اگر $A_1 ,..., A_n$ مجموعه‌هایی دلخواه باشند، اجتماع آنها عبارت است از مجموعه‌ای از عناصر که هر کدام دست کم در یک A_i عضو باشند. در اینصورت گاهی می‌توان بصورت زیر عمل کرد.

$$A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup .... A_n = \bigcup_{k=1}^{n} A_k$$

۲-۴-۳ اشتراک: اشتراک دو مجموعه A, B که با $A \cap B$ نشان داده می‌شود. عبارت است از مجموعه عناصری که در A و در B هر دو عضو باشند. یعنی:

$$A \cap B = \{x | x \in A, x \in B\}$$

بدیهی است که برای هر مجموعهٔ دلخواه A داریم:

$$A \cap A = A$$

$$A \cap X = A \text{ ,}$$

$$A \cap \phi = \phi$$

و بویژه اینکه :

قانون طرد[1] $$A \cap A' = \phi$$

و مانند حالت اجتماع می‌توان گفت:

$$A_1 \cap A_2 \ldots \cap A_n = \bigcap_{k=1}^{n} A_k$$

و چنانچه برای دو مجموعهٔ A, B داشته باشیم $A \cap B = \phi$ آنگاه A, B را جدا از هم گوئیم.

بسادگی می‌توان تحقیق کرد که عملگرهای اشتراک و اجتماع دارای ویژگیهای زیر هستند:

خودتوانی $A \cup A = A$ $A \cap A = A$

جابه‌جائی $A \cup B = B \cup A$ $A \cap B = B \cap A$

شرکت‌پذیری $A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C$ $A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C$

توزیع‌پذیری $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$ $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$

قوانین دمورگان $(A \cup B)' = A' \cap B'$ $(A \cap B)' = A' \cup B'$

۲-۴-۴ تفاضل دومجموعه: تفاضل دو مجموعه B, A که با A-B نشان داده می‌شود عبارت است از مجموعهٔ عناصری از A که عضو B نباشند. A-B متمم نسبی B نسبت به A نیز خوانده می‌شود. بدیهی است که در حالت کلی: $A - B \neq B - A$

۲-۴-۵ تفاضل متقارن: تفاضل متقارن دو مجموعه B, A بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$A \Delta B = (A - B) \cup (B - A)$$

بعبارت دیگر $A \Delta B$ عبارت است از مجموعهٔ عناصری که یا در A عضو باشند و یا در B. (ونه در

1-exclusion

هر دو). یعنی :

$$A\Delta B = (A \cup B) - (A \cap B)$$

۲-۵ عدد اصلی[1] یک مجموعه و مجموعه توانی آن: فرض کنید A یک مجموعه دلخواه باشد. تعداد عناصری که متعلق به A می‌باشند، عدد اصلی A نامیده می‌شود و با $|A|$ یا Card A نشان داده می‌شوند. مجموعهٔ شامل تمام زیرمجموعه‌های A، مجموعه توانی A نامیده می‌شود و با $P(A)$، نشان داده می‌شود. اگر A یک مجموعهٔ متناهی با n عضو باشد، مجموعهٔ توانی آن 2^n عضو دارد. به عبارت دیگر هر مجموعه با n عضو، تعداد 2^n زیرمجموعه دارد، یعنی:

$$|p(A)| = 2^{|A|}$$

برای دومجموعهٔ A, B داریم:

$$P(A) \cup P(B) \neq P(A \cup B)$$
$$P(A) \cap P(B) = P(A \cap B)$$

مثال ۳: اگر $A = \{1,5,8\}$ آنگاه $Card\, A = 3$ و بعلاوه

$$P(A) = \{\phi, \{1\}, \{5\}, \{8\}, \{1,5\}, \{1,8\}, \{5,8\}, \{1,5,8\}\}$$

بنابراین:

$$|P(A)| = 2^3 = 8$$

۲-۶ تابع نشانگر[2] :

یک روش بسیار مفید در تعریف و نشان‌دادن یک مجموعه، استفاده از مفهوم تابع نشانگر است. فرض کنید A یک زیرمجموعهٔ دلخواه از مجموعه مرجع X باشد. تابع نشانگر A به صورت زیر تعریف و نشان داده می‌شود:

$$X_A(x) = \begin{cases} 1 & x \in A \\ 0 & x \notin A \end{cases}$$

ملاحظه می‌کنید که دامنهٔ تابع نشانگر، مجموعه مرجع، و برد آن مجموعهٔ دوعضوی $\{0,1\}$ است، یعنی داریم:

$$X_A(x) : X \to \{0,1\}$$

استفاده از تابع نشانگر گامی به سوی انتزاعی‌شدن مفهوم مجموعه است، زیرا به جای درنظرگرفتن

1-cardinal number 2- characteristic function

عضوهای یک مجموعه، با اعداد صفر و یک سروکار داریم. اگر یک عضو مثلاً x در مجموعهٔ A عضو باشد، و به عبارت دیگر اگر دارای خاصیت موردنظر باشد، می‌نویسیم $X_{(A)}(x)=1$ و گرنه می‌نویسیم $X_A(x)=0$. تأکید می‌کنیم که هر مجموعه، یک تابع نشانگر دارد . بالعکس هر تابع نشانگر دقیقاً یک مجموعه را تعریف و مشخص می‌کند.

مثال۴: اگر $X=\{1,2,3,...,10\}$ و $A=\{2,5,7\}$ آنگاه

$$X_A(x)=\begin{cases}1 & x=2,5,7\\ 0 & x=1,3,4,6,8,9,10\end{cases}$$

و مثلاً $X_A(5)=1$ و $X_A(6)=0$

۲-۶-۱ ویژگیهای تابع نشانگر:

$$A\subseteq B\Leftrightarrow X_A(x)\le X_B(x) \qquad \forall_{x\in X}$$

$$X_{A'}(x)=1-X_A(x)$$

$$X_{A\cup B}(x)=X_A(x)\vee X_B(x)=\max\left[X_A(x),X_B(x)\right]$$

$$X_{A\cap B}(x)=X_A(x)\wedge X_B(x)=\min\left[X_A(x),X_B(x)\right]$$

مثال۵: فرض کنید

$$X=\{1,2,3,...,10\}$$

$$A=\{1,2,3,4,5\} \quad ; \quad B=\{2,4,6,8,10\}$$

و در اینصورت:

$$X_A(x)=\begin{cases}1 & x=1,2,3,4,5\\ 0 & x=6,7,8,9,10\end{cases} \qquad X_B(x)=\begin{cases}1 & x=2,4,6,8,10\\ 0 & x=1,3,5,7,9\end{cases}$$

بنابراین:

$$X_{A'}(x)=1-X_A(x)=\begin{cases}1-1 & x=1,2,3,4,5\\ 1-0 & x=6,7,8,9,10\end{cases}=\begin{cases}0 & x=1,2,3,4,5\\ 1 & x=6,7,8,9,10\end{cases}$$

و این یعنی:

$$A'=\{6,7,8,9,10\}$$

همچنین :

$$X_{A\cup B}(1)=\max\left[X_A(1),X_B(1)\right]=\max[1,0]=1$$

$$X_{A\cup B}(7)=\max[X_A(7),X_B(7)]=\max[0,0]=0$$

$$X_{A\cup B}(10)=\max[X_A(10),X_B(10)]=\max[0,1]=1$$

پس به طور خلاصه:

$$X_{A\cup B}(x)=\begin{cases}1 & x=1,2,3,4,5.6,8,10\\ 0 & x=7,9\end{cases}$$

یعنی:

$$A\cup B=\{1,2,3,4,5,6,8,10\}$$

همچنین:

$$X_{A\cap B}(1)=\min[X_A(1),X_B(1)]=\min[1,0]=0$$
$$X_{A\cap B}(4)=\min[X_A(4),X_B(4)]=\min[1,1]=1$$
$$X_{A\cap B}(10)=\min[X_A(10),X_B(10)]=\min[0,1]=0$$

پس بطور خلاصه:

$$X_{A\cap B}(x)=\begin{cases}1 & x=2,4\\ 0 & x=1,2,3,5,6,7,8,9,10\end{cases}$$

یعنی:

$$A\cap B=\{2,4\}$$

یک طریقه نمایش بسیار مهم که در مفاهیم تئوری فازی نیز از آن استفاده می‌کنیم، بصورت زیر است که همهٔ اعضای مجموعهٔ مرجع را با مشخص‌کردن مقدار تابع نشانگر هر کدام به‌طور جداگانه نمایش می‌دهیم. برای نمونه مجموعه‌های $A\cap B, A, B$ در مثال قبل اینگونه مشخص می‌شود.[۱۴]

$$A=\{\frac{1}{1},\frac{1}{2},\frac{1}{3},\frac{1}{4},\frac{1}{5},\frac{0}{6},\frac{0}{7},\frac{0}{8},\frac{0}{9},\frac{0}{10}\}$$
$$B=\{\frac{0}{1},\frac{1}{2},\frac{0}{3},\frac{1}{4},\frac{0}{5},\frac{1}{6},\frac{0}{7},\frac{1}{8},\frac{0}{9},\frac{1}{10}\}$$
$$A\cap B=\{\frac{0}{1},\frac{1}{2},\frac{0}{3},\frac{1}{4},\frac{0}{5},\frac{0}{6},\frac{0}{7},\frac{0}{8},\frac{0}{9},\frac{0}{10}\}$$

فصل سوم

مجموعه‌های فازی

۳-۱ مقدمه:

در فصل مروری بر نظریهٔ مجموعه‌های معمولی، با نظریهٔ مجموعه‌ها که زیربنای ریاضیات مدرن است، آشنا شدیم. در این نظریه مجموعه‌ها بصورت گردآیه‌ای معین از اشیاء تعریف می‌شوند. به عبارت دیگر هر مجموعه با یک ویژگی خوشتعریف مشخص می‌شود. اگر یک شئی مفروض، دارای آن ویژگی باشد، عضو مجموعهٔ متناظر است و اگر نباشد، عضو آن نیست. مثلاً اگر مجموعهٔ مرجع X، مجموعهٔ اعداد حقیقی فرض شود و P ویژگی «بزرگتر از ده‌بودن» آنگاه P یک ویژگی خوشتعریف است که یک مجموعهٔ مثلاً A با آن متناظر است، زیرا برای هر عدد از مجموعهٔ اعداد حقیقی می‌توان با قاطعیت گفت که آیا آن عدد بزرگتر از ده است یا خیر و بنابراین عضو A است یا خیر.

حال فرض کنید بخواهیم دربارهٔ آن دسته از مجموعهٔ اعداد حقیقی صحبت کنیم که «بزرگ» باشند. در اینجا با یک ویژگی ناخوشتعریف و مبهم یعنی «بزرگ» سروکار داریم. اینکه چه اعدادی بزرگ هستند و چه اعدادی بزرگ نیستند، بسته به نظر افراد مختلف فرق می‌کند. به عبارت دیگر عضویت و یا عدم عضویت اعداد مختلف و گردآیه‌ای با ویژگی «بزرگ‌بودن» قطعی نیست. مثلاً آیا ۱۰۰عددی «بزرگ» است و عضو گردآیهٔ اعداد حقیقی بزرگ است یا خیر؟ ۱۰۰۰چطور؟ می‌بینیم که ویژگی «بزرگ‌بودن» برای اعداد حقیقی یک ویژگی دقیق و معین و ترد نیست و بنابراین جامهٔ نظریه معمولی مجموعه‌ها بر تن این‌گونه مفاهیم راست نمی آید و این نظریه از صورتبندی این مفاهیم و ویژگیها ناتوان است. از قضا بیشتر مفاهیم و ویژگیهائی که در زندگی روزمره و واقعی نیز در شاخه‌های

مختلف علوم بویژه علوم انسانی و اجتماعی با آن سروکار داریم اینگونه‌اند. یعنی مفاهیمی هستند منعطف و مجموعه‌هائی هستند با کرانهای نامعلوم.

برای مثال ما در زندگی واقعی کمتر از کودکان بلند قدتر از *(cm)*۱۱۰، زمینهای بزرگتر از ۱۰هکتار، مسافتهای طولانیتر از *(km)*۱۰۰ و... صحبت می‌کنیم. بلکه فهم و زبان طبیعی ما بیشتر با مفاهیمی مانند کودکان بلند قد (یا کوتاه‌قد، خیلی کوتاه و...)، زمینهایی وسیع (کوچک، خیلی وسیع، و...)، اجناس گران (ارزان، خیلی‌ارزان، تقریباً گران، ...) سروکار دارد. همچنین در علوم، بویژه علوم‌انسانی و اجتماعی بجای صحبت از کشورهای دارای ۱۰۰۰کارخانه به بالا، شهرهای با جمعیت بیشتر از یک میلیون نفر و ... با مفاهیم و عباراتی مانند جوامع پیشرفته صنعتی، فرهنگهای بومی، تراکم جمعیت زیاد، کودکان کنددهن و... سروکار داریم. هیچکدام از این مفاهیم و تعاریف، تعاریف دقیقی نیستند که بتوان برای هر کدام مجموعه‌هایی دقیق را تصور کرد. در قلمرو ریاضیات و نظریه مجموعه‌های کلاسیک جائی برای این مفاهیم نیست و قالبی برای صورتبندی این مفاهیم و ابزاری برای تجزیه‌وتحلیل آنها وجود ندارد.

نظریه مجموعه‌های فازی یک قالب جدید ریاضی برای صورتبندی و تجزیه و تحلیل این مفاهیم و ویژگیهاست. این نظریه یک تعمیم و گسترش طبیعی نظریهٔ مجموعه‌های معمولی است، که موافق با زبان و فهم طبیعی انسانها نیز می‌باشد.

قبل از ورود به بحث اصلی و معرفی ساختار ریاضی این نظریه، اساس کار پروفسور لطفی‌زاده، مبدع ایرانی تبار این نظریه را شرح می‌دهیم. این کار را با پیگیری مثال فوق دربارهٔ اعداد حقیقی بزرگ انجام می‌دهیم. همانطور که در بالا بیان شد، آنچه که در مجموعه بودن «اعداد بزرگ» اشکال ایجاد می‌کند، معلوم نبودن عضویت و یا عدم عضویت اعداد مختلف در گردایه «اعداد بزرگ» است. بنابه پیشنهاد لطفی زاده، مناسب است که به هر عدد از مجموعهٔ اعداد حقیقی، عددی از بازه [0,1] به عنوان درجهٔ بزرگی آن عدد نسبت دهیم.

هر چه یک عدد، بزرگتر بود عدد متناظر برای عضویت آن در A «مجموعه اعداد بزرگ» به یک نزدیکتر باشد. و بالعکس هرچه عدد موردنظر کوچک بود، عدد مربوط به عضویت آن در A به صفر نزدیکتر باشد.

به این ترتیب به جای اینکه بگوییم عدد ۱۰۰۰بزرگ است یا بزرگ نیست، و یا اینکه در این باره ساکت باشیم، می‌گوئیم درجهٔ بزرگی آن، مثلاً ۰/۷ است، به عبارت دیگر بجای آنکه بگوئیم عدد ۱۰۰۰عضو A هست یا عضو A نیست، می‌گوئیم: با درجهٔ ۰/۷ عضو A است.

مسلماً در این مورد باید برای هر عدد از R، عددی از $I=[0,1]$ را به عنوان درجه و میزان عضویت و تعلق از A نسبت دهیم. یعنی یک تابع را درنظر بگیریم که قلمرو آن R و برد آن I باشد. مشاهده می‌کنید که توانستیم به یک قالب ریاضی برسیم، یعنی یک تابع از R به I برای توصیف و تجزیه و تحلیل اعداد حقیقی بزرگ.

شایان ذکر است که اساس کار تشریح شده چیزی نیست جز گسترش مفهوم تابع نشانگر که یک مجموعه یا یک تابع با برد $\{0,1\}$ است که به یک تابع با برد $[0,1]$ تبدیل می شود.

به این ترتیب می‌توان بسیاری از مفاهیم بیگانه با ریاضیات فعلی را وارد دنیای ریاضیات کرد، و تفکرات و مفاهیم و زبان و منطق بشری را دریک ساختار ریاضی نظم وترتیب داد.

در فصل حاضر، تعاریف و مفاهیم مقدماتی نظریهٔ مجموعه‌های فازی مطرح و بررسی می‌شود.[۹]

۲-۳ مفاهیم و تعاریف مقدماتی:

فرض کنید X،یک مجموعهٔ دلخواه باشد. همانطور که در بخش قبل گفته شد، تابع نشانگر هر زیرمجموعهٔ معمولی A از X ، یک تابع با برد $\{0,1\}$ است که اینگونه تعریف می‌شود.

$$X_A(x)=\begin{cases}1 & x\in A\\ 0 & x\notin A\end{cases}$$

حال اگر برد تابع نشانگر را از مجموعه دوعضوی $\{0,1\}$ به بازهٔ $[0,1]$ توسعه دهیم، یک تابع خواهیم داشت که به هر x از X، عددی را از بازهٔ $[0,1]$ نسبت می‌دهد. این تابع را تابع عضویت[1] A می‌نامیم.

اکنون A دیگر یک مجموعه معمولی نیست، بلکه چیزی است که آن را یک مجموعهٔ فازی می‌نامیم. (بطور دقیقتر یک زیرمجموعهٔ فازی از X)

بنابراین یک مجموعه فازی A، مجموعه‌ای است که درجات عضویت اعضای آن می‌تواند بطور پیوسته از $I=[0,1]$ اختیار شود. این مجموعه بطور کامل و یکتا توسط یک تابع عضویت که آن را با

1-Membership function

$\mu_A(x)$ می‌نمایانیم مشخص می‌شود. تابعی که به هر عنصر از X، یک عدد را از بازهٔ $[0,1]$ بعنوان درجهٔ عضویت آن عنصر در مجموعهٔ فازی A نسبت می‌دهد. نزدیکی مقدار $\mu_A(x)$ به عدد یک نشان‌دهندهٔ تعلق بیشتر x به مجموعهٔ فازی A است و بالعکس نزدیکی آن به صفر نشان‌دهندهٔ تعلق کمتر x به A است.

به لحاظ شهودی $\mu_A(x)$ را می‌توان درجهٔ پذیرش ما در قبول x به عنوان عضوی از A درنظرگرفت. در حالت حدی چنانچه x کاملاً در A عضو باشد، داریم $\mu_A(x)=1$ و چنانچه اصلاً در A عضو نباشد، داریم $\mu_A(x)=0$. پس مجموعه‌های معمولی و توابع نشانگر آنها، حالتهای خاص از مجموعه‌های فازی و توابع عضویت آنها هستند.

مثال۱: فرض کنید $X=\{1,2,3,4,5\}$، یک زیرمجموعه فازی از X که «کوچک‌بودن» را نشان دهد، می‌تواند بوسیلهٔ تابع عضویت زیر تعریف شود.

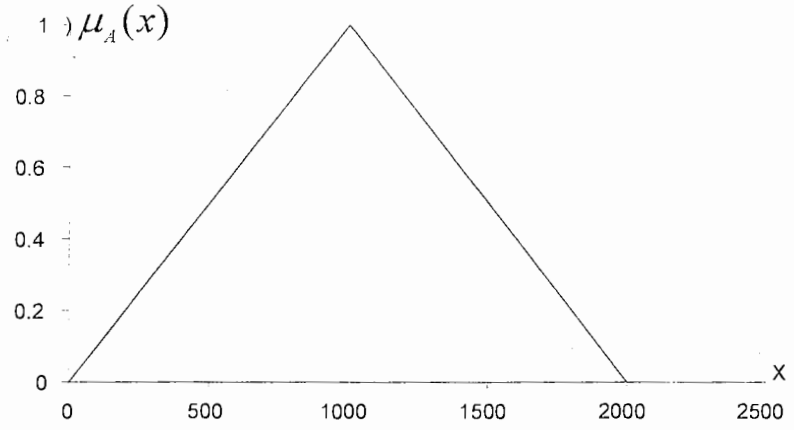
$$\mu_B(x)=\begin{cases}1 & x=1\\ 0.6 & x=2\\ 0.3 & x=3\\ 0.1 & x=4\\ 0 & x=5\end{cases}$$

و در اینجا مثلاً $\mu_B(2)=0.6$ یعنی عدد دو با درجهٔ ۰/۶ عضو مجموعه فازی B است و $\mu_B(5)=0$. یعنی عدد پنج اصلاً عضو مجموعهٔ فازی B نیست و $\mu_B(1)=1$ یعنی عدد یک کاملاً عضو مجموعهٔ فازی B است. بعبارت دیگر عدد دو ویژگی «کوچک‌بودن» را با درجهٔ ۰/۶ داراست.

مثال۲: فرض کنید $X=[0,2000]$. یک زیرمجموعهٔ فازی از X که نشان‌دهندهٔ ویژگی «نزدیک ۱۰۰۰» باشد، می‌تواند توسط تابع عضویت زیر تعریف شود.

$$\mu_A(x)=\begin{cases}\dfrac{x}{1000} & x\le 1000\\ \dfrac{2000-x}{1000} & 1000<x\end{cases}$$

نمودار تابع عضویت مجموعهٔ فازی A، که اصطلاحاً یک تابع عضویت مثلثی است در شکل ۳- ۲-۱ رسم شده است.



شکل ۳-۲-۱ نمودار تابع عضویت مجموعه فازی A: اعداد نزدیک به ۱۰۰۰

قبل از ادامه بحث متذکر می‌شویم که افراد مختلف ممکن است نظرات مختلفی دربارهٔ ویژگیهائی مانند «کوچک‌بودن» یا «نزدیک به هزاربودن» و مانند اینها داشته باشند. خود شما می‌توانید یک تابع عضویت دیگر برای ویژگی «کوچک‌بودن» در مثال ۱ ارائه دهید که مثلاً درجهٔ کوچک‌بودن برای عدد سه، چیزی غیر از ۰/۳ باشد (بزرگتر یا کوچکتر).

بنابراین در تعیین تابع عضویت یک مجموعه فازی، جنبه‌های ذهنی و مشخص بسیار مهم و موثر است. اینکه یک تابع عضویت چه ویژگیهایی دارد و یا باید داشته باشد و نیز چگونگی ساختن آن در موارد مختلف از بحثهای اساسی نظریهٔ مجموعه‌های فازی است. [۱۴]

۳-۳ تعاریف بنیادین:

فرض کنید X یک مجموعهٔ مرجع و A یک زیرمجموعهٔ فازی از آن باشد.

۳-۳-۱ تکیه‌گاه[1]: مجموعهٔ نقاطی از X که برای آن نقاط، $\mu_A(x) > 0$، تکیه‌گاه A نامیده می‌شود و با $SuppA$ نشان داده می‌شود.

۳-۳-۲ ارتفاع: در بین درجات عضویت موجود در زیرمجموعهٔ فازی A، بیشترین مقدار درجه عضویت را ارتفاع مجموعه فازی A می‌نامند. $M = \underset{x}{Sup}\, \mu_A(x)$

۳-۳-۳ مجموعه فازی نرمال[2]: در صورتیکه ارتفاع مجموعه فازی A برابر یک باشد، آنگاه A نرمال نامیده می‌شود. در غیراینصورت A را زیرنرمال گوئیم. بدیهی است که هر مجموعهٔ فازی زیرنرمال A را می‌توان با تقسیم $\mu_A(x)$ها بر ارتفاع A، نرمال کرد.

1-support 2-normal fuzzy set

۳-۳-۴ نقطه گذر[1]: اگر x عنصری باشد که برای آن $\mu_A(x) = \frac{1}{2}$ باشد، در اینصورت x را یک نقطه گذر (معبر) A گوئیم.

مثال۳: برای مجموعهٔ فازی B درمثال ۱ داریم:

$$SuppB = \{1,2,3,4\}$$

بنابراین ارتفاع B برابر یک است و لذا B یک مجموعهٔ فازی نرمال می‌باشد. بعلاوه B هیچ معبری ندارد.

$$M = \underset{x}{Sup}\, \mu_B(x) = 1$$

۳-۴ نمادگذاری:

برای نشان‌دادن یک مجموعهٔ فازی روشهای مختلفی رایج است. یک روش بکاربردن مستقیم تابع عضویت مجموعه فازی است. روش متداول دیگر توصیف یک مجموعهٔ فازی به صورت مجموعه‌ای از زوجهای مرتب به گونهٔ زیر است.

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \; ; x \in X\}$$

هنگامی که X یک مجموعهٔ متناهی (و یا نامتناهی شمارا) بصورت $\{x_1,...,x_n\}$ باشد، یک زیرمجموعهٔ فازی A از X بصورتهای زیر نشان داده می‌شود.

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1}, \frac{\mu_A(x_2)}{x_2}, ..., \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} \right\}$$

$$A = \mu_A(x_1)/x_1 + ... + \mu_A(x_n)/x_n = \sum_{i=1}^{n} \mu_A(x_i)/xi$$

که در عبارت دوم، منظور از علامت +، اجتماع است نه جمع حسابی.

و هنگامی که X یک مجموعهٔ پیوسته باشد، نماد زیر بکار برده می‌شود.

$$A = \int_x \mu_A(x)/x$$

که در آن منظور از علامت $\int$ ، اجتماع است.

مثال۴: فرض کنید $X = \{1,2,3,...,10\}$ ، یک زیرمجموعهٔ فازی A از X را که نشان‌دهندهٔ ویژگی «نه‌خیلی کوچک و نه خیلی بزرگ است» می‌توان توسط تابع عضویت زیر تعریف کرد.

1-crossover point of

$$\mu_A(x)=\begin{cases}0.1 & x=2\\ 0.3 & x=3\\ 0.5 & x=4\\ 0.8 & x=5\\ 0.8 & x=6\\ 0.5 & x=7\\ 0.3 & x=8\\ 0.1 & x=9\end{cases}$$

با استفاده از نمادهائی که در بالا اشاره شد، A را می‌توان به صورتهای زیر نوشت:

$$A=\{(2,0.1),(3,0.3),...,(9,0.1)\}$$

$$A=0.1/2+0.3/3+...+0.1/9$$

مثال۵: فرض کنید $X=[0,100]$ و $x\in X$ بعنوان سن تلقی شود. زیر مجموعهٔ فازی A از X که «پیری» را نشان می‌دهد، می‌تواند اینگونه تعریف شود.

$$\mu_A(x)=\begin{cases}0 & x\le 50\\ \dfrac{1}{1+\left(\dfrac{x-50}{5}\right)^{-2}} & 50<x\le 100\end{cases}$$

که با نماد اشاره شده در قسمت مجموعه فازی پیوسته می‌توان بصورت زیر نوشت:

$$A=\int_{50}^{100}\frac{1}{1+\left(\dfrac{x-50}{5}\right)^{-2}}\Big/x$$

۳-۵ عدد اصلی یک مجموعه فازی[1]:

تعریف۱- فرض کنید X یک مجموعه معمولی متناهی و A یک زیرمجموعهٔ فازی از آن باشد عدد اصلی A و عدد اصلی نسبی A بصورت زیر تعریف می‌شود.

$$|A|=\sum_{x\in X}\mu_A(x)$$

$$\|A\|=\frac{|A|}{|X|}$$

1-cardinal number of fuzzy set

همچنین در حالت X نامتناهی، عدد اصلی زیرمجموعهٔ فازی A از X بصورت زیر تعریف می‌شود (در صورت وجود)

$$|A| = \int_X \mu_A(x)\,dx$$

می‌توان از عدد اصلی نسبی دو مجموعهٔ فازی برای مقایسهٔ آن دو مجموعه استفاده کرد. البته گاهی لازم است که مجموعهٔ مرجع آنها یکسان باشد. همچنین عدد اصلی نسبی A را می‌توان بعنوان نسبتی از اعضا X تلقی کرد که در A می‌باشند. در بعضی از مراجع از اصطلاح توان بجای عدد اصلی یک مجموعه فازی استفاده شده است.

همانطور که در بخش مروری بر تئوری مجموعه‌ها ذکر گردید. بسیاری از روابط و قوانین موجود در تئوری مجموعه‌ها را می‌توان در مورد مجموعه‌های فازی تعمیم داد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: [۱۴]

۳-۶ عملگرهای مجموعه‌ای:

این عملگرها یک تعمیم طبیعی عملگرهای مجموعه‌ای برای مجموعه‌های معمولی است که در بخش مجموعه‌ها یادآوری شد. در تمامی موارد، X یک مجموعه مرجع و $A,\ B$ و... زیرمجموعه‌های فازی آن به ترتیب با توابع عضویت $\mu_A(x), \mu_B(x)$ و... می‌باشند که برای اختصار و از این به بعد با $A(x),\ B(x)$ و ... نشان داده می‌شوند.

تعریف ۱: مجموعه فازی A را تهی گویند، اگر بر هر $x \in X$ $A(x) = 0$

تعریف۲: مجموعه فازی A را تام گویند، اگر بر هر $x \in X$ $A(x) = 1$

تعریف۳: گوئیم مجموعه فازی A، زیرمجموعه فازی B است و می‌نویسیم $A \subseteq B$ اگر بر هر $x \in X$، $A(x) \le B(x)$

تعریف۴: دو مجموعهٔ فازی $A,\ B$ را مساوی گوئیم و می‌نویسیم $A=B$ اگر برای هر $x \in X$, $A(x) = B(x)$.

تعریف۵: مجموعهٔ فازی A'، متمم فازی A، توسط تابع عضویت زیر تعریف می‌شود.

$$A'(x) = 1 - A(x) \qquad \forall x \in X$$

۳-۶-۱ اجتماع و اشتراک دو مجموعه فازی: اجتماع و اشتراک دو مجموعه فازی A, B بصورت یک مجموعه فازی با توابع عضویت زیر تعریف می‌شود.

$$(A \cup B)(x) = \max[A(x), B(x)] \qquad \forall x \in X$$
$$(A \cap B)(x) = \min[A(x), B(x)]$$

چنانچه k یک مجموعه اندیس‌گذار باشد و A_α ها، $\alpha \in k$ ،زیرمجموعه‌های فازی از X باشند، آنگاه $\bigcup_{\alpha \in k} A_\alpha$ و $\bigcap_{\alpha \in k} A_\alpha$ بصورت مجموعه‌های فازی با توابع عضویت زیر تعریف می‌شوند.

$$(\bigcup_{\alpha \in k} A_\alpha)(x) = Sup\{A_\alpha(x), \alpha \in k\}$$
$$(\bigcap_{\alpha \in k} A_\alpha)(x) = \inf\{A_\alpha(x), \alpha \in k\}$$

۳-۷ بعضی عملگرهای دیگر:

علاوه بر عملگرهای اساسی تعریف‌شده در بخش قبل، تعدادی عملگر دیگر نیز بر مجموعه‌های فازی تعریف شده‌اند در زیر به مهمترین آنها که البته کاربردهای مختلفی دارند، اشاره می‌کنیم:

۳-۷-۱ جمع جبری (احتمالی) دو مجموعه فازی A, B که با $A+B$ نشان داده می‌شود، به صورت یک مجموعه فازی با تابع عضویت زیر تعریف می‌شود

$$(A+B)_{(x)} = A(x) + B(x) - A(x).B(x)$$

۳-۷-۲ جمع کراندار دو مجموعه فازی A, B که با $A \oplus B$ نشان داده می‌شود، به صورت یک مجوعه فازی با تابع عضویت زیر تعریف می‌شود.

$$(A \oplus B)_{(x)} = \min\{1, A(x) + B(x)\}$$

۳-۷-۳ تفاضل کراندار دو مجموعه فازی A, B که با $A-B$ نشان داده می‌شوند، بصورت یک مجموعه فازی با تابع عضویت زیر تعریف می‌شود.

$$(A-B)_{(x)} = \max\{0, A(x) + B(x) - 1\}$$

۳-۷-۴ حاصلضرب جبری دو مجموعه فازی A, B که با $A.B$ نشان داده می‌شود بصورت یک مجموعه فازی با تابع عضویت زیر تعریف می‌شود.

$$(A.B)_{(x)} = A(x).B(x)$$

یادآور می‌شویم که در نظریه مجموعه‌های فازی گاهی به جای استفاده از عملگر *max*، از عملگرهای $A+B$ یا $A\oplus B$ و به جای استفاده از عملگر *min* از عملگرهای $A.B$ یا $A-B$ استفاده می‌شود.

تعریف: توان m ام $(m>0)$ یک مجموعه فازی A، که با A^m نشان داده می‌شود، بصورت یک مجموعه فازی با تابع عضویت زیر تعریف می‌شود:

$$A^m(x)=[A(x)]^m$$

بعنوان دو حالت خاص تعریف فوق، عملگرهای تمرکز و گسترش بر یک مجموعه فازی A اینگونه تعریف می‌شوند.

$CON(A)=A^2$ تمرکز

$DIL(A)=A^{0.5}$ گسترش

۳-۷-۵ حاصلضرب دکارتی: اگر $A_1,...,A_n$ به ترتیب زیرمجموعه‌های فازی از $X_1,...,X_n$ باشند، حاصلضرب دکارتی $A_1,...,A_n$ که به $A_1\times...\times A_n$ نشان داده می‌شود، بصورت یک زیرمجموعه فازی ازفضای حاصلضرب $X_1\times...\times X_n$ با تابع عضویت زیر تعریف می‌شود:

$$(A_1\times...\times A_n)(x_1,...,x_n)=\min\{A_i(x_i)\} \qquad i=1,..,n$$

مثال۶: اگر $X_1=X_2=\{3,5,7\}$ و زیرمجموعه‌های فازی A_1, A_2 بصورت زیر باشند آنگاه:

$$A_1=\left\{\frac{0.5}{3},\frac{1}{5},\frac{0.6}{7}\right\} \quad , \quad A_2=\left\{\frac{1}{3},\frac{0.6}{2}\right\}$$

$$A_1\times A_2=\left\{\frac{0.5}{(3,3)},\frac{0.5}{(3,5)},\frac{1}{(5,3)},\frac{0.6}{(5,5)},\frac{0.6}{(7,3)},\frac{0.6}{(7,5)}\right\}$$

۳-۸ عملگرهای جانشین برای *min , max*

در بخش قبل با تعاریف اجتماع و اشتراک بر اساس عملگرهای *min, max* آشنا شدیم. از طرفی شایان ذکر است که تعاریف یادشده، تنها تعاریف ممکن نیستند. تعاریف دیگری نیز برای اجتماع و اشتراک دو مجموعهٔ فازی ارائه شده است که هر کدام با توجه به ویژگیهایی که دارند، زمینه‌های کاربردی ویژه‌ای دارند.

در این بخش تعدادی از مهمترین آنها ارائه می‌شود. [۹]

۳-۸-۱ نرم‌های مثلثاتی[1] :

قبل از معرفی تعمیم‌های مختلف اجتماع و اشتراک، دو تعریف اساسی را یادآوری می‌کنیم که نرم‌های مثلثی و هم نرمهای مثلثی نامیده می‌شوند.

تعریف۱- یک تابع دومتغیره بصورت $T(x,y) = I \times I \to I$ را یک $T-$ نرم گویند، اگر در شرایط زیر صدق کند:

$T(x,1) = 1$

$x_1 \le x_2 , y_1 \le y_2 \Rightarrow T(x_1, y_1) \le T(x_2, y_2)$ یکنوائی

$T(x,y) = T(y,x)$ جابه‌جائی

$T[x,T(y,z)] = T[T(x,y),z]$ شرکت‌پذیری

تعریف۲- یک تابع دو متغیره بصورت $S(x,y) = I \times I \to I$ را یک $T-$ همنرم یا $S-$نرم گویند هرگاه درشرایط زیر صدق کند:

$S(x,0) = 0$

$x_1 \le x_2 , y_1 \le y_2 \Rightarrow S(x_1, y_1) \le S(x_2, y_2)$ یکنوائی

$S(x,y) = S(y,x)$ جابه‌جائی

$S[x,S(y,z)] = S[S(x,y),z\}$ شرکت‌پذیری

اکنون می‌پردازیم به معرفی متداولترین تعاریف اجتماع و اشتراک برای مجموعه‌های فازی که همگی بر اساس زوجهای دوگان $T-$ نرم و $S-$نرم ارائه شده‌اند.

لازم به تذکر است که در استفاده از $S-$ نرمها و $T-$ نرم ها باید از رابطهٔ زیر در معادل‌سازی استفاده کرد:

$(A \cup B)_{(x)} = S[A(x), B(x)]$

$(A \cap B)_{(x)} = T[A(x), B(x)]$

براساس معادل‌سازی ارائه‌شده در بالا تعدادی از این $T-$ نرمها و $S-$نرمها را معرفی می‌کنیم.

1-triangular norms

۱- ماکزیمم و مینیمم

$$T(x,y)=\min(x,y) \qquad (A\cap B)(x)=\min\{A(x),B(x)\}$$
$$\Rightarrow$$
$$S(x,y)=\max(x,y) \qquad (A\cup B)(x)=\max\{A(x),B(x)\}$$

۲- روابط هاماخر [1]

$$T_{(x,y)}=\frac{x.y}{\gamma+(1-\gamma)(x+y-x.y)}$$
$$S_{(x,y)}=\frac{x+y-(2-\gamma)x.y}{1-(1-\gamma)x.y}$$

۳- روابط دوبوا [2] و پراد [3]

$$T(x,y)=\frac{x.y}{\max\{x,y,\alpha\}} \qquad \alpha\in I=[0,1]$$
$$S(x,y)=\frac{x+y-x.y-\min\{x,y,(1-\alpha)\}}{\max\{(1-x),(1-y),\alpha\}} \qquad \alpha\in I$$

مثال۷ : یک مجتمع مسکونی را درنظر بگیرید که دارای آپارتمانهای با تعداد اطاق از یک تا هفت اطاق است. بنابراین $X=\{1,2,..,7\}$ مجموعهٔ انواع آپارتمانهاست که در آن x تعداد اطاقهای یک آپارتمان است. اگر مجموعهٔ فازی A، «آپارتمانهای مناسب یک خانواده ۴-نفره» و B: «آپارتمانهای بزرگ» بصورتهای زیر تعریف شوند.

$$A=\left\{\frac{0.2}{1},\frac{0.5}{2},\frac{0.8}{3},\frac{1}{4},\frac{0.7}{5},\frac{0.3}{6},\frac{0.1}{7}\right\}$$
$$B=\left\{\frac{0.1}{2},\frac{0.3}{3},\frac{0.6}{4},\frac{0.7}{5},\frac{0.8}{6},\frac{1}{7}\right\}$$

آنگاه $A\cap B$ که بیانگر مجموعه فازی «آپارتمانهای مناسب یک خانواده۴-نفره و در عین حال بزرگ» است و $A\cup B$ که بیانگر مجموعهٔ فازی «آپارتمانهای مناسب یک خانواده ۴-نفره و یا بزرگ»

1- H . Hammacher 2- D . Dubois 3- H . Prade

است را می‌توان بر حسب تعاریف مختلف بدست آورد.

۱- بر اساس عملگرهای *max, min*

$$A \cap B = \left\{ \frac{0.1}{2}, \frac{0.3}{3}, \frac{0.6}{4}, \frac{0.7}{5}, \frac{0.3}{6}, \frac{0.1}{7} \right\}$$

$$A \cup B = \left\{ \frac{0.2}{1}, \frac{0.5}{2}, \frac{0.8}{3}, \frac{1}{4}, \frac{0.7}{5}, \frac{0.8}{6}, \frac{0.1}{7} \right\}$$

۲- بر اساس عملگرهای دوبوا و پراد $\alpha = 0.8$

$$A \cap B = \left\{ \frac{0.06}{2}, \frac{0.3}{3}, \frac{0.6}{4}, \frac{0.61}{5}, \frac{0.3}{6}, \frac{0.1}{7} \right\}$$

$$A \cup B = \left\{ \frac{0.2}{1}, \frac{0.5}{2}, \frac{0.82}{3}, \frac{1}{4}, \frac{0.76}{5}, \frac{0.82}{6}, \frac{1}{7} \right\}$$

۳-۹ نکات تکمیلی :

همین‌جا خاطرنشان می‌کنیم که تنوع بوجود آمده در انبوهش مجموعه‌های فازی بدلیل آن است که استدلالها و تصمیم‌گیریهای بشری یک قالب یکتا و غیرمنعطف ندارد. و چون هدف نهایی از نظریهٔ مجموعه‌های فازی صورتبندی استدلالها و تصمیم‌گیریهای بشری به گونه مناسب است، لذا رسیدن به این هدف ایجاب می‌کند که انواع عملگرهای انبوهش که هر کدام در زمینه‌ای خاص کارائی بهتری داشته و با نحوه عمل بشری در آن زمینه سازگاری بهتری دارد، به کار گرفته شوند.

اینکه، در هر زمینه چه نوع عملگرهای انبوهش، بهترین‌اند به ملاکها و معیارهای ما بستگی دارد. از لحاظ ریاضی و منطقی، دانستن یک پایهٔ اصل موضوعی، حائز اهمیت است. اما از لحاظ عملی و کاربردی نیز باید نکاتی را مانند سازگاری با مقتضیات مسئله، کارآئی محاسبات، موفقیت در آزمونهای برازش عملی و تجربی درنظر گرفت. [۱۴]

فصل چهارم

ریاضیات فازی

۴-۱ اصل گسترش[1] :

اصل گسترش یکی از مفاهیم اساسی و کلیدی در نظریه مجموعه‌های فازی است. این اصل ابزاری است برای گسترش و تعمیم مفاهیم ریاضی غیرفازی به گونه‌ای که بصورت کمیتهای فازی درآیند. این اصل بویژه در تعمیم عملگرهای جبری بین اعداد و تعریف این عملگرها بصورت اعداد فازی مفید است.

فرض کنید یک تابع معمولی مانند $f : X \to Y$ داریم. این تابع به هر $x \in X$، نقطه‌ای از Y را می‌نگارد. بنابراین تابع f بر هر نقطه X عمل کرده و نقطه‌ای از Y را به آن نسبت می‌دهد.

حال می‌خواهیم f را به طوری گسترش دهیم که به جای اینکه بر یک نقطه از X عمل کند، بر یک زیرمجموعه فازی از X عمل کند. آنچه مهم است تعریف مقدار حاصل از عمل f بر یک زیر زیرمجموعه فازی از X مثلاً A است. مسلماً انتظار داریم که $f(A)$ یعنی حاصل عمل f بر A، دیگر یک نقطه از Y نباشد، بلکه یک زیرمجموعه فازی از Y مانند B باشد. اصل گسترش روش این تعمیم را بیان می‌کند.

تعریف۱ : فرض کنید X و Y دو مجموعه و f یک تابع بصورت $f : X \to Y$ و A یک زیرمجموعه فازی از X باشد. اصل گسترش بیان می‌کند که می‌توانیم قلمرو f را به زیرمجموعه‌های فازی X و بصورت مقابل گسترش دهیم. $B = f(A) = \{(y, B(y)) | y = f(x),\ x \in X\}$

1-Extention principle

که در آن :

$$B(y):\begin{cases}\sup\limits_{x,y=f(x)} A(x) & f^{-1}(y)\neq\phi\\ 0 & f^{-1}(y)=\phi\end{cases}$$

تعریف۲: فرض‌کنید $X_1,...,X_n$ ، n مجموعهٔ مرجع و $X=X_1\times...\times X_n$ حاصلضرب دکارتی آنها باشد. همچنین $A_1,...,A_n$ ، n زیرمجموعهٔ فازی به ترتیب از $X_1,...,X_n$ باشند. در اینصورت حاصلضرب دکارتی $A_1,...,A_n$ بصورت یک مجموعه فازی از X تعریف می‌شود که برای آن:

$$A_1\times...\times A_n=\int_{X_1\times X_2\times..\times X_n}\min\{A_1(x_1),...,A_n(x_n)\}\Big/(x_1,...,x_n)$$

تعریف۳: (اصل گسترش) مفروضات تعریف فوق را درنظر بگیرید. همچنین فرض کنید f یک نگاشت از X به مجموعهٔ Y باشد. یعنی $y=f(X_1,...,X_n)$ ، حال، حاصل عمل f بر مجموعه فازی $A_1,...,A_n$ بعنوان یک زیرمجموعهٔ فازی B از Y و بصورت زیر تعریف می‌شود.

$$B=f(A_1,...,A_n)=\{(y,B(y))\,|\,y=f(x_1,...,x_n),x_1\in X_1,...,x_n\in X_n\}$$

که در آن :

$$B(y)=\begin{cases}\sup\min\limits_{\substack{x_1,...,x_n\\ y=f(x_1,...,x_n)}}\{A_1(x_1),...,A_n(x_n) & f^{-1}(y)\neq\phi\\ 0 & f^{-1}(y)=\phi\end{cases}$$

مثال۱: فرض کنید $X_1=X_2=Z$ و A_1,A_2 دو زیرمجموعه فازی از Z به ترتیب نمایانگر «تقریباً صفر» و «تقریباً یک» بصورت زیر باشند.

$$A_1=\left\{\frac{0.2}{-2},\frac{0.5}{-1},\frac{1}{0},\frac{0.5}{1},\frac{0.2}{2}\right\}$$

$$A_2=\left\{\frac{0.2}{-1},\frac{0.5}{0},\frac{1}{1},\frac{0.5}{2},\frac{0.2}{3}\right\}$$

همچنین $f:X_1\times X_2\to Y$ بصورت $y=f(x_1,x_2)=x_1^2+x_2^2$ باشد. در اینصورت

$$A_1\times A_2=\left\{\frac{0.2}{(-2,-1)},\frac{0.2}{(-2,0)},...,\frac{1}{(0,1)},\frac{0.5}{(0.2)},....,\frac{0.2}{(2,3)}\right\}$$

و بنابراین طبق اصل گسترش؛

$$B=f(A_1,A_2)=\left\{\frac{0.5}{0},\frac{1}{1},\frac{0.5}{2},\frac{0.5}{4},\frac{0.5}{5},\frac{0.2}{8},\frac{0.2}{9},\frac{0.2}{10},\frac{0.2}{13}\right\}$$

توضیح اینکه در اینجا یک تابع دومتغیره حقیقی داریم که به هر دو عدد، مجموع مجذورات آنها را نسبت می‌دهد. یعنی مثلاً به دو عدد صفر و یک، مقدار $f(0,1)=0^2+1^2=2$ را نسبت می‌دهد. حال می‌خواهیم بجای عدد صفر و یک درباره «تقریباً صفر» و «تقریباً یک» صحبت کنیم. در اینصورت با توجه به اصل گسترش می‌توانیم در مورد مقدار مجموع «مجذور تقریباً صفر» و «مجذور تقریباً یک» صحبت کنیم. [۹]

۲-۴ اعداد فازی[1] :

تعریف۱: یک مجموعه فازی نرمال محدب[2] مانند N از R (خط حقیقی) را یک عدد فازی (حقیقی) گوئیم، اگر:

۱ـ $N(x)$ تک‌نمائی[3] باشد. یعنی دقیقاً یک $x_o \in R$ وجود داشته باشد که $N(x_o)=1$.

۲- $N(x)$ قطعه به قطعه پیوسته باشد.

مجموعهٔ تمام اعداد فازی را با $F(R)$ نمایش می‌دهیم.

لازم به ذکر است که یک مجموعه فازی A محدب است اگر و فقط اگر برای هر $x_2 \in X$ و x_1 و هر $\lambda \in [0,1]$ داشته باشیم:

$$A[\lambda x_1+(1-\lambda)x_2] \geq \min[A(x_1),A(x_2)]$$

تعریف۲: عدد فازی N را مثبت (منفی) گوئیم اگر برای هر $x<0$ $(x>0)$ داشته باشیم $N(x)=0$.

مثال۲: مجموعه فازی N با تابع عضویت زیر یک عدد فازی است. می‌توان N را عدد فازی «تقریباً صفر» تعبیر کرد.

$$A(x)=\begin{cases}|1-x| & x \in [-1,1] \\ 0 & \text{سایر نقاط}\end{cases}$$

همانطور که مشاهده می‌شود عدد فازی N نه یک عدد فازی مثبت است و نه یک عدد فازی منفی. با استفاده از تعریف عدد فازی می‌توان بسیاری از اعمال جبری را بر روی مجموعه‌های فازی تعریف کرد و روابط ریاضی را در مورد مجموعه‌های فازی مورد استفاده قرار داد.

1-Fuzzy numbers 2- convex normal fuzzy set 3-unimodal

۴-۳-۱ اعداد فازی مثلثی[1]، نرمال[2]، سهموی[3] :

فرض کنید $A=(m,\alpha,\beta)_L$ ، آنگاه A را یک عدد فازی الف) مثلثی، ب) نرمال، ج)سهموی گوئیم. اگر به ترتیب

الف) مثلثی $L(x)=\begin{cases}1-x & 0\le x\le 1\\ 0\end{cases}$

ب) نرمال $L(x)=e^{-x^2}$

ج) سهموی $L(x)=\begin{cases}1-x^2 & 0\le x\le 1\\ 0\end{cases}$

۴-۳-۲ عملگرهای جبری برای اعداد فازی LR :

اعداد فازی LR دارای این ویژگی هستند که برای آنها کاربست اعمال جبری گسترش‌یافته بسیار ساده است و علت اینکه درمساله‌های مختلف کاربردی، بیشتر از این نوع اعداد فازی استفاده می‌شود همین کارایی محاسباتی است.

با استفاده از تعریف اعداد فازی LR عملگرهای جبری را می‌توان بصورت زیر تعریف کرد.

تعریف: فرض کنید N, M دو عدد فازی LR باشند آنگاه :

$$M=(m,\alpha,\beta)_{LR} \quad M\oplus N=(m+n,\alpha+\delta,\beta+\gamma)_{LR}$$
$$N=(n,\delta,\gamma)_{LR} \quad M-N=(m-n,\alpha-\delta,\beta-\gamma)_{LR}$$

همانطور که قبلاً گفته شد در بین اعداد فازی، اعداد فازی LR بدلیل داشتن الگوهای مناسب و کارائی محاسباتی نقش ویژه‌ای دارند. به همین دلیل در بین اعداد فازی LR، اعداد مثلثی اهمیت مضاعفی یافته‌اند. به این معنی که اعداد مثلثی هم الگوی مناسبی برای توصیف بسیاری از کمیتهای نادقیق تشخیص داده شده‌اند و هم محاسبات با آنها ساده‌تر انجام می‌شود.

۴-۴ رابطه‌های فازی[4] :

رابطه فازی یک تعمیم طبیعی رابطه به بیان معمولی است. در حالت خاص دوبعدی، یک رابطه فازی در $X\times Y$ عبارت است از یک زیرمجموعه فازی از $X\times Y$. بعبارت دیگر یک نگاشت بصورت $X\to Y$ که در آن نگاشت، هر عنصر از X به عنصری از Y، شدت و ضعفی دارد که به صورت اعدادی از بازه $[0,1]$ بیان می‌شوند.

1-triangular 2-normal 3-parabolic 4- fuzzy relations

تعریف۱: یک رابطه فازی n بعدی R در X بصورت یک زیرمجموعه فازی از X تعریف می‌شود.

$$R = \int_{x_1 \times .. \times x_n} M_R(x_1,...,x_n) \Big/ (x_1,...,x_n)$$

که در آن M_R تابع عضویت R است.

در حالت خاص دوبعدی به عنوان یک رابطه R در $X \times Y$ داریم:

$$R = \int_{X \times Y} M_R(x,y) \Big/ (x,y) = \{((x,y), R(x,y)) | (x,y) \in X \times Y\}$$

مثال۳: فرض کنید $X=Y=R$. می‌توان رابطه فازی R:«$X + Y \approx 5$» یعنی «حاصل‌جمع Y,X تقریباً برابر پنج» را اینگونه تعریف کرد.

$$R(x,y) = \frac{1}{1+(x+y-5)^2} \qquad x,y \in R$$

برای نمونه، $R(1,4) = 1$ یعنی مجموع $4,1$ دقیقاً 5 می‌شود. و $R = (1,5) = \frac{1}{2}$ ،یعنی حاصل جمع $5,1$ که برابر 6 است با درجه $\frac{1}{2}$ نزدیک به 5 است.

برای حالاتی که مجموعه های مرجع، گسسته هستند، رابطه‌های فازی را می‌توان با استفاده از ماتریسها نمایش داد.

مثال۴: فرض کنید $X = \{1,2,3\}, Y = \{3,4,5,6\}$ رابطه فازی R «تقریباً برابر» را می‌توان بصورت ماتریسی بصورت زیر تعریف کرد.

$\rightarrow Y$ $\downarrow$ X	3	4	5	6
1	0.4	0.2	0.1	0
2	0.7	0.4	0.2	0.1
3	1	0.7	0.4	0.2

۴-۵ ترکیب روابط فازی: فرض کنید R یک رابطه در $X \times Y$ و S یک رابطه در $Y \times Z$ باشد. آنگاه ROS یک رابطه در $X \times Z$ است که بصورت زیر تعریف می‌شود.

$$(ROS)(x,z) = \max_y \{\min[R(x,y), S(y,z)]\}$$

۴-۶ اندازه امکان[1] :

تعریف ۱: فرض کنید X ، یک مجموعه مرجع باشد. تابع مجموعه‌ای $\pi : P(x) \to [0,1]$ را یک انـدازه امکان بر X گوئیم اگر:

۱- $\pi(X)=1 \, , \pi(\varphi)=0$

۲- برای هر A و B از $P(x)$ ، $A \subseteq B \Rightarrow \pi(A) \le \pi(B)$

۳- برای هر دنباله $A_i \in P(x)$ که $A_1 \subseteq A_2$

$$\underset{i\to\infty}{Lim}\,\pi(A_i) = \pi(\underset{i\to\infty}{Lim}\,A_i)$$

۴- برای هر A و B از $P(x)$

$$\pi(A \cup B) = \max[\pi(A), \pi(B)]$$

در تعریف فوق معمولاً X را فضای پیشامدها و هر زیرمجموعه A از آن را بعنوان یک پیشامد درنظر می‌گیریم. در اینصورت $\pi(A)$ را بعنوان درجه امکان رخدادن پیشامد A تعبیر می‌کنیم.

۴-۷ اندازه لزوم[2]:

تعریف ۱: اندازه لزوم پیشامد A بصورت تفاضل عـدد یـک و انـدازه امکـان پیشـامد مـتمم A تعریـف می‌شود. یعنی:

$$N(A) = 1 - \pi(A')$$

$N(A)$ به معنی میزان حتمیت و ضرورت رخدادن پیشامد A است. مثلاً $N(A)=1$، یعنی لـزوم رخدادن A یک است و بنابراین A، لزوماً و قطعاً رخ می‌دهد و $N(A)=0$، یعنی هیچ لزومی ندارد که A رخ دهـد و البته این بدان معنا نیست که A ممکن نیست رخ دهد.

می‌توان ثابت کرد که برای هر A و B از $P(x)$ ،

$$N(A \cap B) = \min[N(A), N(B)]$$

1-possibility measure 2-necessity measure

سایر روابط موجود در اندازه امکان و لزوم را می‌توان بصورت زیر جمع‌بندی کرد:

روابط مربوط به اندازه لزوم	روابط مربوط به اندازه مکان
$N(A \cap B) = \min[N(A), N(B)]$	$\pi(A \cup B) = \max[\pi(A), \pi(B)]$
$N(A) = 1 - \pi(A')$	$\pi(A) = 1 - N(A')$
$\min[N(A), N(A')] = 0$	$\max[\pi(A), \pi(A')] = 1$
$\pi(A) \geq N(A)$	

رابطه آخر به این معناست که یک پیشامد قبل از آنکه لازم و حتمی باشد، باید ممکن باشد.

۸-۴ تابع توزیع امکان: فرض کنید X یک مجموعه مرجع و π یک اندازه امکان بر $P(x)$ باشد. در اینصورت تابع عضویت $\pi(x)$ را که متناظر با یک زیرمجموعهٔ فازی از X است و بصورت زیر تعریف می‌شود، تابع توزیع امکان متناظر با اندازه امکان π می‌نامیم.

$$\pi(A) = \sup\{\pi(x) | x \in A\} \qquad \forall_A \in P(x)$$

مثال۵: فرض کنید $N = \{1,2,3,..\}$ و X متغیری باشد که مقادیر خود را در N اختیار می‌کند. هر تحدید فازی بر مجموعهٔ مقادیری که X می‌تواند در N بگیرید، یک توزیع امکان مرتبط با X است.

مثلاً اگر A زیرمجموعهٔ فازی اعداد کوچک از N بصورت زیر باشد.

$$A = \left\{\frac{1}{1}, \frac{1}{2}, \frac{0.8}{3}, \frac{0.6}{4}, \frac{0.4}{5}, \frac{0.2}{6}\right\}$$

آنگاه مجموعهٔ فازی فوق می‌تواند در مقام یک تحدید فازی بر X عمل کند.

در اینصورت گزاره «X،یک عدد صحیح کوچک است» توزیع امکان زیرا را با X مرتبط می‌کند.

$$\pi_x = \left\{\frac{1}{1}, \frac{1}{2}, \frac{0.8}{3}, \frac{0.6}{4}, \frac{0.4}{5}, \frac{0.2}{6}\right\}$$

حال، $\frac{0.4}{5}$ در A و در π_x اینگونه تعبیر می‌شود:

$\frac{0.4}{5}$ در A یعنی 5 به میزان 0.4 عدد صحیح کوچکی است و بعبارت دیگر میزان کوچک‌بودن عددصحیح 5، برابر 0.4 است.

$\frac{0.4}{5}$ در π_x یعنی با فرض اینکه X، یک عدد صحیح کوچک باشد آنگاه میزان امکان اینکه X، برابر 5 باشد 0.4 است، به عبارت دیگر به اندازه 0.4 امکان دارد که X برابر 5 باشد.

۴-۹ عینی‌بودن یا ذهنی‌بودن امکان:

یکی از اولین سوالات مطرح‌شده پس از مفهوم امکان، عینی‌بودن و یا ذهنی‌بودن امکان است. آیا مقادیر یک تابع توزیع امکان بر اساس داوریهای شخصی صورت می‌گیرد یا مشاهدات و نتایج عملی و عینی؟ گروهی مانند کینز [1] و جفریز [2] از احتمال، یک مفهوم ذهنی را برداشت کردند و عده‌ای شامل رایشن‌باخ [3] و میزر [4] احتمال را یک مفهوم عینی تلقی می‌کردند. مناقشات سختی نیز در اوائل قرن جاری میلادی درگرفت تا اینکه با ارائه اصول موضوعه احتمال توسط کولموگروف [5] و تلاش بعضی دانشمندان در وضوح‌بخشیدن به بحث، آتش نزاع فروکش کرد و آشکار شد که هر کدام از دوگروه فوق، یک مفهوم و مقصود متفاوت را مدنظر دارند. به این صورت که یک گروه، احتمال را بر مبنای فراوانی نسبی (که مفهوم عینی و تجربی است) و گروهی دیگر احتمال را به مفهوم منطقی و ذهنی آن (که یک مفهوم شخصی و ذهنی است) درنظر داشتند. در نهایت می‌توان گفت که احتمال بصورتی که بیشتر متداول و رایج است مفهومی بر اساس فراوانی نسبی و بنابراین یک مفهوم عینی است. همان چیزی که با جنبهٔ تصادفی‌بودن یک پدیده یا متغیر مرتبط می‌شود.

درباره امکان نیز وضع کمی شبیه به احتمال است. در مفهوم امکان، هم می توان وجه ذهنی بودن را و هم وجه عینی‌بودن را بسته به موارد مختلف، تصور کرد. برای نمونه در مورد جوان بودن، یک تابع امکان داریم که کاملاً ذهنی است. زیرا افراد مختلف برداشتهای متفاوتی از مفهوم جوان بودن دارند. از طرف دیگر، در بعضی موارد، جنبه شخصی و ذهنی امکان کم‌رنگ است. برای نمونه وقتی توزیع امکان نوع بیماری مطرح است، اندازه‌های مختلف امکان بر اساس مشاهدات و تطبیقهای عینی صورت گیرد. البته در اینجا نیز ممکن است قضاوتهای پزشکی متفاوتی درباره میزان تطبیق وجود داشته باشد، ولی درهر صورت، آنچه اصل و اساس است و به آن تکیه می‌شود، شرایط عینی بیمار است.

پس بطور خلاصه می‌توان گفت که امکان، در بعضی موارد صرفاً دارای جنبهٔ ذهنی و شخصی است و در بعضی موارد، دارای جنبهٔ عینی (گاهی با رگه‌هایی از جنبه‌های شخصی و ذهنی) است. [۱۴]

1- J . M .Keynes 2- H . Jeffreys 3- H . Reichenbach 4- R .V .Misses 5- A .Kolmogrov

فصل پنجم

منطق فازی

۵-۱ مقدمه:

شالوده و اساس مجموعه و منطق فازی[1] در سال ۱۹۶۵ با ارائه مقاله‌ای با عنوان «مجموعه‌های فازی» توسط دکتر لطفی‌زاده پایه‌گذاری شد. این منطق در حقیقت توسعه و تعمیم منطق کلاسیک بود. این نظریه به نوبه خود موضوعاتی چون استدلال فازی[2] و سیستمهای فازی را بدنبال داشت که این موضوعات هم اکنون از زمینه‌های فعال تحقیقاتی به شمار می‌آید. هدف از ابداع منطق فازی توصیف پدیده‌های نادقیق و مبهم و بیان یک مدل‌بندی ریاضی برای بکارگیری و استنتاج از آنهاست. بعد از این مقاله، در سال ۱۹۷۳ مقاله دیگری توسط دکتر لطفی‌زاده ارائه شد که در آن جزئیات بیشتری از منطق فازی و بکارگیری آن در سیستمهای کنترل شرح داده شده بود. اگرچه در کارهای پوانکاره ریاضی‌دان فرانسوی (۱۹۱۲-۱۸۵۳) به مفاهیمی که ما اکنون تحت عنوان مجموعه‌های فازی می‌شناسیم اشاره شده است. اما با این حال، دکتر لطفی‌زاده را می‌توان پدر مجموعه‌های فازی و (منطق فازی) در فرم جدید آن دانست.

بعد از ارائه تئوری مجموعه‌های فازی ساخت سیستمهایی که در آنها این مفاهیم بکار برده می‌شود، آغاز گردید.

در سال ۱۹۷۴ اولین سیستم کنترلی که مربوط به تنظیم یک موتوربخار بود و بر اساس منطق‌فازی کنترل می‌شد، پیاده‌سازی شد. با این گام ایده‌های نو در پیاده‌سازی سیستمهای کنترلی براساس

1-Fuzzy logic 2- Fuzzy reasoning

منطق فازی قوت گرفت. با شدت‌گرفتن فعالیتهای تحقیقاتی در زمینه کاربرد منطق فازی، استفاده از این نوع سیستمهای کنترلی افزایش یافت. در حال حاضر روند توسعه در منطق فازی در دو زمینه تحقیقات و کاربرد ادامه داشته و مقالات زیادی درباره منطق فازی و کاربردهای آن منتشر می‌شود.

منطق فازی (نادقیق) بعلت انعطاف‌پذیری و دارابودن توان لازم برای تحلیل معانی زبان طبیعی، در آینده موردتوجه بیشتری قرار خواهد گرفت. علاوه بر این، نکته‌ای که باید به آن اشاره شود، توانائی منطق فازی در انجام استنتاج فازی[1] از داده‌های نادقیق، نامطمئن و ناکافی است. این استنتاج فرآیند پیچیده‌ای است که آدمی در برخورد با محیط اطرافش آن را در طیف گسترده‌ای انجام می‌دهد. برای مدلسازی این فرایند بکارگیری و استفاده از منطق فازی هنگامی که دریایی از داده‌های نادقیق وجود دارند، ضروری است.

به هر حال روشن است که در آینده به منظور دستیابی به سیستمهای تقریباً هوشمند، روندی مانند آنچه منطق فازی دنبال می‌کند، ضروری خواهد بود. [۱۹]

وقایع مهم توسعه تئوری مجموعه‌های فازی در جدول ۵-۱-۱ ارائه شده است .

1-Fuzzy inference

جدول ۵-۱-۱ وقایع مهم توسعه تئوری مجموعه‌های فازی

۱۹۶۵	بیان ایده مجموعه‌های فازی توسط دکترزاده	آمریکا
۱۹۷۳	ارائه تئوری کنترل فازی توسط ممدانی	اروپا
۱۹۷۴	کنترل‌کننده فازی	اروپا
۱۹۷۵	تشکیل گروههای دانشگاهی در زمینه مجموعه‌های فازی	اروپا
۱۹۷۵	سمپوزیوم آمریکا-ژاپن درباره مجموعه‌های فازی در برکلی	آمریکا
۱۹۷۸	انتشار مجله بین‌المللی *(Fuzzy sets and system)*	اروپا
۱۹۸۱	مدل‌سازی فازی	آمریکا
۱۹۸۵	کنفرانس *IFSA*	بروکسل
۱۹۸۷	کامپیوترهای فازی	ژاپن
۱۹۸۹	برنامه تحقیقاتی فازی در انستیتو *Life*	ژاپن
۱۹۹۰	اولین کاربرد در زمینه تولید انرژی	ژاپن
۱۹۹۱	کاربرد وسیع و انتشار مطالب زیاد در سراسر دنیا	

۵-۲ متغیرهای زبانی[1] :

ما در زبان طبیعی و در استدلالهای انسانی از متغیرهایی که مقادیر آنها نادقیق و مبهم است بیشتر استفاده می‌کنیم تا متغیرهای معمولی که مقادیر آنها دقیق و کاملاً مشخص‌اند. برای نمونه هیچ‌وقت نشنیده‌ایم که گفته شود: در جامعه‌ای با میزان باسوادی بیشتر از ۹۰٪، ناهنجاریهای اجتماعی در کمتر از ۲۳٪ افراد جامعه مشاهده می‌شود، بلکه می‌گوئیم: در جامعه‌های با میزان باسوادی بالا، ناهنجاریهای اجتماعی کم است. در اینگونه موارد از مقادیری مانند بالا، کم، بیشترین، سنگین، استفاده شده است که مقادیر عددی نیستند، بلکه به بیان رایج، زبانی هستند. بطور خلاصه «منظور از یک متغیر زبانی متغیری است که مقادیرش کلمات یا جملات یک زبان طبیعی یا مصنوعی باشد».

تعریف۱: یک متغیر زبانی توسط یک پنج‌تایی مرتب $(X,T(X),U,G,M)$ مشخص می‌شود که در

1-linguistic variables

آن X نام متغیر است و U مجموعه مرجع و $T(x)$ مجموعهٔ ترمهای مربوط به متغیر X است که توسط قاعدهٔ نحوی G تولید می‌شود و سرانجام M که یک قاعدهٔ معنایی است که به هر ترم $T(x)$ معنای آن را مربوط می‌سازد، یعنی تابع آن ترم را مشخص می‌کند.

۵-۲-۱ قید زبانی[1]:

یک قید زبانی عملگری است که معنای یک ترم (مجموعه فازی) را تغییر می‌دهد. اگر A یک ترم باشد و m یک قید زبانی، آنگاه $B=m(A)$ یک ترم مرکب است که نتیجهٔ اعمال قید m بر ترم A است. الگوهای رایج برای قیدهای زبانی عبارتند از:

$CON(A)^2(u) = A(u)$ تمرکز [2]

$DIL(A)(u) = A(u)^{1/2}$ اتساع [3]

$$INT(A)(u) = \begin{cases} 2A^2(u) & 0 \le A(u) < \frac{1}{2} \\ 1-2[1-A(u)]^2 & \frac{1}{2} \le A(u) \le 1 \end{cases}$$ تشدید تعیین [4]

این الگوها اینگونه استفاده می‌شوند که چنانچه A یک ترم (مجموعه فازی) باشد، آنگاه داریم:

(خیلی A) $Very\ A = CON(A)$

(کم‌وبیش A) $more\ or\ less\ A = DIL(A)$

(بیش از A) $plus\ A = A^{1.25}$

(کمی A) $Slightly\ A = INT[Plus\ A \wedge not\ (very\ A)]$

همچنین ادوات «و» ، «یا» و «نه اینچنین نیست‌که» را می‌توان به ترتیب با اعمال اشتراک،اجتماع و متمم‌گیری فازی مدلسازی کرد.

به این ترتیب معنای ترمهای مختلف با الگوهای ریاضی توصیف می‌شوند. [۱۴]

۵-۳ استدلال تقریبی[5]: اساس استدلال تقریبی در منطق کلاسیک عبارت است از تعدادی اصول موضوعه بعلاوهٔ قانون مهم استنتاج به نام قانون قیاس استثنایی، یعنی :

$(A \wedge (A \rightarrow B)) \rightarrow B$

1-linguistic modifier 2-concentration 3-dilation 4-contrast intensification 5-approximate reasoning

البته در منطق کلاسیک از بعضی قاعده‌های دیگر نیز استفاده می‌شود که این قاعده‌ها خود براساس اصول موضوعه و قانون قیاس استثنایی بدست می‌آیند.

قانون قیاس استثنایی بطور مشروح اینگونه بیان می‌شود.

۵-۳-۱ قانون قیاس استثنایی[1]:

مقدمه: اگر x ، A باشد آنگاه B, y است.

مشاهده: A, x است.

نتیجه: B, y است.

در قانون قیاس استثنایی، B, A هر دو ویژگیها و یا گزاره‌هائی معمولی (غیرفازی) هستند. از طرف دیگر، استدلالهای انسانی کمتر بر پایه مجموعه‌ها و گزاره‌های دقیق بنا می‌شود و در اکثر موارد از استدلالهائی استفاده می‌کنیم که در قالب قانون قیاس استثنایی نمی‌گنجد، هر چند به آن شبیه‌اند. اما بر پایه متغیرهای زبانی و منطق فازی، می‌توانیم این نوع استدلالها را که استدلال تقریبی، در برابر استدلالهای دقیق، می‌نامیم صورتبندی و تجزیه و تحلیل کنیم.

۵-۴ قانون قیاس استثنایی تعمیم‌یافته[2] *(GMP)*:

قانون قیاس استثنایی از دو جهت محدودیت دارد:

الف) X, Y متغیرهای معمولی هستند و A, B نیز مجموعه‌های با ویژگیهایی معمولی و ساده و کاملاً مشخص‌اند.

ب) دقیقاً همان ویژگی که در شرط مقدمه آمده است، در گزارهٔ مشاهده تکرار می‌شود.

با کمی دقت متوجه می‌شویم که ما در استدلالها و تصمیم‌گیریهای خود کمتر با این نوع استدلالهای دقیق سروکار داریم. بلکه اکثراً از استدلالهای تقریبی استفاده می‌کنیم. بعنوان مثال می‌توان گفت:

مقدمه: اگر فشار بالا باشد، آنگاه دما زیاد است.

مشاهده: فشار کمی بالاست.

نتیجه: دما تقریباً زیاد است.

1-modus ponens 2-extended modus ponens

در اینجا فشار و دما متغیرهای زبانی هستند و بالا و زیاد و کمی بالا و تقریباً زیاد مقادیر زبانی می‌باشند.

بدین‌ترتیب، صورت قانون قیاس استثنایی تعمیم‌یافته در منطق فازی بگونهٔ زیر بدست می‌آید.

مقدمه $P_1 : If\ X\ is\ A then\ Y\ is\ B$

مشاهده $P_2 : X\ is\ A^*$

نتیجه $\therefore Y\ is\ B^*$

که در آن Y,X متغیرهای زبانی و A و B و A^* و B^* مجموعه‌های فازی هستند.

اما نکته مهم در استنتاج تعمیم‌یافته، بدست آوردن B^* بر پایه A و B و A^* است. بعبارت دیگر بدست‌آوردن B^* بر پایهٔ قانون P_1 و مشاهده P_2 . در این مورد دو روش کلی پیشنهاد شده است.

روش اول: قوانین فازی بوسیله روابط فازی صورتبندی می‌شوند و سپس بر اساس قانونی به نام قانون ترکیبی استنتاج *(CRI)*، واقعیت مشاهده‌شده (ورودی) با رابطهٔ فازی قانون، ترکیب می‌شود و نتیجهٔ استنتاج (خروجی) بدست می‌آید.

روش دوم: در این روش، P_2 یعنی واقعیت مشاهده‌شده با تقدم گزارهٔ شرطی (قانون) مقایسه‌شده و نتیجه مقایسه برای تغییر ناگهانی تالی گزاره شرطی به کار می‌رود.

۵-۵ استنتاج فازی بوسیله قانون ترکیبی استنتاج[1] *(CRI)* :

در این قانون که بصورت ذیل بیان می‌شود، Y, X متغیرهای زبانی و B, A مقادیر زبانی با توابع عضویت $A(u)$ ، $B(v)$ هستند که به ترتیب بر مجموعه‌های مرجع V, U تعریف شده‌اند.

$P_1 : If\ X\ is\ A then\ Y\ is\ B$

$P_2 : X\ is\ A^*$

$\therefore Y\ is\ B^*,\quad B^* = A^* OR = A^* O(A \times B)$

چنانچه از دستورمتداول برای عمل ترکیب استفاده می‌کنیم، داریم:

$$B^*(v) = \sup T[A^*(u), R(u,v)]$$

روابط استلزام فازی[2] زیادی توسط محققین پیشنهاد شده است و تحقیقات بسیاری دربارهٔ رفتار روابط استلزام در شرایط مختلف انجام شده است.

1-compositional of inference rule 2-fuzzy implication

چند رابطه فازی معروف و متداول به شرح زیر می باشند:

$R_c : R(u,v) = \min[A(u).B(v)]$ استلزام ممدانی [1]

$R_P : R(u,v) = A(u).B(v)$ استلزام لارسن [2]

$R_L : R(u,v) = \min[1,-1A(u) + B(v)]$ استلزام لوکاسیویچ [3]

$R_K : R(u,v) = 1 - A(u) + A(u).B(v)$ استلزام احتمال [4]

در عمل بیشتر از رابطه استلزام ممدانی و لارسن که به ترتیب بر اساس عملگرهای *min* و حاصلضرب هستند استفاده می‌شود.

۵-۶ تعمیم روش *CRI* : اکنون مسأله استنتاج فازی بوسیلهٔ قانون ترکیبی استنتاج *(CRI)* را از دوجهت تعمیم می‌دهیم. اول با درنظرگرفتن مجموعه‌ای از قوانین فازی (پایگاه قواعد فازی) به جای یک قانون فازی، و دوم با بسط تعریف یک قانون فازی بصورت یک قانون با مقدم و تالی چند گزاره‌ای.

۵-۶-۱ الف) تعمیم روش *CRI* با مجموعه‌ای از قوانین

یک مجموعه قوانین بصورت زیر را درنظر بگیرید:

$P_i = If\ x\ is\ A_i\ Then\ Y\ is\ B_i \qquad i = 1,...,n$

فرض کنید مشاهده « $X\ is\ A$ » انجام شده است. حال می‌خواهیم درباره Y استنتاج انجام دهیم: در هر دو روش ابتدا هر قانون P_i را بصورت رابطه استلزام فازی R_i بیان می‌کنیم.

روش‌اول:

R_i : رابطه استلزام فازی P_i می‌باشد.

$$B^* = A^* O\, R_{PB}$$

$$R_{PB} = R_1 \oplus R_2 \oplus ... \oplus R_n$$

روش دوم:

$$\overset{*}{B} = B_1^* \oplus B_2^* \oplus ... \oplus B_n^*$$

$$\overset{*}{B} = A^* O R_i$$

در هر دو روش، انتخاب مناسب برای عملگر ترکیب‌کننده $\oplus$ بستگی به رابطه استلزام بکار رفته در *CRI* و نحوهٔ ارتباط قوانین P_i با یکدیگر دارد. می‌توان از *max* و یا در مقابل آن *min* و بطورکلی از

1-E . H .Mamdani 2- P . M. Larson 3-J .Lukasiewicz 4-probability

یک S-نرم و یا T-نرم برای عملگر $\oplus$ استفاده کرد. برای قوانینی که بوسیلهٔ رابطه‌های ممدانی یا لارسن صورتبندی شده باشد، عملگر max و بعضی S-نرم‌های دیگر پیشنهاد شده است.

۵-۶-۲ ب) تعمیم روش *CRI* با درنظرگرفتن قوانین شامل مقدم و تالی چند گزاره‌ای

قانون فازی با مقدم و تالی چند **گزاره**‌ای زیر را درنظر بگیرید.

$$P: If\ X_1\ is\ A_1\ and\ X_2\ is\ A_2 \ldots and\ X_n\ is\ A_n$$
$$Then\ Y_1\ is\ B_1\ and\ Y_2\ is\ B_2 \ldots and\ Y_m\ is\ B_m$$
$$P_1: X_1\ is\ A_1^*\ and\ X_2\ is\ A_2^* \ldots and\ X_n\ is\ A_n^*$$
$$\therefore Y_1\ is\ B_1^*\ and\ Y_2\ is\ B_2^* \ldots and\ Y_n\ is\ B_m^*$$

قانون فازی را می‌توان بوسیلهٔ m قانون چند وروی- یک خروجی *(MISO)* بصورت زیر نمایش داد:

$$P^i: If\ X_1\ is\ A_1\ and\ X_2\ is\ A_2 \ldots and\ X_n\ is\ A_n$$
$$Then\ Y_i\ is\ B_i \qquad\qquad i = 1,\ldots,m$$

۵-۶-۲-۱روش اول:

گام اول: قانون p را به صورت m قانون چند ورودی- یک خروجی P_i می‌نویسیم.

گام دوم: هر P_i ، *(i=1,..,m)* را بوسیلهٔ یک رابطه استلزام *(n+1)* بعدی نمایش می‌دهیم. بعضی R^i ها را بصورت زیر می‌یابیم.

$$R^i = R(u,\ldots,u_n,v_i)$$
$$(A_1,\ldots,A_n \rightarrow B_i)$$

در بیان هر قانون P_i بصورت یک رابطهٔ استلزام *(n+1)* بعدی، از نرم‌های مثلثی تعمیم‌یافته استفاده می‌کنیم. مثلاً بیان قانون $P_i: A\ and\ B \rightarrow C$ به اینصورت خواهد بود.

$$R^i(u_1,u_2,v) = R[A(u_1),B(u_2),C(v)]$$

گام سوم: این گام را به دوشیوه می‌توان یافت:

شیوه اول- با n بار استفاده از عملگر ترکیب، هر نتیجه B_i^* را به ازاء مشاهده $(A_1^*,\ldots,A_n^*)$ و بصورت زیر بدست می‌آوریم.

$$B_i^* = A_1^* O\ A_2^* O \ldots O A_n^* O R^i$$

در اینجا عمل ترکیب از آخر به اول انجام می‌شود.

شیوه دوم- به جای n بار استفاده از عملگر ترکیب، از یک عملگر تعمیم یافته بر پایه نرمهای مثلثی تعمیم‌یافته استفاده می‌کنیم، یعنی هر B_i^* را از رابطه زیر، که نسبت به رابطه بالا ساده‌تر است، می‌یابیم.

$$B_i^* = \sup T[A_1^*(u_1),...,A_n^*(u_n), R^i(u_1,...,u_n,v)]$$

۵-۶-۲-۲ روش دوم: (روش تجزیه کاسکو[1])

در این روش پس از اینکه قانون P را بصورت m قانون چند ورودی- یک خروجی P^i نوشتیم، مجدداً هر قانون P^i را نیز به n قانون ساده با مقدم و تالی یک گزاره‌ای و یا به عبارتی n قانون یک ورودی- یک خروجی *(SISO)* تجزیه می‌کنیم. خواهیم داشت:

$$P_j^i : If\ X_i\ is\ A_j\ Then\ Y_i\ is\ B_i \qquad j = 1,..,n$$

حال هر یک از عناصر بردار مشاهده (ورودی) را با قانون فازی *SISO* متناظر، ترکیب می‌کنیم.

یعنی برای هر عنصر از بردار مشاهده بصورت زیر:

$$P_j^* : X_i\ is A_j^* \qquad j = 1,...,n$$

عمل ترکیب زیر را انجام می‌دهیم.

$$B_{ij}^- = A_j^* o R_j^i$$

و بدین‌صورت، n نتیجه جداگانه برای هر Y_i می‌یابیم. حال این n نتیجه رابا هم ترکیب می‌کنیم تا نتیجه نهایی یعنی B_i^* برای Y_i حاصل شود.

$$B_i^* = B_{i1}^* \oplus B_{i2}^* ... \oplus B_{in}^*$$

چنانچه روند فوق را برای تمام عناصر بردار مشاهده انجام دهیم، m نتیجه را برای $Y_m,...,Y_1$ می‌یابیم. [۱۴]،[۱۹]،[۳]

1-Kosko decomposition

فصل ششم

سیستم‌های فازی

۶-۱ مقدمه:

واژه «فازی» در فرهنگ لغت آکسفورد بصورت «مبهم، گنگ، نادقیق، گیج، مغشوش، درهم و نامشخص» تعریف شده است. سیستم‌های فازی، سیستم‌هایی هستند با تعریف دقیق و کنترل فازی نیز نوع خاصی از کنترل غیرخطی است که آنهم دقیقاً تعریف می‌گردد. این مطلب مشابه کنترل و سیستم‌های خطی می‌باشد که واژه «خطی» یک صفت فنی بوده که حالت و وضعیت سیستم و کنترل را مشخص می‌کند. چنین مفهومی در مورد واژه فازی نیز وجود دارد. اساساً گرچه سیستم‌های فازی پدیده‌های غیرقطعی و نامشخص را توصیف می‌کنند، با این حال تئوری فازی یک تئوری دقیق می‌باشد. بطورکلی می‌توان دو نوع توجیه را برای تئوری سیستم‌های فازی بیان کرد.

۱- دنیای واقعی ما بسیار پیچیده‌تر 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 تجزیه‌وتحلیل باشد، برای یک مدل معرفی شود.

۲- با حرکت ما بسوی عصر اطلاعات، دانش و معرفت بشری بسیار اهمیت پیدا می‌کند. بنابراین ما به فرضیه‌ای نیاز داریم که بتواند دانش بشری را به شکل سیستماتیک فرموله‌کرده و آنرا به همراه سایر مدلهای ریاضی در سیستم‌های مهندسی قرار دهد.

توجیه اول گرچه درست است، با این حال طبیعت واحدی را برای تئوری سیستم‌های فازی مشخص نمی‌کند. در حقیقت تمامی نظریه‌های علوم‌مهندسی، دنیای واقعی را به شکل تقریبی،

توصیف می‌کنند. بعنوان مثال در عالم واقع تمامی سیستم‌ها بصورت غیرخطی می‌باشند، ولی تقریباً تمامی مطالعات و بررسی‌ها بر روی سیستم‌های خطی می‌باشد. یک تئوری مهندسی خوب از یک‌سو باید بتواند مشخصه‌های کلیدی و اصلی دنیای واقعی را توصیف کرده و از سوی دیگر قابل تجزیه و تحلیل ریاضی باشد. لذا از این نوع جنبه، تئوری فازی تفاوتی با سایر تئوری علوم مهندسی ندارد.

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

در سیستم‌های عملی اطلاعات مهم از دومنبع سرچشمه می‌گیرد. یکی از منابع افراد خبره می‌باشند که دانش و آگاهیشان را در مورد سیستم با زبان طبیعی تعریف می‌کنند. منبع دیگر اندازه‌گیری‌ها و مدل‌های ریاضی هستند که از قواعد فیزیکی مشتق شده‌اند. بنابراین یک مسئله مهم ترکیب این دو نوع اطلاعات در طراحی سیستم‌ها است. برای انجام این ترکیب سؤال کلیدی این است که چگونه می‌توان دانش بشری را در چهارچوبی مشابه مدل‌های ریاضی فرموله کرد؟ اساساً آنچه یک سیستم فازی انجام می‌دهد، همین تبدیل است. برای اینکه بدانیم این تبدیل چگونه صورت می‌گیرد، ابتدا باید بدانیم سیستم‌های فازی، چگونه سیستم‌هایی هستند.

۲-۶ سیستم‌های فازی چگونه سیستم‌هایی هستند؟

سیستم‌های فازی، سیستم‌های مبتنی بر دانش یا قواعد می‌باشند. 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 تعلق پیوسته مشخص شده‌اند. بعنوان مثال عبارت فازی زیر را در نظر بگیرید:

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

کلمه «بالا» و «کم» بوسیله توابع تعلق مشخص می‌شود.

مثال ۱: فرض کنید می‌خواهیم کنترل‌کننده‌ای طراحی کنیم که سرعت اتومبیل را بطور خودکار کنترل کند. بطورکلی دو راه‌حل برای طراحی چنین کنترل‌کننده‌ای وجود دارد، یک راه‌حل استفاده از کنترل‌کننده‌های متعارف بوده و راه‌حل دوم، شبیه‌سازی رفتار رانندگان است. بدین‌معنی که قواعدی

که راننده در حین حرکت استفاده می‌کند را به کنترل‌کننده خودکار تبدیل نماییم. در ادامه به بحث در مورد راه‌حل دوم می‌پردازیم.

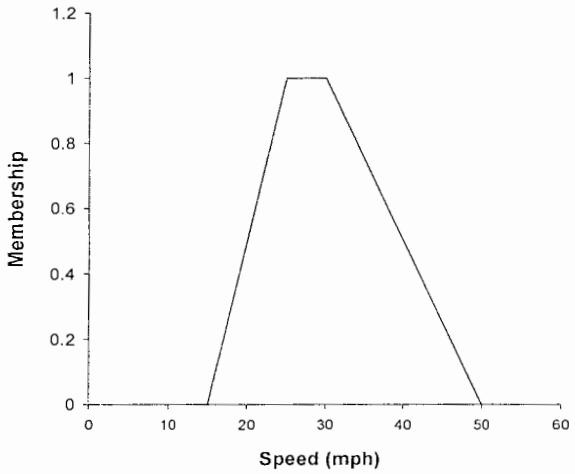
در صحبت‌های عامیانه راننده‌ها در شرایط طبیعی از سه قاعده زیر در حین رانندگی استفاده می‌کنند:

۱- اگر سرعت **پائین** است، آنگاه نیروی **بیشتری** به پدال گاز وارد کنید.

۲- اگر سرعت **متوسط** است، آنگاه نیروی **متعادل** به پدال گاز وارد کنید.

۳- اگر سرعت **بالا** است، آنگاه نیروی **کمتری** به پدال گاز وارد کنید.

کلمات «پائین»، «بیشتر»، «متوسط»، «متعادل»، «بالا»، «کمتر» بوسیله توابع تعلق مشابه شکل زیر مشخص می‌شوند. البته لازم به ذکر است که در شرائط واقعی، تعداد و قواعد بیشتری نیاز خواهد بود.



شکل۶-۲-۱ تابع عضویت برای متغیر زبانی «متوسط»

با این حال ما می‌توانیم یک سیستم فازی را بر اساس این قواعد بسازیم. از آنجا که سیستم فازی در این مثال بعنوان کنترل‌کننده استفاده شده است، آنرا کنترل‌کنندهٔ فازی نیز می‌نامند.

بطورخلاصه، نقطه شروع ساخت یک سیستم فازی بدست‌آوردن مجموعه‌ای از قواعد اگر-آنگاه فازی از دانش افراد خبره یا دانش حوزه مورد بررسی می‌باشد. مرحله بعدی ترکیب این قواعد در یک سیستم واحد است. سیستم‌های فازی مختلف از اصول و روشهای متفاوتی برای ترکیب این قواعد استفاده می‌کنند.

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

۱- سیستم‌های فازی خالص

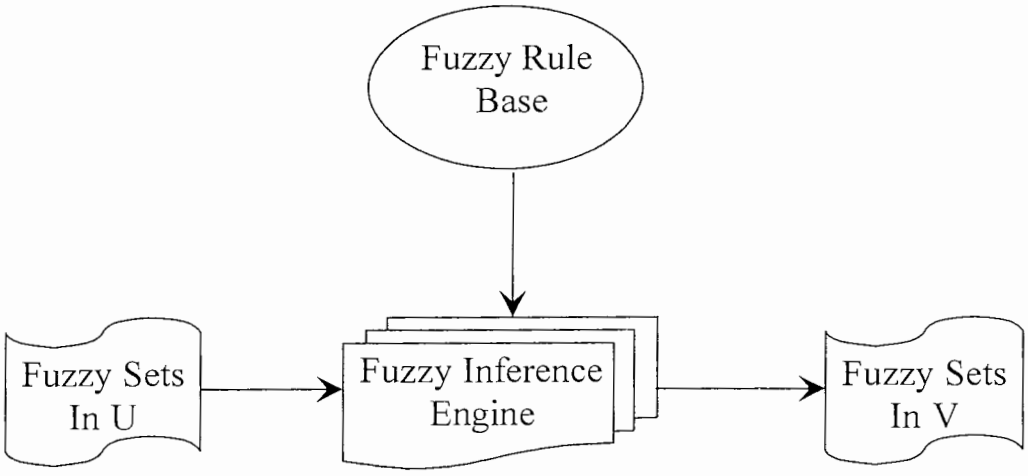
۲- سیستم‌های فازی تاکاگی- سوگنو و کانگ [1] *(TSK)*

۳- سیستم‌های با فازی ساز و غیرفازی ساز

۶-۳ معرفی انواع سیستم‌های فازی:

۶-۳-۱ سیستم فازی خالص: ساختار اصلی یک سیستم فازی خالص در شکل ۶-۳-۱ نشان داده شده است. پایگاه قواعد فازی مجموعه‌ای از قواعد اگر-آنگاه فازی را نشان می‌دهد. موتور استنتاج فازی این قواعد را به یک نگاشت از مجموعه‌های فازی در فضای ورودی به مجموعه‌های فازی در فضای خروجی بر اساس اصول منطق فازی ترکیب می‌کند.

مشکل اصلی در رابطه با سیستم‌های فازی خالص این است که ورودی‌ها و خروجی‌های آن مجموعه‌های فازی می‌باشند (واژه‌هایی در زبان طبیعی). در حالی که در سیستم‌های مهندسی، ورودی‌ها و خروجی‌ها متغیرهایی با مقادیر حقیقی می‌باشند. برای حل این مشکل تاکاگی- سوگنو و کانگ نوع دیگری سیستم‌های فازی معرفی کرده‌اند که ورودی و خروجی‌های آن متغیرهای با مقادیر واقعی هستند.



شکل ۶-۳-۱ ساختار اصلی سیستم های فازی خالص

1- Takagi – Sugeno – Kang

۶-۳-۲ سیستم فازی *TSK* : در سیستم‌های فازی *TSK*، سیستم به گونه‌ای طراحی می‌شود که ورودی و خروجی‌های آن همانگونه که مطرح شد، بصورت متغیرهایی با مقادیر واقعی باشند. سیستم *TSK* از قواعدی بدین‌صورت استفاده می‌کند.

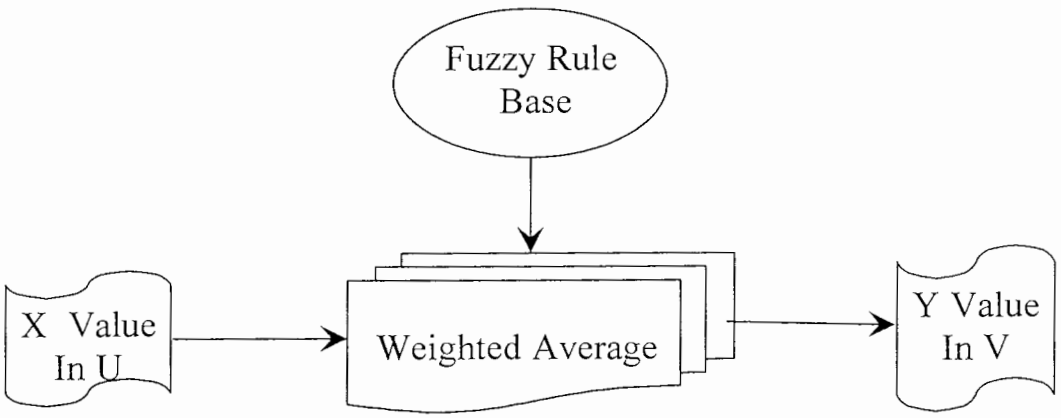
اگر سرعت اتومبیل (x) بالا است، آنگاه نیروی وارد به پدال گاز برابر است با $y=cx$.

همانگونه که مشخص است، بخش آنگاه فازی از یک عبارت توصیفی با مقادیر زبانی به یک رابطه ریاضی ساده تبدیل شده است. این تغییر ترکیب قواعد فازی را ساده‌تر می‌سازد. در حقیقت سیستم فازی *TSK* یک میانگین وزنی از مقادیر بخش‌های آنگاه قواعد می‌باشد. ساختار اصلی سیستم فازی *TSK* در شکل ۶-۳-۲ نشان داده شده است.

مشکلات عمده سیستم‌های فازی *TSK* عبارتند از:

۱- بخش آنگاه قاعده یک فرمول ریاضی بوده و بنابراین چهارچوبی را برای نمایش دانش بشری فراهم نمی‌کند.

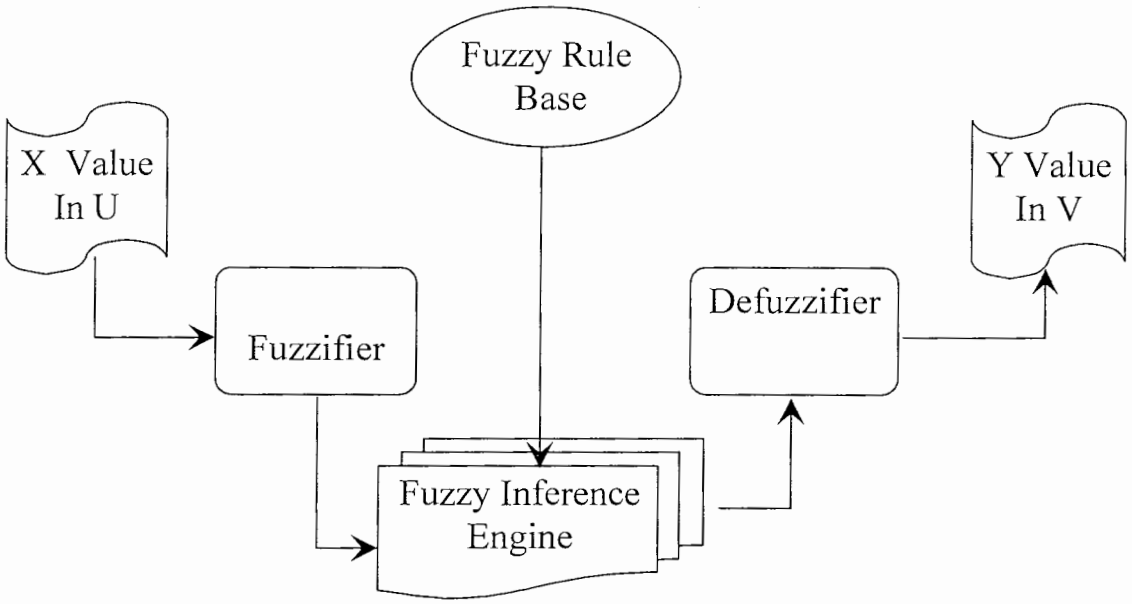
۲- این سیستم دست ما را برای اعمال اصول مختلف منطق فازی باز نمی‌گذارد و در نتیجه انعطاف‌پذیری سیستم‌های فازی در این ساختار وجود ندارد، برای حل این مشکل از نوع سومی از سیستم‌های فازی یعنی سیستم‌های فازی با فازهای سازها و غیرفازی سازها استفاده می‌کنیم.



شکل ۶-۳-۲ ساختار اصلی سیستم فازی *TSK*

۶-۳-۳ سیستم‌های با فازی سازها و غیرفازی سازها: به منظور استفاده از سیستم‌های فازی خالص در سیستم‌های مهندسی، یک روش ساده اضافه‌کردن یک فازی ساز در ورودی که متغیرهای با

مقادیر حقیقی را به یک مجموعه فازی تبدیل کرده و یک غیرفازی ساز که یک مجموعه فـازی را بـه یک متغیر به مقدار حقیقی در خروجی تبدیل می‌کند، می‌باشد. نتیجه یک سیستم فازی با فازی ساز و غیرفازساز بوده که در شکل ۶-۳-۳ نشان داده شده است. این سیستم فازی معایـب سیسـتم فـازی خالص و سیستم فازی TSK را می‌پوشاند. از این پس منظور ما از سیستم‌های فازی، سیستم فازی بـا فازی ساز و غیرفازی ساز خواهد بود. [۱۹]



شکل ۶-۳-۳ ساختار اصلی سیستم های فازی با فازی ساز و غیر فازی ساز

۶-۴ پایگاه قواعد فازی:

یک پایگاه قواعد فازی[1] از مجموعه‌ای از قواعد **اگر-آنگاه** فازی تشکیل می‌شود. پایگاه قواعد فـازی از این نظر که سایر اجزای سیستم فازی برای پیاده‌سازی این قواعـد بـه شـکل مـوثر و کـارا اسـتفاده می‌شوند، قلب یک سیستم فازی محسوب می‌شود. بطورمشخص ، پایگاه قواعد فازی شامل قواعد اگر-آنگاه فازی زیر است:

$Ru^{(l)}$: اگر $A_n^l, x_n, ..., A_1^l, x_1$ است، آنگاه B^l, y است.

اگـــر A_i^l و B^l بـــه ترتیـــب مجموعـــه‌هـــایی فـــازی در $U_i \subset R$ و $V \subset R$ هســـتند، $x = (x_1, ..., x_n)^T \in U$ و $y \in V$ بـه ترتیـب متغیرهـای ورودی و خروجـی (زبـانی) سیسـتم فـازی می‌باشند. فرض کنید M تعداد قواعد موجود در پایگاه قواعد فازی باشد یعنی $l = 1,2,...,M$. قواعدی

1-Fuzzy Rule Base

به شکل فوق را قواعد کانونیک [1] می‌گویند.

۶-۴-۱ ویژگیهای مجموعه قواعد: بدلیل اینکه پایگاه قواعد فازی شامل مجموعه‌ای از قواعد می‌باشد، ارتباط بین این قواعد موضوع جالبی است. بعنوان مثال آیا این قواعد تمام وضعیتهایی را که سیستم فازی ممکن است با آن برخورد کند، در بر می‌گیرد، آیا تضادی بین این قواعد وجود ندارد؟ برای پاسخ، به اینگونه سؤالات مفاهیم زیر قابل تعریف می‌باشند.

تعریف۱: یک مجموعه از قواعد **اگر-آنگاه** فازی **کامل** [2] نامیده می‌شود اگر برای هر $x \in U$ حداقل یک قاعده در پایگاه قواعد فازی وجود داشته باشد. به عبارت دیگر قاعده $Ru^{(l)}$ وجود دارد به نحوی که $\mu_{A_i'}(x) \neq 0$ برای تمامی $i = 1,2,...,n$.

مثال۲: یک سیستم فازی دو ورودی- یک خروجی با $U = U_1 \times U_2$ و V را درنظر بگیرید. سه مجموعه فازی در U_1 و دو مجموعه فازی در U_2 تعریف شده‌اند. برای اینکه پایگاه قواعد فازی کامل باشد، باید شامل شش قاعده که بخش‌های اگر آنها تمامی ترکیبات ممکن مجموعه‌های فازی را در بر بگیرد، باشد.

تعریف۲: یک مجموعه از قواعد **اگر-آنگاه** فازی **سازگار** [3] نامیده می‌شوند اگر قواعدی یافت نشود که بخشهای اگر یکسان و بخشهای آنگاه متفاوت داشته باشند.

برای قواعد حاصلضرب غیرفازی، سازگاری یک نیاز اساسی است، چرا که در صورت وجود قواعد متضاد جستجو با مشکل مواجه خواهد شد. با این حال برای قواعد فازی ، سازگاری آنچنان حیاتی نیست. زیرا در صورت وجود قواعد متضاد بخشهای موتور استنتاج و غیرفازی ساز میانگین آنها را برای بدست‌آوردن یک نتیجه بهینه بطور خودکار محاسبه می‌کند. البته بهتر است که پایگاه قواعد فازی سازگار باشند.

۶-۵ موتور استنتاج فازی:

در یک موتور استنتاج فازی، اصول منطق فازی برای ترکیب قواعد اگر- آنگاه در پایگاه قواعد فازی به نگاشتی از مجموعه فازی A' در U به مجموعه فازی B' در V استفاده شده‌اند. در بخشهای

1- Canonical Rules 2-Complete 3-Consistent

گذشته اشاره شد که یک قاعده اگر-آنگاه فازی بصورت یک رابطه فازی در فضای حاصلضرب ورودی-خروجی $U \times V$ تفسیر می‌گردد و تعدادی از قواعد استلزام که رابطه فازی را مشخص می‌کند، معرفی گردید.

اگر پایگاه قواعد فازی فقط دارای یک قاعده باشد، آنگاه مودس‌پوننس تعمیم‌یافته نگاشت مجموعه فازی A' در U را به مجموعه فازی B' در V مشخص می‌کند.

مودس‌پوننس [1] تعمیم‌یافته :

$$P : If\ x\ is\ A\ Then\ Y\ is\ B$$
$$q : x\ is\ A'$$
$$\therefore Y\ is\ B'$$
$$\mu_{B'}(y) = \sup_{x \in U} t\left[\mu_{A'}(x), \mu_{A \to B}(x, y)\right]$$

که در رابطه فوق $M_{A \to B}(x, y)$ رابطه استلزام فازی می‌باشد که می‌تواند توسط هر یک از استلزامات فازی معرفی شده در قسمتهای قبل نظیر ممدانی، لارسن و ... تعریف شود.

بدلیل اینکه هر پایگاه قواعد فازی در عمل شامل بیش از یک قاعده می‌باشد، سوال اساسی این است که چگونه می‌توان از روی یک مجموعه از قواعد نتیجه‌گیری کرد. دو روش برای نتیجه‌گیری از روی یک مجموعه قواعد وجود دارد. استنتاج مبتنی بر ترکیب قواعد و استنتاج مبتنی بر قواعد جداگانه، که در بخشهای گذشته به آن اشاره شده است .

۶-۶ انواع موتورهای استنتاج فازی:

موتورهای استنتاج بر اساس نوع استفاده از روابط موجود در آن و همچنین نوع استنتاج و یا استلزام موردنظر تقسیم‌بندی می‌شوند. در ادامه این بحث تعدادی از موتورهای استنتاج که عموماً در سیستم فازی و کنترل فازی استفاده می‌شوند، معرفی می‌گردند.

۶-۶-۱موتور استنتاج حاصلضرب: در این موتور استنتاج از استنتاج مبتنی بر قواعد جداگانه با ترکیب اجتماع، استلزام حاصلضرب ممدانی و ضرب جبری برای t-نرم‌ها و max برای S-نرم استفاده می‌شود.

$$\mu_{B'}(y) = \max_{l=1}^{M}\left[\sup_{x \in U}\left(\mu_{A'}(x)\prod_{i=1}^{n}\mu_{A_i^l}(x_i)\mu_{B^l}(y)\right)\right]$$

1-Generalized Modus Ponens

۶-۶-۲ موتور استنتاج مینیمم: در این موتور استنتاج مبتنی بر قواعد جداگانه با ترکیب اجتماع، استلزام مینیمم ممدانی و عملگر min برای تمامی t-نرم‌ها و max برای S-نرم‌ها استفاده می‌شود.

$$\mu_{B'}(y) = \max_{l=1}^{M}\left[\sup_{x\in U}\min\left(\mu_{A'}(x), \mu_{A_1^l}(x_1),...,\mu_{A_n^1}(x_n), \mu_{B^l}(y)\right)\right]$$

موتورهای استنتاج حاصلضرب و مینیمم مهمترین موتورهای استنتاج مورد استفاده در سیستم‌های فازی و کنترل فازی هستند. مهمترین مزیت آنها در سادگی محاسباتشان می‌باشد.

۶-۶-۳ موتور استنتاج لوکاسویچ: در این موتور استنتاج از استنتاج مبتنی بر قواعد جداگانه با ترکیب اشتراک، استلزام لوکاسویچ، عملگر min برای t-نرم استفاده می‌کنیم.

$$\mu_{B'}(y) = \min_{l=1}^{M}\left\{\sup\min\left[\mu_{A'}(x), 1-\min_{i=1}^{n}(\mu_{A_i^l}(x_i)+\mu_{B^l}(y))\right]\right\}$$

۶-۶-۴ موتور استنتاج زاده: در این موتور استنتاج از استنتاج مبتنی بر قواعد جداگانه با ترکیب اشتراک، استلزام زاده و عملگر min برای t-نرم استفاده می‌کنیم.

$$\mu_{B'}(y) = \min_{l=1}^{M}\left\{\sup_{x\in U}\min\left[\mu_{A'}(x), \max(\min(\mu_{A_1}(x_1),....,\mu_{A_n^l}(x_n), \mu_{B^l}(y)), 1-\min_{i=1}^{n}(\mu_{A_i^l}(x_i)))\right]\right\}$$

۶-۷ فازی سازها و غیرفازی سازها:

همانگونه که اشاره شد، موتور استنتاج فازی قواعد موجود در پایگاه قواعد فازی را بوسیله یک نگاشت از مجموعه A' در U به مجموعه فازی B' در V ترکیب می‌کند، با توجه به اینکه در اغلب کاربردها ورودی و خروجی سیستم فازی اعداد حقیقی هستند، لذا واسطه‌هایی بین موتور استنتاج فازی و محیط لازم است. این واسطه‌ها همان فازی سازها[1] و غیرفازی سازها[2] هستند.

۶-۸ فازی سازها:

فازی‌ساز بعنوان نگاشتی از یک نقطه $x^* \in U \subset R^n$ به یک مجموعه فازی A' در U تعریف شده است. و بعنوان یک واسطه میان محیط ورودی که بصورت اعداد حقیقی است و موتور استنتاج فازی

1-fuzzifiers 2-defuzzifiers

عمل می‌کند. در طراحی یک فازی ساز رعایت نکات خاصی الزامی است که از مهمترین آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

اول اینکه فازی ساز باید این حقیقت را درنظر بگیرد که ورودی در نقطه $\overset{*}{X}$ قطعی است، بدین معنی که مجموعه فازی A' باید در نقطه $\overset{*}{X}$ مقدار تعلق بزرگی داشته باشد. از طرفی فازی ساز باید بتواند در ساده‌تر کردن محاسبات مربوط به موتور استنتاج فازی نقش داشته باشد.

در ادامه بحث به معرفی فازی سازهای متداول در سیستم‌های فازی می‌پردازیم.

۶-۸-۱ فازی ساز منفرد[1]: فازی ساز یک نقطه $\overset{*}{X} \in U$ با مقدار حقیقی را به یک منفرد فازی A' در U می‌نگارد که مقدار متعلق در نقطه $\overset{*}{X}$ برابر با یک و در سایر نقاط U برابر با صفر باشد. یعنی:

$$\mu_{A'}(X) = \begin{cases} 1 & X = \overset{*}{X} \\ 0 & \end{cases}$$

۶-۸-۲ فازی‌ساز گوسین[2]: فازی ساز گوسین نقطه $\overset{*}{X} \in U$ را به مجموعه فازی A' در U با تابع تعلق گوسین زیر می‌نگارد:

$$\mu_{A'}(X) = e^{-\left[\frac{x_1 - x_1^*}{a_1}\right]^2} * .... * e^{-\left[\frac{x_n - x_n^*}{a_n}\right]^2}$$

a_iها پارامترهای مثبت و * نشان‌دهنده t-نرم بوده که معمولاً از نوع ضرب یا min انتخاب می‌شود.

۶-۸-۳ فازی‌ساز مثلثی[3]: فازی‌ساز مثلثی نقطه $\overset{*}{X} \in U$ را به مجموعه فازی A' در U با تابع تعلق مثلثی زیر می‌نگارد:

$$\mu_{A'}(X) \begin{cases} \left[1 - \frac{|x_1 - x_1^*|}{b_1}\right] * ... * \left[1 - \frac{|x_n - x_n^*|}{b_n}\right] & : \ |x_i - x_i^*| \le b_i \\ 0 & : \end{cases}$$

b_iها پارامترهای مثبت و * نشان‌دهنده t-نرم است که معمولاً از نوع حاصلضرب جبری یا min انتخاب می‌شود.

1-Singleton Fuzzifier 2-Gaussian Fuzzifier 3-Triangular Fuzzifier

۶-۹ غیرفازی سازها:

غیرفازی ساز بعنوان یک نگاشت از مجموعه فازی B' در $V \subset R$ (که خروجی موتور استنتاج فازی است) به یک نقطه قطعی $y^* \in V$ تعریف می‌گردد. بطور مفهومی، وظیفه غیرفازی‌ساز مشخص کردن نقطه‌ای است که بهترین نماینده مجموعه فازی B' باشد. این موضوع مشاره مقدار میانگین یک متغیر تصادفی می‌باشد.

با این حال از آنجا که مجموعه فازی B' به طرق مختلفی ساخته می‌شود، لذا انتخاب‌های مختلفی برای تعیین این نقطه وجود دارد. سه معیار برای انتخاب غیرفازی ساز می‌توان درنظرگرفت:

۱- **توجیه‌پذیری:** نقطه y^* از نظر شهودی باید نشان‌دهنده مجموعه فازی B' باشد. بعنوان مثال در وسط B' قرار گرفته باشد یا با درجه بالا به B' تعلق داشته باشد.

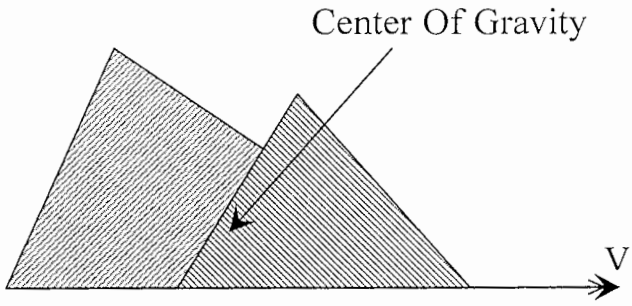
۲- **سادگی محاسبات:** این معیار بویژه برای کنترل فازی که در آن کنترلر بصورت بلادرنگ عمل می‌کند، بسیار مهم است.

۳- **پیوستگی:** یک تغییر کوچک در B' نباید به تغییر بزرگی در y^* منجر شود. در ادامه بحث، سه نوع غیرفازی ساز را معرفی می‌کنیم.

۶-۹-۱ غیرفازی ساز مرکز ثقل[1] : غیرفازی ساز مرکز ثقل نقطه y^* را بعنوان مرکز ناحیه‌ای که بوسیله تابع تعلق B' پوشش داده شده، تعریف می‌کند. بدین معنی که:

$$y^* = \frac{\int_V y\,\mu_{B'}(y)\,dy}{\int_V \mu_{B'}(y)\,dy}$$

$\int_V$ نشان‌دهنده عمل انتگرال می‌باشد.



شکل ۶-۹-۱: نمایش گرافیکی غیرفازی ساز مرکز ثقل

مزیت غیرفازی ساز مرکز ثقل در توجیه‌پذیری شهودی آن بوده و اشکال آن در پیچیدگی محاسبات

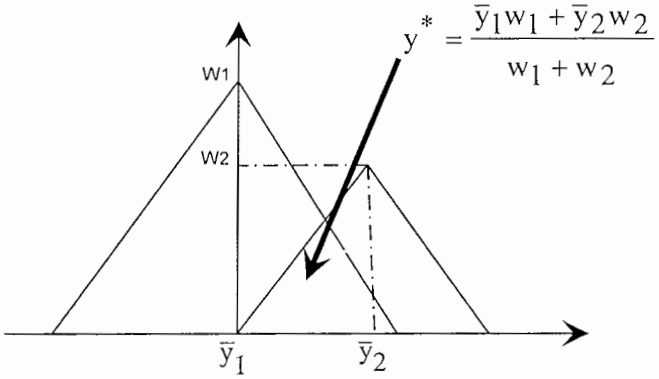
1-Center of Gravity Defuzzifir

آن می‌باشد. در حقیقت، تابع تعلق $\mu_{B'}(y)$ معمولاً یک تابع بی‌قاعده و غیرمتعارف است، بنابراین محاسبه انتگرال بسیار مشکل خواهد بود.

۶-۹-۲ غیرفازی ساز میانگین مراکز[1] : از آنجا که مجموعه فازی B'، اجتماع یا اشتراک M مجموعه فازی می‌باشد، یک تقریب خوب، میانگین وزنی مراکز M مجموعه فازی با وزنهایی برابر با ارتفاع مجموعه‌های فازی متناظر می‌باشد. بطورمشخص، فرض کنید $\bar{y}^l$ مرکز مجموع فازی lام و w_l درجه ارتفاع آن باشد، غیرفازی ساز میانگین مراکز y^* را بدین ترتیب تعریف می‌کند:

$$y^* = \frac{\sum_{l=1}^{M} \bar{y}^l w_l}{\sum_{l=1}^{M} w_l}$$

غیرفازی ساز میانگین مراکز متداولترین غیرفازی ساز مورد استفاده در سیستم‌های فازی و کنترل فازی می‌باشد.



شکل۶-۹-۲: نمایش گرافیکی غیرفازی ساز میانگین مراکز برای $M = 2$

۶-۹-۳ غیرفازی ساز ماکزیمم: غیرفازی ساز ماکزیمم نقطه y^* را بعنوان نقطه‌ای که در V ، $\mu_{B'}(y)$ به ماکزیمم مقدار خودش می‌رسد، تعریف می‌کند. مجموعه زیر را درنظر بگیرید:

$$hgt(B') = \left\{ y \in V \middle| \mu_{B'}(y) = \sup_{y \in V} \mu_{B'}(y) \right\}$$

$hgt(B')$ مجموعه تمام نقاطی از مجموعه V است که در آنها $\mu_{B'}(y)$ به ماکزیمم مقدار خود می‌رسد. غیرفازی ساز ماکزیمم، نقطه y^* را بعنوان یک عضو دلخواه $hgt(B')$ تعریف می‌کند.

1 - Center of Average Defuzzifie

به عبارت دیگر یک نقطه در $y^* = hgt(B')$. اگر $hgt(B')$ تنها شامل یک نقطه باشد، آنگاه y^* به شکل واحد تعریف می‌شود. در غیراینصورت یکی از نقاط را می‌توان بعنوان y^* انتخاب کرد. [۲]،[۱۹]

۶-۱۰ سیستم‌های فازی بعنوان نگاشت‌های غیرخطی:

همانگونه که در قسمتهای قبل اشاره گردید انتخاب‌های متعددی برای بخش‌های موتور استنتاج فازی، فازی‌ساز و غیرفازی ساز وجود دارد. بنابراین با ترکیب انواع مختلف موتورهای استنتاج، فازی سازها و غیرفازی سازها، انواع مختلفی از سیستم‌های فازی را بدست خواهیم آورد که تعدادی از انواع سیستم‌های فازی بسیار کارساز و مفید هستند، در حالی که بعضی دیگر آنچنان معنا و مفهومی ندارند. همانگونه که اشاره شد، غیرفازی ساز مرکز ثقل از نظر محاسباتی سنگین می‌باشد، ولی غیرفازی ساز میانگین مراکز تقریب خوبی برای آن است، لذا در ادامه این بحث، غیرفازی ساز مرکز ثقل را در نظر نمی‌گیریم. سیستم‌های فازی را به دوگروه طبقه‌بندی می‌کنیم، سیستم‌های فازی با غیرفازی ساز میانگین مراکز و سیستم‌های فازی با غیرفازی ساز ماکزیمم. بعنوان نمونه سیستم‌های فازی گروه اول را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۶-۱۰-۱ سیستم‌های فازی با غیرفازی ساز میانگین مراکز:

در صورتیکه مجموعه فازی B^l با مراکز $\bar{y}^l$ یک مجموعه طبیعی باشد. سیستم‌های فازی با پایگاه قواعد فازی مشخص، موتور استنتاج ضرب و فازی ساز منفرد و غیرفازی ساز میانگین مراکز بدین شکل خواهد بود:

$$f(x) = \frac{\sum_{l=1}^{M} \bar{y}^l \left(\prod_{i=1}^{n} \mu_{A_i^l}(x_i)\right)}{\sum_{l=1}^{M} \left(\prod_{i=1}^{n} \mu_{A_i^l}(x_i)\right)}$$

در رابطه فوق $x \in U \subset R^n$ ورودی سیستم فازی و $f(x) \in V \in R$ خروجی سیستم فازی است.

همانگونه که مشاهده می‌شود، سیستم فازی یک نگاشت غیرخطی از $x \in U \in R^n$ به $f(x) \in V \in R$ می‌باشد. سیستم‌های فازی با مشخصات مطرح‌شده، متداولترین سیستم‌های فازی مورد استفاده می‌باشند. این نوع سیستمها از نظر محاسباتی ساده بوده و از لحاظ شهودی نیز قابل

توجیه است. از طرفی خروجی سیستم فازی یک میانگین وزنی از مراکز مجموعه فازی واقع در بخش آنگاه قواعد می‌باشد که وزنها مقدار متعلق مجموعه‌های فازی در بخش اگر قواعد در نقطه ورودی است. بعبارت دیگر مقدار متعلق بزرگتر یک قاعده برای یک ورودی، وزن بیشتری به آن قاعده می‌دهد که اینکار منطقی به نظر می‌رسد.

۶-۱۰-۲ نقش دوگانه سیستم فازی: سیستم‌های فازی از یکسو مبتنی بر قواعده بوده که بوسیله مجموعه‌ای از قواعد زبانی ساخته می‌شوند، از سویی دیگر سیستمهای فازی نگاشت‌هایی غیرخطی هستند که می‌توان آنها را بوسیله روابطی دقیقی نشان داد. نقش مهم و اساس سیستم‌های فازی فراهم‌کردن یک روال سینماتیک برای تبدیل مجموعه‌ای از قواعد زبانی به یک نگاشت غیرخطی می‌باشد. از آنجا که پیاده‌سازی نگاشت‌های غیرخطی آسان است، سیستم‌های فازی را در طیف گسترده‌ای از کاربردهای مهندسی می‌توان یافت. [۱۹]

۶-۱۱ طراحی سیستم فازی:

سیستمهای فازی تقریب‌گرهای عمومی هستند. بدین‌معنا که آنها می‌توانند هر تابعی را با هر دقت دلخواهی بر روی یک مجموعه بسته تقریب بزنند. با این حال، این موضوع فقط وجود یک سیستم فازی بهینه را نشان می‌دهد و روش برای پیداکردن آن ارائه نمی‌دهد.

برای پاسخ به این سؤال که چگونه سیستم فازی را طراحی کرده و بهینه کنیم، باید ابتدا ببینیم که چه اطلاعاتی برای تابع غیرخطی $g(x): U \subset R^n \to R$ که می‌خواهیم آن را تقریب بزنیم، در دسترس است.

در حالت کلی یکی از سه وضعیت زیر موجود است:

۱- رابطه تحلیلی $g(x)$ مشخص است.

۲- رابطه تحلیلی $g(x)$ مشخص نیست. بدین معنی که $g(x)$ یک جعبه سیاه بوده که رفتار ورودی-خروجی $g(x)$ مشخص است ولی از جزئیات داخل آن اطلاعی در دست نیست.

۳- رابطه تحلیلی $g(x)$ مشخص نیست و تنها تعداد محدودی زوج‌های ورودی- خروجی در اختیار است که ورودی را نمی‌توان به دلخواه انتخاب نمود.

وضعیت اول زیاد مورد توجه نیست، چرا که در صورت دانستن رابطه تحلیلی $g(x)$، می‌توانیم ازآن برای منظوری که سیستم فازی می‌خواهد به آن برسد، استفاده کنیم. در موارد خاص که می‌خواهیم $g(x)$ را با یک سیستم فازی جایگزین کنیم، می‌توانیم از روشهایی برای وضعیت دوم استفاده کنیم، چرا که وضعیت اول حالت خاصی از وضعیت دوم بوده، لذا می‌توانیم وضعیت اول را بعنوان یک حالت مجزا در نظر نگیریم.

وضعیت دوم به واقعیت بیشتر نزدیک می‌باشد. اما در عمل بیشترین حالتی که رخ می‌دهد همان وضعیت سوم است. بویژه در مورد کنترل فازی دقیقاً صادق است چرا که شرایط پایداری سیستم فازی به ما اجازه نمی‌دهد هر قطعه ورودی را بطور دلخواه انتخاب کنیم.

۶-۱۲ طراحی سیستم فازی توسط جعبه سیاه:

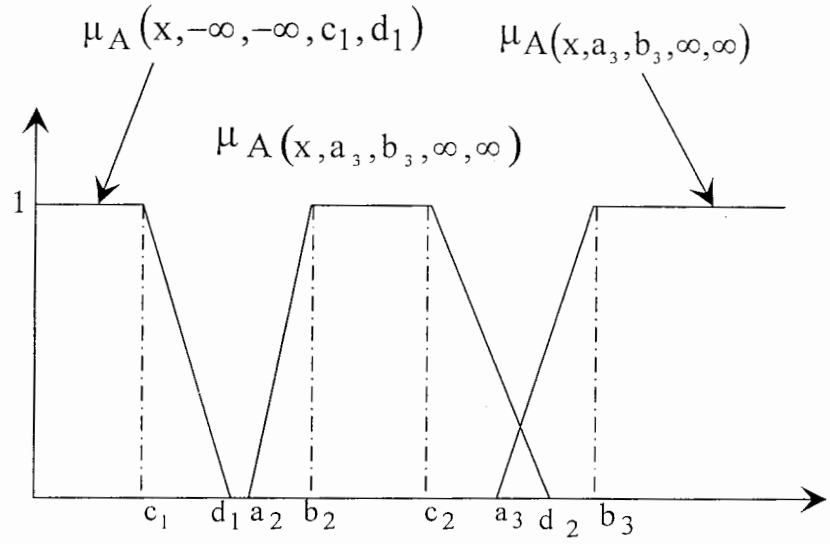
به منظور طراحی یک سیستم فازی با در دست‌داشتن رفتار ورودی-خروجی تابع $g(x)$، ابتدا لازم است توابع شبه ذوزنقه‌ای را مورد بررسی قرار دهیم.

۶-۱۲-۱ تابع عضویت شبه ذوزنقه‌ای[1]: تابع عضویت شبه ذوزنقه‌ای مجموعه فازی A یک تابع پیوسته در R است که توسط رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_A(x;a,b,c,d,H)=\begin{cases} I(x),\ x\in[a,b] & \\ H,\ x\in[b,c] & b\le a\le cd \\ b(x),\ x\in[c,d] & 0<H\le 1 \\ 0, x\in R-(a,b) & 0\le I(x)\le I \end{cases}$$

توابع تعلق شبه‌ذوزنقه‌ای در حالتهای خاص شامل توابع تعلق مختلفی است که در کاربردهای مختلف از آنها استفاده می‌شود.

1- Pseudo- Trapezoid Membership Function



شکل۶-۱۲-۱ توابع شبه‌ذونقه‌ای

برای طراحی سیستم فازی با وجود رفتار تابع تحلیلی، به منظور ساده‌شدن روابط و نمایش ساده‌تر، سیستم‌های با دو ورودی را در نظر می‌گیریم. با این حال راه‌حل و نتایج برای سیستم‌های با n ورودی نیز معتبر و صحیح می‌باشد.

۶-۱۲-۲ روش گام‌به‌گام:

فرض کنید $g(x)$ یک تابع بر روی مجموعه بسته $U=[\alpha_1,\beta_1]\times[\alpha_2,\beta_2]\subset R^n$ بوده و رابطه تحلیلی $g(x)$ مشخص نباشد. فرض کنید برای هر $x\in U$ ما می‌توانیم $g(x)$ را بدست آوریم. هدف طراحی این سیستم فازی است که $g(x)$ را تقریب بزند. در ادامه، چنین سیستمی را بصورت گام‌به‌گام طراحی می‌کنیم.

گام اول: $N_i\ (i=1,2)$ مجموعه فازی A_i^{Ni},A_i^2,A_i^1 در $[\alpha_i,\beta_i]$ با توابع تعلق شبه‌ذوزنقه‌ای تعریف کنید.

$$\mu_{A_i^1}[x_i;a_i^1,b_i^1,c_i^1,d_i^1]$$

$$\mu_{A_i^{Ni}}[x_i;a_i^{Ni},b_i^{Ni},c_i^{Ni},d_i^{Ni}]$$

$$e_1^1=\alpha_1 \qquad e_1^{N1}=\beta_1$$

$$e_1^j=\frac{1}{2}(b_1^j+c_1^j) \qquad j=2,3,...,N_i-1$$

گام دوم: $M = N_1 \times N_2$ قاعده اگر-آنگاه فازی را بدین‌شکل بسازید:

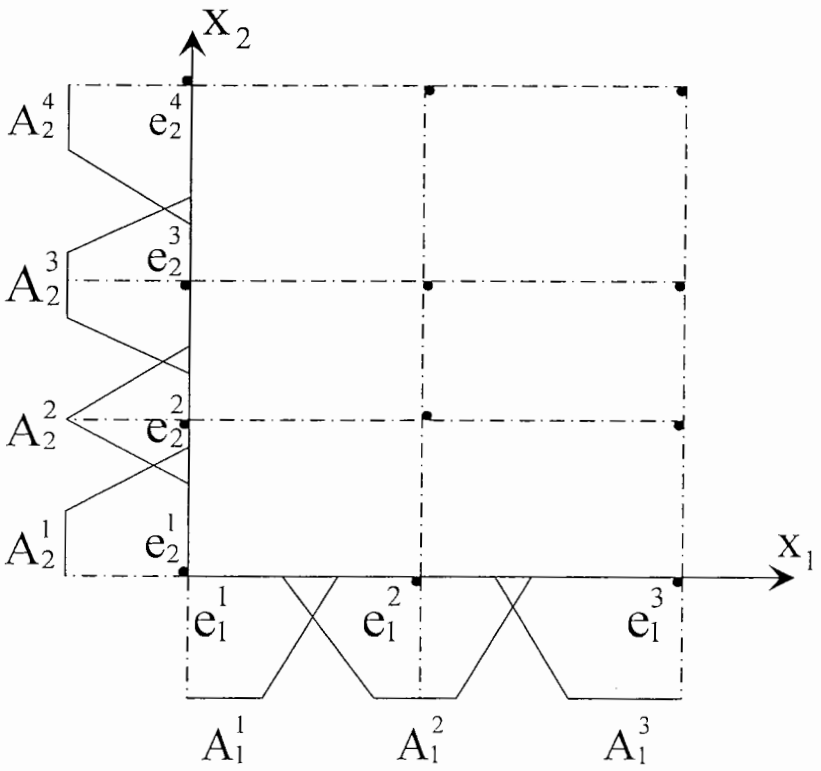
$R_u^{i_1 i_2}$: اگر x_1 ، A_1^{i1} و x_2، A_2^{i2} است، آنگاه y، $B^{i_1 i_2}$ است.

مرکز مجموعه فازی $B^{i_1 i_2}$ که با $\bar{y}^{i_1 i_2}$ نشان داده می‌شود، بصورت زیر انتخاب می‌شود.

$$\bar{y}^{i_1 i_2} = g(e_1^{i_1}, e_2^{i_2})$$

گام سوم: سیستم فازی $f(x)$ را از $N_1 \times N_2$ قاعده با استفاده از موتور استنتاج ضرب، فازی‌ساز منفرد و غیرفازی ساز میانگین مراکز بسازید.

$$f(x) = \frac{\sum_{i_1=1}^{N_1} \sum_{i_2=1}^{N_2} \bar{y}^{i_1 i_2} \left[\mu_{A_1^{i1}}(x_1)\, \mu_{A_2^{i2}}(x_2) \right]}{\sum_{i_1=1}^{N_1} \sum_{i_2=1}^{N_2} \left[\mu_{A_1^{i1}}(x_1)\, \mu_{A_2^{i2}}(x_2) \right]}$$



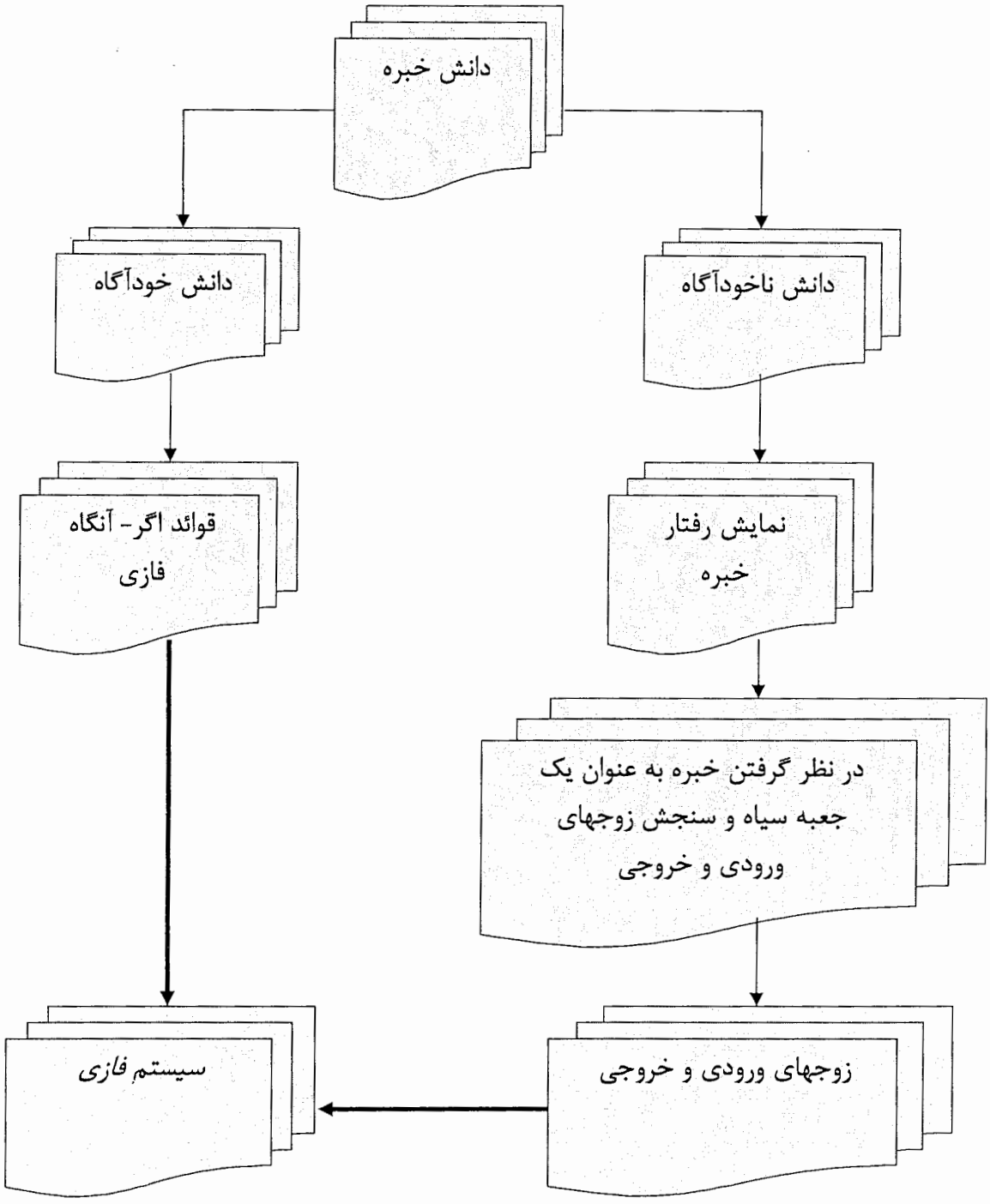
شکل ۶-۱۲-۲: گام اول طراحی با $N_1 = 3$ و $N_2 = 4$

۶-۱۳ طراحی سیستم فازی با استفاده از داده های ورودی- خروجی :

سیستم‌های فازی برای فرموله‌کردن دانش بشری استفاده می‌شوند. بنابراین یک سوال مهم این است که: دانش بشری معمولاً چه شکلی است؟ بصورت عامیانه، دانش بشری را در زمینه یک مسئله فنی خاص می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: دانش خودآگاه و دانش ناخودآگاه.

در دانش خودآگاه، منظور این است که دانش بشری را می‌توان بصورت صریح و روشن در قالب کلمات بیان کرد و در دانش ناخودآگاه، هدف وضعیت‌هایی است که انسانهای خبره می‌دانند چه کاری انجام می دهند ولی نمی‌توانند عملکردشان را در قالب کلمات بیان کنند به عنوان مثال رانندگان باتجربه کامیون می‌دانند که در شرایط سخت چگونه رانندگی کنند.. این افراد حتی اگر بتوانند رفتارشان را در قالب کلمات بیان کنند، این توصیف برای انجام کار ناکافی است.

در دانش خودآگاه خیلی ساده می‌توان از انسان خبره درخواست کرد تا رفتار خود را در قالب عبارتهای اگر-آنگاه فازی بیان کند وآن را در سیستم‌های فازی قرار داد. در دانش ناخودآگاه آنچه که می‌توانیم انجام دهیم این است که از انسان خبره بخواهیم رفتار خود را نمایش دهد. هنگامی که خبره در حال نمایش است ما او را به دیده جعبه سیاه نگریسته و ورودی‌ها و خروجی‌های او را مورد سنجش قرار دهیم. یعنی در واقع مجموعه‌ای از زوج‌های ورودی- خروجی را جمع‌آوری کنیم. در این حالت دانش ناخودآگاه به مجموعه‌ای از زوجهای ورودی-خروجی تبدیل می‌شود. لذا مسئله اساسی و مهم ساخت سیستم‌های فازی از روی زوجهای ورودی- خروجی است.



شکل ۶-۱۳-۱ : تبدیل دانش خبره به سیستم فازی

۶-۱۴ روش جدول جستجو:

فرض کنید زوج‌های ورودی- خروجی زیر را داریم:

$$(x_o^p, y_o^p) \quad , \quad P = 1,2,...,N$$

$$y_o^p \in V = [\alpha_y, \beta_y] \subset R \quad , x_o^p \in U = [\alpha_1, \beta_1] \times ... \times [\alpha_n, \beta_n] \in R^n$$

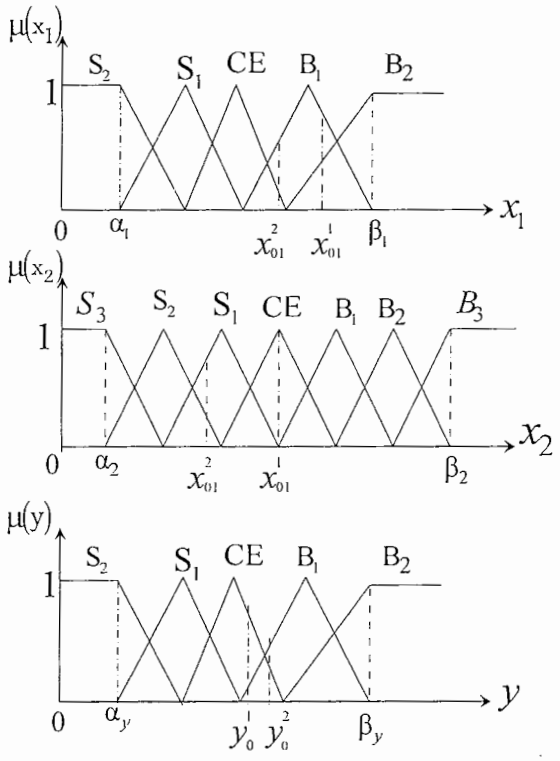
هدف اصلی یک سیستم فازی مانند $f(x)$ بر اساس این N زوج ورودی-خروجی است.

۶-۱۴-۱ روش گام‌به‌گام:

گام اول: مجموعه‌های فازی را تعریف کنید که زوجهای ورودی- خروجی را پوشش دهد.

بطور مشخص، برای هر $[\alpha_i, \beta_i]$ ، $i = 1,2,...,n$ ، N_i مجموعه فازی A_i^j تعریف کنید که $\mu_{A_i^j}(x_i) \neq 0$. بطور مشابه N_y مجموعه فازی B^j تعریف کنید.

بطور مثال برای حالت $n = 2$ ، $N_1 = 5$ و $N_2 = 7$ در صورت توابع تعلق مثلثی داریم:



شکل ۶-۱۴-۱ توابع تعلق برای حالت دو ورودی

گام دوم: تولید یک قاعده از روی یک زوج ورودی- خروجی

ابتدا برای هر زوج ورودی- خروجی $(x_{o1}^p,....,x_{on}^p,y_o^p)$ مقادیر تعلق x_{oi}^p در مجموعه‌های فازی A_i^j و مقادیر تعلق y_o^p در مجموعه‌های فازی B^l را تعیین کنید.

برای مثال برای حالت دو ورودی مطرح‌شده بطور تقریبی داریم:

$$\mu_{B_1}(x_{o1}^1)=0.8 \qquad \mu_{S_1}(x_{o2}^1)=0.6 \qquad \mu_{CE}(y_o^1)=0.8$$

$$\mu_{B2}(x_{01}^1)=0.2 \qquad \mu_{S_2}(x_{o2}^1)=0.4 \qquad \mu_{B_1}(y_o^1)=0.2$$

آنگاه برای هر متغیر ورودی x_i مجموعه فازی را که در آن x_{oi}^p بیشترین مقدار تعلق را دارد تعیین کنید. بدین‌معنی که $A_i^{j^*}$ را معین کنید که x_i بیشترین عضویت را در آن دارد. بطورمشابه B^{l^*} را معین کنید که y_o^p بیشتر تعلق را دارد.

سرانجام یک قاعده اگر-آنگاه فازی بدین‌ترتیب بدست آورید:

اگر $A_n^{j^*},x_n,...,A_1^{j^*},x_1$ ، آنگاه y ، B^{l^*} است.

بعنوان مثال در حالت دو ورودی زوج $(x_{o1}^1,x_{o2}^1,y_o^1)$ قاعده زیر را نتیجه می‌دهد:

«اگر S_1,x_2,B_1,x_1 است آنگاه y ، CE است.»

گام سوم: یک درجه به هر قاعده تولیدشده در گام دوم نسبت دهید.

از آنجا که معمولاً تعداد زوج‌های ورودی- خروجی زیاد است و با هر زوج یک قاعده تولید می‌شود، این احتمال وجود دارد که قواعد متضادی وجود داشته باشد (قواعدی با بخش اگر یکسان و بخش آنگاه متفاوت)، برای حل این تضاد، به هر قاعده تولیدشده یک درجه نسبت می‌دهیم و از بین این قواعد متضاد، تنها قاعده‌ای که بالاترین درجه را دارد، نگاه می‌داریم.

درجه یک قاعده بصورت زیر تعریف می‌گردد:

$$D(rule)=\prod_{i=1}^{n}\mu_{A_i^{j^*}}(x_{oi}^p)\,\mu_{B^{l^*}}(y_o^p)$$

بعنوان مثال برای حالت دو ورودی داریم:

$$D(rule) = \mu_{B_1}(x_{o1}^1)\,\mu_{s_1}(x_{o2}^1)\,\mu_{CE}(y_o^1) = 0.8 \times 0.8 \times 0.8 = 0.384$$

گام چهارم: پایگاه قواعد فازی را ایجاد کنید.

پایگاه قواعد شامل سه مجموعه از قواعد زیر است:

۱- قواعد تولیدشده در گام دوم که با هیچیک از قواعد دیگر تضاد ندارند.

۲- قاعده‌ای که از بین یک گروه قواعد متضاد دارای بالاترین درجه است.

۳- قواعد زبانی از دانش انسانهای خبره (بواسطه دانش خودآگاه)

از آنجا که در مجموعه اول قواعد از دانش ناخودآگاه بدست آمده‌اند، پایگاه قواعد فازی نهایی، هر دو مجموعه دانش خودآگاه و ناخودآگاه را ترکیب می‌کند.

گام پنجم: ساخت سیستم فازی بر اساس پایگاه قواعد فازی

با در دست‌داشتن پایگاه قواعد فازی تولیدشده در گام چهارم می‌توانیم سیستم فازی را ایجاد کنیم. بعنوان مثال می‌توانیم سیستم‌های فازی را با موتور استنتاج ضرب، فازی‌ساز منفرد و غیرفازی ساز میانگین مراکز انتخاب کنیم. [۱۹]

فصل هفتم

کاربرد منطق فازی در مهندسی عمران

۷-۱ مقدمه :

در این فصل سعی می شود تا با ارائه یک سری مسائل و نمونه های حقیقی به دو سؤال زیر و سؤالات نظیر آن پاسخ داده شود:

۱- چرا مهندسین عمران باید نسبت به مطالعه و بررسی تئوری مجموعه های فازی علاقه مند باشند؟

۲- یک مهندس عمران چگونه آنها را به کار خواهد بست؟

در این فصل با ارائه مثالهایی سؤالات فوق مورد بررسی قرار می گیرند و نمونه هایی از موارد کاربرد تئوری فازی و سیستم های فازی در مهندسی عمران ارائه خواهد شد.

۷-۲ موارد کاربرد :

بسیاری از مسائل مهندسی به حدی پیچیده اند که با روشهای متداول قطعی گرایانه [1]، قابل حل نمی باشند. در این موارد، قضاوت شخصی مهندسین، فرضیاتی را که تحلیل و آنالیز بر آنها استوار است و همچنین تفسیر و نحوه استفاده از نتایج تحلیل را تحت الشعاع قرار می دهد. داده های فازی و غیر قطعی ممکن است که در هندسه مسأله، خصوصیات مصالح، بارگذاری و یا شرایط تکیه گاهی یک سیستم موجود باشند. در روش اجزای محدود سنتی، فرض بر این است که کلیه مؤلفه های سیستم دقیقاً معین هستند. توسعه روشهای اجزای محدود تصادفی و یا احتمالی [2]، مهندسین را قادر می کند که عدم قطعیت در هندسه مسأله و خصوصیات مصالح و همچنین بارگذاری سازه را بر اساس تئوری

1- Deterministic 2- Stochastic or Probabilistic

احتمال لحاظ کنند. در حالیکه اطلاعات کیفی و توصیفی[1] با این روش نمی توانند به خوبی مدل سازی شوند. به عبارت ذیل توجه کنید:

- بار اعمالی بر تیر در **حدود** ۱۵۰۰ کیلوگرم می باشد.
- مدول ارتجاعی بتن مصرفی **عموماً بزرگتر** از ۳۰۰۰۰ نیوتن بر میلیمتر مربع می باشد.
- میزان آرماتور بکاررفته در دال بتن مسلح **ناکافی** است.
- شرایط تکیه گاهی به حالت گیردار کامل **بسیار نزدیک** می باشد.

همانطور که مشاهده می شود، اطلاعات فوق تا حد زیادی کیفی و مبهم می باشند و با هیچ یک از روشهای موجود ورای منطق فازی، نمی توان آنها را همانگونه که هستند بکار برد.

۳-۷ مقاومت مصالح و مکانیک جامدات :

یکی از تئوریهای گسیختگی، تئوری فون ـ میسس[2] می باشد که در آن تنش تسلیم به عنوان تنش کنترلی محدود کننده در نظر گرفته می شود. در بسیاری از موارد، تنش تسلیم مصالح دقیقاً معین نیست. مثلاً هر گاه تنش مجاز، σ_{max}، برابر با 140 Mpa در نظر گرفته شود، این بدان معنی خواهد بود که تنشی معادل با 140 Mpa موجب بروز گسیختگی نمی شود، در حالیکه تنشی معادل با 140.001 Mpa موجب بروز گسیختگی می گردد و این درحالی است که در واقع هیچگونه تفاوت اساسی بین این دو وجود ندارد. اگر چه روشهای طراحی متداول اجازه اعمال تنشی معادل با 140.001 Mpa را نمی دهند، اما یک طراح، با واقع بینی ممکن است با سطح رضایتی اندکی کمتر از ۱۰۰٪ ، چنین تنشی را مجاز بشمارد. در حقیقت طراح مزبور ممکن است حتی تنشهای بزرگتری را نیز با کاهش سطح مقبولیت سیستم بپذیرد تا به جایی که تنشها به حدی بزرگ شوند که مهندس طراح با قاطعیت آنها را غیرقابل قبول بشمارد.

چنانکه مشاهده می شود، منطقی تر خواهد بود، اگر در یک مرحله یا فاصله حد واسطی نیز میان مقبولیت و عدم مقبولیت در نظر گرفته شود که متناظر است با یک فاصله مجاز عددی برای تنش مجاز، بدان معنی که یک زیرمجموعه فازی جایگزین زیرمجموعه متداول در طول محور تنش مجاز بشود. همچنین در مورد شرایط تکیه گاهی که در خیلی از موارد در مهندسی سازه، حد واسط تکیه

1-Descriptive 2-Von-Mises

گاه ساده و گیردار می باشد.

۷-۴ مدل سازی و شبکه بندی :

شاید یکی از مسائل مهم در تحلیل سازه ها، نحوه مدل سازی و انتخاب توابع شکل مناسب و نهایتاً شبکه بندی بهینه المان ها می باشد، مسأله ای که درصد نسبتاً بالایی از وقت و هزینه مرحله طراحی را به خود اختصاص می دهد. استفاده از منطق فازی در کنار هوش مصنوعی و سیستم های هوشمند، مسأله ای است که در برخی از کارهای تحقیقاتی جدید، با هدف شبکه بندی بهینه و هوشمندانه المان ها مورد مطالعه قرار گرفته است که هدف از آن یک روش تحلیلی اجزاء محدود هوشمند و سازگار بر مبنای اصول اساسی منطق فازی[1] می باشد. سیستم فازی مورد مطالعه قادر است تصمیم های هوشمندانه ای در مورد طراحی اولیه شبکه المان ها اتخاذ نماید و در این مسیر از اطلاعات مربوط به هندسه مسأله، همچنین شرایط مرزی و نحوه بارگذاری استفاده می کند. مرحله تصمیم گیری با تعیین ترتیب اهمیت نقاط و محلهای بحرانی و پیش بینی اندازه شبکه المان در حول آنها شروع می شود. به هر حال اگرچه از عمر منطق فازی در کنار مباحث هوش مصنوعی مدت زیادی نمی گذرد، اما این موضوع یکی از موارد بالاقوه کاربرد منطق فازی است که محققین نسبتاً زیادی را به خود مشغول کرده است.

۷-۵ مکانیک خاک و مهندسی پی :

یکی از عوامل مهم و اصلی عدم قطعیت و نادقیقی در مهندسی خاک و پی ناشی از عدم قطعیت و ابهام اطلاعات مربوط به پارامترهای خاک می باشد. چنانکه می دانیم، در نبود داده های آماری در مورد پارامترهای خاک، قضاوت شخصی مهندسین نقش اصلی را بازی می کند. مشخصاً قضاوت مهندسی چیزی نیست جز برآیند قوه منطق، استدلال و قابلیت تصمیم گیری هوشمندانه انسان. قابلیتی که نظریه مجموعه های فازی به خوبی با ترکیب کردن اطلاعات قطعی و شناخت مهندسی، آن را مدلسازی نموده و امکان اتخاذ تصمیم های نزدیکتر به واقعیت را در مورد قابلیت سیستم ها می دهد. موارد متعددی ازکاربرد نظریه مجموعه های فازی در مکانیک خاک ارائه گردیده است. یک مهندس عمران ممکن است تمایل داشته باشد، مدول ارتجاعی و یا پارامترهایی نظیر ضریب پواسون

1-Intelligent , Adaptive and Fuzzy Logic Based Finite Element Analysis

خاک مورد مطالعه خود را، متغیرهای فازی در نظر بگیرد و توزیع تغییر مکانها، تنش ها و کرنشهای محیط خاکی مورد نظر را بدین ترتیب تا جای ممکن نزدیکتر به حقیقت بدست آورد. [۱۱]

۷-۶ برنامه نویسی و تهیه نرم افزار :

در نظر بگیرید که مشغول نگارش یک نرم افزار مهندسی عمران برای انجام تحلیل و آنالیز سازه ها در برابر زلزله می باشید که در یکی از مراحل کار با دریافت اطلاعات مربوط به پلان و ارتفاع ساختمان اعم از سطوح بازشو، محل مرکز جرم و مرکز سختی و نیز نقشه پلان ساختمان و سایر داده های لازم، گروه بندی ساختمانها بر حسب شکل را انجام می دهد.

گذری بر آیین نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله (آیین نامه ۲۸۰۰) می اندازیم و توصیه های بند ۱-۶-۲ در باب ویژگیهای ساختمانهای منظم را مرور می کنیم:

۱-۶-۲-۱ منظم بودن ساختمان در پلان:

الف- پلان ساختمان دارای شکل **متقارن** و یا **تقریباً متقارن** نسبت به محورهای اصلی ساختمان باشد . دوباره به جمله بالا دقت کنید. استنباط شما به عنوان یک مهندس عمران از واژه های **متقارن** و **تقریباً متقارن**، آگاهانه و یا به صورت ناخودآگاه می تواند نوعی استنباط فازی باشد. شما با بهره گیری از قضاوت مهندسی و تجربه عملی و بصری می توانید تعریفی کاملاً شخصی از ساختمانهای دارای شکل **متقارن** و یا **تقریباً متقارن** داشته باشید. چنانکه می بینید شما هرروزه به نوعی با موقعیت های نظیر این مواجه می شوید. اما در ادامه جمله فوق، آیین نامه شرط دیگری را برای یک ساختمان منظم در پلان اضافه می کند دقت کنید:

«... در صورت وجود فرورفتگی و یا پیش آمدگی در پلان، اندازه آن در هر امتداد از ۲۵٪ بعد خارجی ساختمان در آن امتداد تجاوز ننماید.»

در واقع آیین نامه با اضافه کردن جمله معترضه فوق با کاهش سطح مقبولیت سیستم، ۲۵٪ عدم تقارن در بعد خارجی را به عنوان حد نهایی ساختمانهای دارای شکل **متقارن** و یا **تقریباً متقارن** در نظر گرفته است. ولی استنباط یک طراح مجرب از جمله معترضه فوق مسلماً از آنچنان انعطافی برخوردار است که کاملاً ترجیح می دهد که حتی الامکان خود را مقید به جمله مزبور نکند. او هرگز

سازه ای را تنها به آن دلیل که دارای فرورفتگی یا پیش آمدگی در پلان به اندازه ۲۵/۱٪ بعد خارجی ساختمان در یک امتداد است، از رده ساختمانهای منظم خارج نمی کند.

ب- در هر طبقه فاصله بین مرکز جرم و مرکز سختی در هر یک از دو امتداد متعامد ساختمان از ۲۰٪ بعد ساختمان در آن جهت تجاوز ننماید.

برداشت شما از ضابطه فوق چیست؟ به نظر نمی آید که مؤلفین آیین نامه مقصودشان آن بوده است که هر گاه ساختمان شما در یکی از طبقاتش فاصله بین مرکز جرم و مرکز سختی در یک امتداد اصلی ساختمان ۲۰/۰۱٪ بعد ساختمان در آن امتداد باشد، در این صورت ساختمان شما علیرغم ارضای کلیه شرایط و ضوابط دیگر در رده ساختمانهای نامنظم قرار می گیرد. شاید هر گاه آیین نامه ۲۸۰۰ برای طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، در زمانی که منطق فازی جایگاه شایسته خود را در محافل مهندسی یافت، بازنویسی شود، بند فوق به صورت زیر تصحیح گردد:

« در هر طبقه فاصله بین مرکز جرم و مرکز سختی در هر یک از دو امتداد متعامد ساختمان نسبت به بعد خارجی ساختمان در آن امتداد **نسبتاً زیاد** نباشد.»

نگران نباشید! مسلماً در آن زمان توابع تعلق مناسبی برای فاصله **کم، متوسط، نسبتاً زیاد، زیاد** و **خیلی زیاد** بین مرکز جرم و مرکز سختی در پیوست های آیین نامه خواهید یافت.

۷-۷ توابع تعلق و یا عضویت :

فرض کنید در گزارش آزمایشگاه مصالح کارگاه آمده است که مدول ارتجاعی نمونه های بتنی در حدود 27000 Mpa است. در صورتیکه با ابزاری که منطق فازی برای کار با این گزارش فازی در اختیارتان قرار می دهد آشنا نباشید، احتمالاً مقداری برابر با 27000 Mpa را به عنوان ارزش قطعی مدول ارتجاعی بتن انتخاب خواهید نمود، در حالیکه دانش فازی به شما این امکان را می دهد که تابع تعلق فازی را نیز از آزمایشگاه درخواست کرده و در محاسبات خود داخل نمایید.

در منطق دو مقداره کلاسیک، توابع تعلق تنها می توانند دو مقدار داشته باشند، صفر و یک، این در حالی است که در منطق فازی توابع تعلق هر مقداری در فاصله بسته صفر و یک را می توانند نمایشگر باشند.

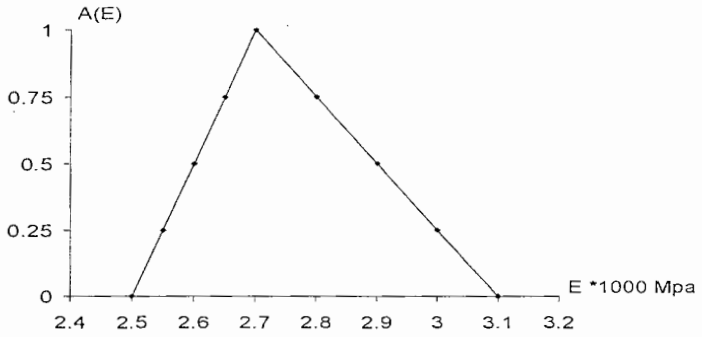
کاربرد روش های فازی در مورد مسائل مختلف احتیاج به شناخت توابع تعلـق مقـادیر فـازی دارد. توابع تعلق خطی در مسائل کاربرد وسیعی دارند که این خود مرهون ساده بودن محاسبات رایانه ای و انجام عملیات ریاضی روی آنها می باشد. این در حالی است که در عمل مدل سازی واقعی بسـیاری از مسائل نیازمند استفاده از توابع تعلق غیر خطی می باشد. اشکال زیاد و متنوع کوژ، کاو و خطی بـرای توابع تعلق مورد استفاده قرار می گیرد. تابع تعلق یک مجموعه فازی ممکن است بر اساس داده هـای آماری تنظیم شود. اما این مطلب بهیچوجه به آن معنی نیست که تابع تعلـق تمـام مقـادیر فـازی بـر اساس اطلاعات و داده های آماری تنظیم می شوند . برای مثال عباراتی نظیر « ساختمانهای بلنـد » ، « اشیاء بزرگ » و نظایر آنها را در نظر بگیرید که پارامترهای مشخصه ای با محدوه گسـترده و شـاید بی نهایتی از مقادیر محتمل دارند. (مسلماً شما برای اینکه میزان تعلق شـیئی را بـه مجموعـه فـازی اشیاء بزرگ تخمین بزنید، به فکر یافتن یک منبع آماری برای اشیاء بزرگ نمی افتید.)

در ابتدای این بحث سخن از مدول ارتجاعی بتنی به عمل آمد که گفته شد مـدول ارتجـاعی آن در حدود 27000 Mpa می باشد. چنانچه در آنجا نیز ذکر گردید، توابـع تعلـق گسـترش امکـانی مـدول ارتجاعی نمونه های بتنی می تواند در محاسبات فازی مسأله مورد استفاده قرار گیرد. برای نمونـه بـه تابع تعلق آن در اینجا اشاره می شود.

فرض کنید در گزارش آزمایشگاه مصالح، تابع تعلق مدول ارتجاعی نمونه های بتنی به صورت زیر داده شده است:

$$\{(2.5,0),(2.55,0.25),(2.6,0.5),(2.65,0.75),(2.1,1),(2.8,0.75),(2.9,0.5),(3.0,0.25),(3.1,0)\}\times 1000 \quad Mpa$$

با توجه به آنچه تاکنون ذکر شد و مطابق تابع تعلق فوق مشخص است کـه مقـادیر 25000 Mpa و 31000 Mpa را می توان به عنوان مرزهای حد بالا و حد پایین مقدار مدول ارتجاعی نمونه های بتنی در نظر گرفت که نشان می دهد در هنگام نمونه بـرداری و آزمایشـهای صـورت گرفتـه مقـدار مـدول ارتجاعی نمونه هـای بتنـی هیچگـاه از 25000 Mpa کمتـر و از 31000 Mpa بیشـتر نبـوده اسـت و همچنین بیشترین تعداد نمونه ها مدول ارتجاعی برابر با 27000 Mpa از خود نشان داده اند. در شکل ۷-۷-۱ تابع تعلق مثلثی مدول ارتجاعی نمونه های بتنی آزمایشگاهی نشان داده شده است :



شکل ۷-۷-۱ : تابع تعلق مدول ارتجاعی نمونه های بتنی

۷-۸ نمونه هایی از کاربرد سیستمهای هوشمند در مهندسی:

۷-۸-۱ مقدمه:

شاید این سؤال که آیا سیستمهای هوشمند می تواند در مهندسی عمران کاربرد داشته باشد با توجه به پیشرفتهای عظیم و نفوذ آنها در مهندسی به شاخه هایی مانند اقتصاد، مدیریت و حتی سیاست، نیاز به پاسخ نداشته باشد. هرچند زمینه های کاربرد و چگونگی استفاده از این رهیافتها در مهندسی عمران، هنوز به طور کامل روشن نشده است. اما آنچه مشخص است این است که بسیاری از مسائل مهندسی وجود دارندکه از چنان پیچیدگی برخوردارند که با روشهای قطعی گرایانه [1] نمی توان آنها را حل نمود. این پیچیدگی عمدتاً به علت عدم قطعیت، ابهام و گاهی نامشخص بودن بعضی شرایط و یا متغیرهاست. همچنین در مهندسی عمران، رواداری خطا تنها به علت قابل صرفه نظر بودن خطا نیست، بلکه در بعضی موارد به علت مسائل اجرایی و عملی می باشد. یکی دیگر از ویژگیهای مهندسی عمران ارتباط آن از لحاظ کاری با اشخاصی است که اطلاعات دقیقی از اصول ساختمان و مقاومت و دیگر مسائل تخصصی ندارند. اما به نوعی قسمت اعظم سرمایه گذاری عمرانی توسط همین عده انجام می شود (مردم به عنوان کارفرما). در این بخش سعی می شود چند نمونه از زمینه هایی را که به نظر نگارنده کاربرد سیستمهای هوشمند و مشخصاً منطق فازی و نوروفازی [2] می تواند مفید باشد، ذکر می شود. بدیهی است که زمینه های کاربرد منحصربه این موارد نخواهد بود.

1-Determinestic 2-noro fuzzy

۲-۸-۷ انتقال مفاهیم علمی با عبارات زبانی :

همانطور که ذکر شد، در بسیاری از موارد تأمین کننده مالی پروژه ها معمولاً کسانی هستند که نمی توان برای ارائه مشخصات پروژه به آنان با زبان عدد و رقم سخن گفت. به عنوان مثال ساده می توانیم به مورد زیر اشاره کنیم:

در ابتدای آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (استااندارد ۲۸۰۰) در بند ۱-۱ آمده است:

الف- با حفظ ایستایی ساختمان در زلزله های **شدید**، تلفات جانی به **حداقل** برسد.

چنانچه کارفرما بداند که در طراحی ساختمانی ضوابط این آیین نامه رعایت شده است و لذا بند الف رعایت خواهد شد، احساس اطمینان خواهد کرد. اما آیا کارفرما می داند که زلزله شدید به چه معنا است؟ در آیین نامه منظور از زلزله شدید زلزله طرح مطابق بند ۲-۵-۱ همین آیین نامه است:

« زلزله طرح زلزله ای است که احتمال وقوع آن طی مدت ۵۰ سال عمر مفید ساختمان، کمتر از ۱۰٪ باشد. » با فرض توزیع پواسون احتمال وقوع زلزله از فرمول $p = 1 - e^{-N_a T_L}$ بدست می آید که در آن T_L عمر مفید سازه و N_a تعداد متوسط زلزله های با شتاب ماکزیمم بیش از a می باشد، خواهیم داشت :

$$1 - e^{-N_a T_L} = 0.1 \Rightarrow N_a \approx 0.002$$

که به معنی بزرگترین زلزله ای که در طی ۵۰ سال اتفاق می افتد، خواهد بود. با استفاده از روابط بازگشت زلزله در منطقه مورد نظر می توان بزرگی این زلزله را پیدا کرد. اما آیا ارائه بزرگی این زلزله کمکی به کارفرما خواهد کرد؟

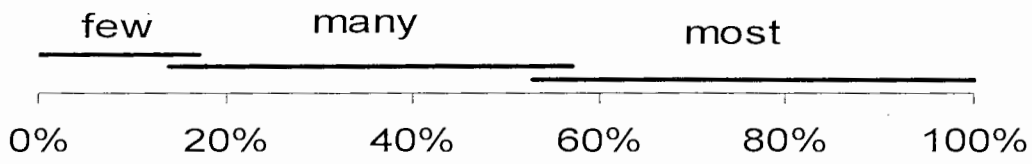
به عنوان مثالی دیگر می توانیم به شتاب مبنای طرح اشاره کنیم که اصلی ترین پارامتر موردنیاز یک مهندس برای محاسبه اثر زلزله بر ساختمان می باشد. اما ارائه این عدد نیز کارفرما را متوجه مقاومت ساختمان در برابر زلزله نخواهد کرد. این دو مورد از مثالهایی بود که ارائه اطلاعات به صورت دقیق و عددی کمتر مفید خواهد بود، اما عبارات زبانی مانند زلزله شدید، چنانچه در پشت آن تعریف مدونی وجود داشته باشد، مفاهیم را به راحتی انتقال خواهد داد.

اما مواردی نیز وجود دارد که ارائه عدد دقیق نه تنها کمکی نخواهد کرد، بلکه مضر نیز خواهد بود. مثلاً به قسمت دوم همان بند توجه کنید که می گوید : «...، تلفات جانی به **حداقل** برسد .»

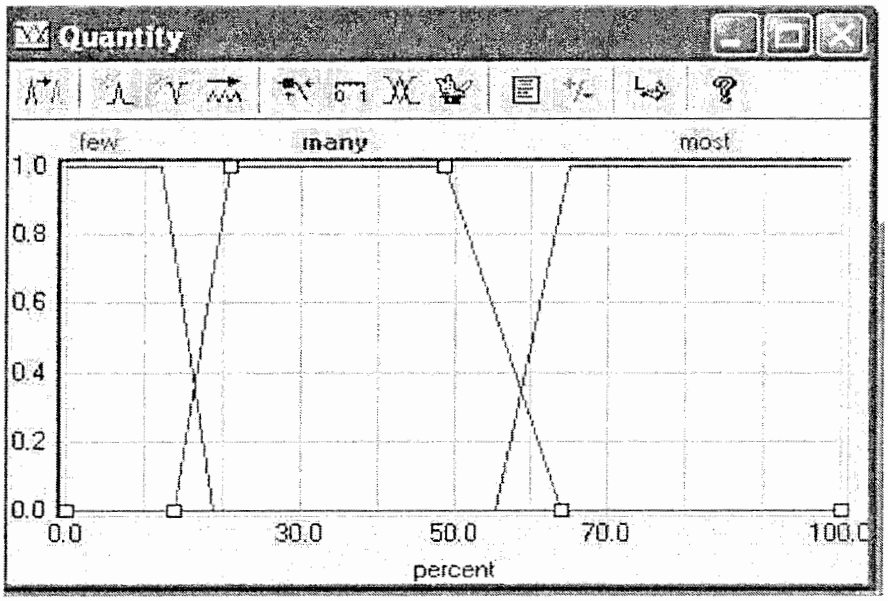
در اینجا منظور از تلفات حداقل روشن نشده است و شاید بهتر نیز همان باشد. اگر بخواهیم عـددی برای تلفات احتمالی ارائه دهیم، هر اندازه که این عدد کوچک باشد برای کارفرما ناگوار است. مثلاً اگر گفته شود که تلفات کمتر از ۱۰٪ خواهد بود، یا اینکه از هر خانواده بیش از یک نفر هلاک نمی شود، در شرایط انتخاب آزاد برای کمتر کسی قابل قبول خواهد بود. این در حـالی اسـت کـه بـا توجـه بـه شرایط اقتصادی فعلی ما نمی توانیم سازه ها را طوری طراحی کنیم که تلفات زلزله به صفر برسد. بـا توجه به مطالب ارائه شده می دانیم که کلماتی مانند **شدید** و **حداقل** متغیرهای زبـانی و یـا مجموعـه های زبانی هستند. این مثالها نشان می دهد که عبارات زبانی مـی توانـد واسـطه هـای مناسـب بـین متخصصین (زیرا به عنوان یک مجموعه فازی دارای تعریف مدون می باشد.) و افراد غیر متخصـص (زیرا به زبان روزمره بیان می شود.) باشد. یک نمونه از این کاربرد در آیین نامـه مقیـاس مـد لـرزه ای اروپا ۱۹۹۸ [1] نشان داده شده است. در این آیین نامه برای بیان شدت زلزله از آثاز زلزلـه بـر انسـان، سازه ها و طبیعت استفاده می شود. می دانیم که در بسیاری از مـوارد اطلاعـات لازم بـرای اسـتخراج شدت زلزله از توضیحات اشخاص که بعضاً متخصص زلزله نیـز نیسـتند، اسـتفاده مـی شـود. یکـی از مواردی که در توصیف آثار بکار می رود قیود مقداری مانند **تعداد کمی**، **تعداد زیادی** و یا **اکثر** استفاده می شود. در این مقیاس شکل ۷-۸-۲ برای توصیف این سه قید ارائه شده است:

همانگونه که در شکل نشان داده شده است، در محل مرزهای جـدایی ایـن قیـود زبـانی یـک فاصـله تداخلی در نظر گرفته شده است که خود نشان دهنده درجه عضویت برای این نقاط لب مرز می باشد. محلهای تلاقی ما را به وضوح به یاد نام و تعریف مجموعه های فازی می اندازد. این توابـع عضـویت را می توان به صورت شکل ۷-۸-۲ بیان کرد :

1-European Macroseismic Scale



تعاریف قیود کمیت در آیین نامه EMS-98



شکل۷-۸-۲ :توابع فازی قیود کمیت در آیین نامه EMS-98

۷-۸-۳ قضاوت مهندسی :

همانطور که قبلاً به آن اشاره شد، سیستم های فازی رهیافتهای ایده آلی برای شبیه سازی رفتار شخص خبره می باشند. یک مهندس عمران نیز یک شخص خبره است که این خبرگی را در دانشگاه نیاموخته است و به احتمال زیاد پس از دانشگاه نیز بدست نیاورده است، بلکه آن را در خلال سالها تجربه کاری از پروژه های مختلف دریافت کرده است. یکی از مهمترین جلوه های این خبرگی قضاوت مهندسی می باشد. قضاوت مهندسی را می توان برآیند قوه منطق، استدلال و قابلیت تصمیم گیری هوشمندانه انسان و همراه داشتن تجربیاتی چند دانست. به کمک قضاوت مهندسی یک مهندس خبره

می تواند مشکلاتی را حل کند که در ظاهر به نظر می آید، اطلاعات کافی برای حل آن موجود نیست و یا رسیدن به جواب صحیح نیازمند روندی طولانی و شاید همراه با آزمون و خطاهای بسیار باشد.

شاید یک مهندس خبره بتواند بخشی از این مهارت را به شکل قوانین زبانی به دیگران منتقل کند. اما قسمت اعظم این خبرگی مبتنی بر درک حسی [1] می باشد که قابل انتقال نیست. همانطور که یک پدر می تواند اصول کلی دوچرخه سواری را به پسرش یاد بدهد، اما نمی تواند کاملاً معلومات خود را از دوچرخه سواری به او انتقال دهد. در چنین مواردی با مشاهده واکنش مهندس در شرایط مختلف و ثبت آنها می توانیم به کمک یک الگوریتم یادگیری تحت نظارت، یک سیستم فازی را تعلیم دهیم. نتیجه، مجموعه ای از قوانین و متغیرهای زبانی است که به سادگی قابل انتقال به دیگران می باشند. همچنین معلومات قطعی و قبلی ما در موضوع مورد مطالعه، به راحتی قابل اضافه کردن و ترکیب کردن در این پایگاه قوانین است که می تواند همگرایی روند یادگیری را تسهیل کند. علاوه بر این در مواردی مانند معرفی یک یافته جدید در موضوع مورد مطالعه، چون سیستم به صورت قوانینی از متغیرهای زبانی است به راحتی می توان تغییر مورد نظر را در آن ایجاد نمود.

این پایگاه قواعد نه تنها از لحاظ انتقال مهارت و خبرگی مفید است، بلکه با استفاده از آن به عنوان یک سیستم فازی و بکارگیری استدلال فازی، می توان واکنش مناسب نسبت به یک وضعیت را از سیستم دریافت نمود.

۴-۸-۷ دسته بندی :

مواردی پیش می آید که ما به جای تأثیر مستقیم تغییر یک متغیر، مثلاً با بدست آوردن تابع تغییرات نسبت با آن متغیر، دامنه تغییرات آن را به چند دسته تقسیم کرده و به هر دسته یک مقدار و یا یک تابع نسبت می دهیم. به عنوان مثال باز هم به آیین نامه ۲۸۰۰ رجوع می کنیم :

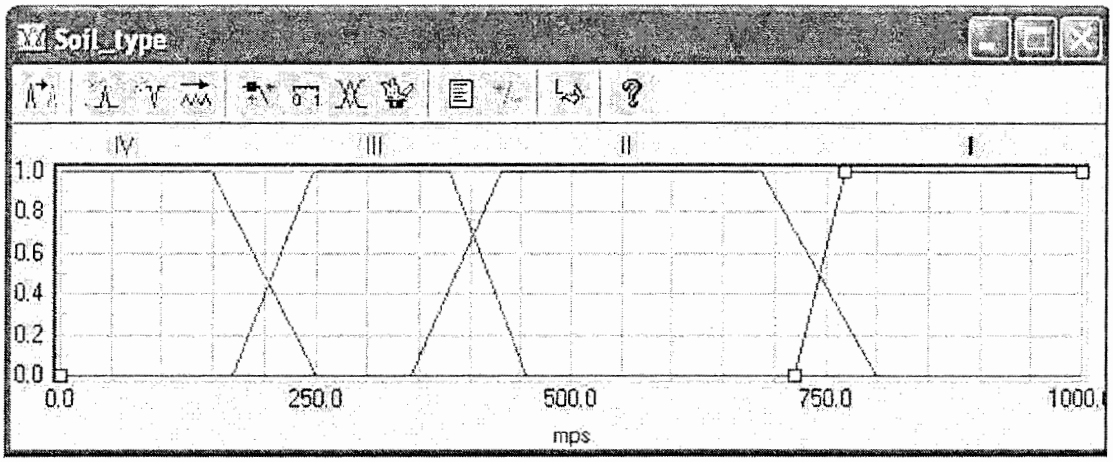
در بند ۳-۴-۲ این آیین نامه پارامترهایی به نام T_0 برای جنس زمینهایی که ساختمان روی آنها احداث می گردد، وجود دارد که نمایانگر پریود طبیعی خاک می باشد و برای انواع مختلاف خاک فرق می کند. در بند ۲-۴-۴ زمینها به چهار دسته تقسیم شده اند و ملاک تشخیص ما علاوه بر توصیف مواد متشکله ، V_S (میانگین سرعت موج برشی بر حسب متر بر ثانیه با رعایت اثر ضخامت لایه ها تا

1-Intuition

عمق ۳۰ متری زمین) می باشد. مطابق این بند چنانچه $175 \prec V_s \prec 375$ باشد، خاک نوع III و اگر $V_s \prec 175$ باشد خاک نوع IV به حساب می آید. اگر مطابق محاسبات $V_s = 175$ m/s شود، خاک را نوع III در نظر می گیریم. اما اگر $V_s = 174.9$ بدست آید، مطابق این بند خاک نوع IV تعیین می گردد. اما آیا این منطقی است؟ تفاوت این دو خاک بسیار اندک و شاید به قدری کم است که می توان آنها را یکی دانست. اما T_0 برای اولی ۰/۷ ثانیه و برای دومی ۱ ثانیه است. باید توجه داشت که اگر $V_s = 175$ و پریود طبیعی ساختمان(T) حدود ۰/۷ ثانیه باشد و خاک نوع IV تعیین شود با توجه به روابط آیین نامه برش پایه حدود یک چهارم کمتر از حالتی است که خاک نوع III تعیین شود و این می تواند به معنی یک فاجعه باشد.

همانطور که در تئوری مجموعه های فازی دیدیم، در اینجا احساس ما این است که منطقی نیست که با تغییر کوچکی در V_s نتیجه حاصل از آن تا به این حد تغییر کند. این اتفاق از آن رو می افتد که ما مجموعه مرجع شامل سرعتهای موج برشی در خاک (V_s) را به کمک نظریه مجموعه های کلاسیک به چهار زیرمجموعه افراز کرده ایم و به هر مجموعه مقداری نسبت داده ایم. مطابق این نظریه یک عنصر یا متعلق به یک مجموعه هست و یا نیست و هیچ حالت بینابینی نیز وجود ندارد. از طرفی تفاوتی بین عضوی که تنها در خارج مجموعه فاصله اندکی با مرز مجموعه دارد و عضوی که کاملاً از آن فاصله دارد موجود نیست. اما انتظار ما این است که در مقادیر مرزی، خروجی یک مقدار بینابینی باشد و اگر خطای کوچکی در حول و حوش مرزها مرتکب شویم، جواب به شدت دستخوش تغییر نشود. لذا سیستم های فازی با داشتن خاصیت رواداری خطا می توانند کمک مهمی باشند. اگر به جای آنکه این مجموعه را به چهار مجموعه کلاسیک افراز کنیم، از چهار مجموعه فازی استفاده کنیم و تعدادی نمونه که به ازای V_s های مختلف T_0 خاک در آن محاسبه شده باشد، داشته باشیم می توانیم به کمک سیستم های فازی، چهار مجموعه فازی داشته باشیم که به هر یک مقداری نسبت داده شده باشد. مزیت این افراز بر افراز کلاسیک این است که در مقادیر مرزی V_s ، مقدار T_0 بسیار منطقی تر بدست می آید، در عین حال که همچنان می توانیم با کمک توصیف مواد متشکله نوع خاک را تشخیص داده و T_0 مناسب را استخراج کنیم. به عنوان مثال می توان یک تعریف پیشنهادی

از توابع عضویت فازی تقسیم بندی خاکها را با استفاده از توابع عضـویت مثلثـی و ذوزنقـه ای تعریـف کرد که در شکل مشاهده می کنید [۱۱]



شکل ۷-۸-۴ : توابع عضویت تقسیم بندی خاکها بر حسب سـرعت مـوج برشـی V_s

۷-۸-۵ شناسایی سیستم و کاوش در داده ها :

در بسیاری از زمینه های مهندسی عمران بخصوص در زمینه ژئوتکنیک و مهندسی زلزله پیچیدگی سیستم به قدری بالا است که مطالعات تئوریک بدون بعضی فرضیات ساده کننده و یا مقید کننده که در واقع سنگ بنای مدلسازی ریاضی هستند غیر ممکـن خواهـد بـود. امـا در بسـیاری از مـوارد ایـن فرضیات دور از واقعیت و حتی گاهی غیر واقعی هستند، لذا مدل ساخته شده بـر پایـه ایـن فرضـیات قطعاً نمی تواند نتیجه صحیحی بدهد.

رهیافت سیستم های فازی می تواند در این زمینه کمکهای شایانی را فراهم نماید. زیرا در بسـیاری از موارد می توانیم با آزمایش اطلاعات لازم را بدست بیاوریم. این اطلاعات مـی تواننـد یـک سیسـتم فازی را تشکیل دهند. سیستم تعلیم دیده قوانین حاکم بر سیستم را که در اطلاعات نمونه، نمود پیدا کرده است را استخراج کرده و به صورت مجموعه ای از قوانین و عبـارات فـازی در خـود ذخیـره مـی سازد. این رهیافت می تواند در کاوش در داده ها[1] و کشف هویت سیستم بسـیار مفیـد باشـد. نتـایج چنین رهیافتی برای استفاده در آیین نامه ها بسیار مفید می باشد.

1-Data mining

چنانچه از قوانین فازی وزن دار استفاده کنیم، سیستم فازی حاصل مجموعه ای از قوانین زبانی خواهد بود که بر هر قانون یک وزن و یا درجه حمایت[1] نسبت داده می شود. قانونی که درجه حمایت از آن ۱۰۰٪ (یا یک) باشد، یک قانون کاملاً درست تلقی می شود و چنانچه آن را به عنوان فرض در نظر نگیریم، مدل ما کاملاً واقعی خواهد بود. بر عکس چنانچه قانونی را که درجه حمایت از آن صفر باشد به عنوان فرض در نظر بگیریم، مدل تئوریک ما کاملاً غیر واقعی خواهد بود. چنین رهیافتی راهگشای مناسبی برای تحقیقات بعدی در زمینه مورد نظر خواهد بود.

1-Degree of support

فصل هشتم

نتیجه گیری

بسیاری از مفاهیم وجود دارند که جامه نظریه معمولی مجموعه ها بر تن اینگونه مفاهیم راست نمی آید و این نظریه از صورت بندی اینگونه مفاهیم و ویژگیها ناتوان است. در زندگی روزمره و واقعی نیز مفاهیم منعطف و مجموعه هایی با کرانهای نادقیق وجود دارند که در قلمرو ریاضیات و نظریه مجموعه های کلاسیک جایی برای این مفاهیم نیست و قالبی برای صورت بندی این مفاهیم و ابزاری برای تجزیه و تحلیل آنها وجود ندارد. لذا نظریه مجموعه های فازی راهبردی مؤثر در حل اینگونه مسائل می باشند. تئوری فازی، زبان ریاضی ابهامات و عدم قطعیتها است. در واقع تئوری فازی به ما نشان می دهد که چگونه با قوانین تقریبی و کمیتهای نادقیق استدلال کنیم و نتایج مفید و عملی بگیریم. با کمک تئوری فازی می توانیم ماشینها و سیستمهایی بسازیم که دارای IQ بالاتری بوده و هوشمند تر عمل کنند.

یکی از قابلیتها و ویژگیهای قابل توجه نظریه مجموعه های فازی تنوع بوجود آمده در انبوهش این مجموعه ها می باشد. با توجه به اینکه استدلالها و تصمیم گیری های بشری یک قالب یکتا و غیر منعطف ندارد، لذا این قابلیت و ویژگی در بیان استدلالها و تصمیم گیریهای بشری بسیار مفید و مؤثر است. هدف نهایی از تئوری مجموعه های فازی صورت بندی استدلالها و تصمیم گیریهای بشری به گونه مناسب است، لذا رسیدن به این هدف ایجاب می کند که انواع عملگرهای انبوهش که هر کدام در زمینه خاص کارایی بهتری داشته و با نحوه عمل بشری در آن زمینه سازگاری بهتری دارند به کار گرفته شوند. از طرفی اینکه چه نوع عملگرهای انبوهشی بهترین هستند به ملاکها و معیارهای ما بستگی دارد. از لحاظ ریاضی و منطقی دانستن یک پایه اصل موضوعی، حائز اهمیت است، اما از لحاظ

عملی و کاربردی نیز باید نکاتی را مانند سازگاری با مقتضیات مسئله، کارایی محاسبات، موفقیت در آزمونهای برازش عملی و تجربی در نظر گرفت.

هدف از ابداع منطق فازی توصیف پدیده های نادقیق و مبهم و بیان یک مدل ریاضی برای بکارگیری و استنتاج از آنها است. انعطاف پذیری و بالا بودن توان لازم برای تحلیل معانی زبان طبیعی از قابلیتهای مهم منطق فازی می باشد. این منطق در حقیقت توسعه و تعمیم منطق کلاسیک است. با توجه به اینکه استدلالهای انسانی کمتر بر پایه مجموعه ها و گزاره های دقیق بنا می شود، لذا منطق فازی راهبردی مناسب برای تجزیه و تحلیل استدلالهای بشری و بکارگیری آنها در مدلسازی ریاضی می باشد.

در سیستم های عملی اطلاعات مهم از دو منبع سرچشمه می گیرد :

۱- منابع افراد خبره که دانش و آگاهیشان را در مورد سیستم با زبان طبیعی تعریف می کنند.

۲- اندازه گیری ها و مدلهای ریاضی که از قواعد فیزیکی مشتق شده اند.

آنچه حائز اهمیت است ترکیب این دو نوع اطلاعات در طراحی سیستم ها می باشد. سیستم های فازی یکی از بهترین راهکارهای موجود برای فرموله کردن دانش بشری در چهارچوبی مشابه مدلهای ریاضی هستند.

سیستم های فازی سیستم های مبتنی بر دانش یا قواعد می باشند. قلب یک سیستم فازی را پایگاه قواعد فازی تشکیل می دهد که مجموعه ای از قواعد **اگر- آنگاه** فازی می باشد.

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. سپس باید این قواعد در یک سیستم واحد ترکیب شوند. سیستم های فازی مختلف از اصول و روشهای متفاوتی برای ترکیب این قواعد استفاده می کنند که بهترین این روشها سیستم هایی با فازی سازها و غیر فازی سازها می باشد. زیرا این سیستم معایب سیستمهای فازی دیگر مانند سیستم فازی خالص و TSK را می پوشاند.

سیستم های فازی بعنوان تقریب گرهای عمومی می توانند هر تابعی را با هر دقت دلخواهی بر روی یک مجموعه بسته تقریب بزنند. به منظور طراحی یک سیستم فازی و بهینه کردن آن ابتدا باید در نظر داشت که چه اطلاعاتی برای تابع خطی مورد نظر در اختیار می باشد. با توجه به مشخص شدن نوع اطلاعات می توان از روشهای مختلفی برای طراحی یک سیستم فازی استفاده کرد که این خود

یکی از قابلیتهای ویژه سیستم فازی می باشد که انعطاف پذیری این سیستم را نشان می دهد و اینکه می توان در بسیاری از شرایط و با دراختیار داشتن هر گونه اطلاعات از این سیستم استفاده کرد

همانگونه که مطرح گردید سیستم های فازی یکی از بهترین راهکارهایی است که می توان توسط آن در بسیاری از شرایط عدم اطمینان مخصوصاً از نوع ادراکی به نتیجه گیری و استدلال پرداخت. از طرفی از آنجا که در مهندسی عمران بسیاری از مفاهیم مبهم، پیچیده و دارای عدم قطعیت ادراکی وجود دارند که با روشهای متداول قطعی گرایانه قابل حل نمی باشند، لذا کاربرد سیستم های فازی در این رشته در حال گسترش و توسعه می باشد. این مسائل عموماً شامل اطلاعات مبهم، کیفی و در یک کلام فازی می باشند. در این موارد قضاوت شخصی مهندسین، فرضیاتی را که تحلیل و آنالیز بر آنها استوار است و همچنین تفسیر و نحوه استفاده از نتایج تحلیل را تحت الشعاع قرار می دهد. داده های فازی و غیر قطعی ممکن است در هندسه مسئله، خصوصیات مصالح، بارگذاری و یا شرایط تکیه گاهی یک سیستم موجود باشد. بسیاری از این اطلاعات تا حد زیادی کیفی و مبهم می باشند و با هیچ یک از روشهای موجود ورای منطق فازی، نمی توان آنها را همانگونه که هستند بکاربرد.

در تحقیق ارائه شده تعدادی از مسائل و مفاهیمی که در مهندسی عمران وجود دارد و دارای عدم قطعیت ادراکی می باشد، و همچنین روشهای پیشنهادی نیز با استفاده از منطق و سیستم های فازی ارائه گردید تا انعطاف پذیری و قابلیتهای سیستم فازی در مسائل کاربردی مهندسی عمران بوضوح آشکار گردد و باعث گردد تا مهندسان عمران که شاید با مقوله سیستم های فازی آشنایی چندانی ندارند به اهمیت و کاربردهای مفید این سیستم در بسیاری از مسائل مهندسی پی برده و در مورد مسائلی که شاید نتوانند بیان دقیق و معینی از آن داشته باشند با در نظر گرفتن دید فازی استدلالهای نزدیک تر به واقعیتی را درتصمیم گیریهای خویش لحاظ کنند. در ادامه بصورت خلاصه موارد ذکر شده ارائه می شود.

۱- یکی از تئوریهای گسیختگی، تئوری فون - میسس می باشد که در آن تنش تسلیم به عنوان تنش کنترلی محدود کننده در نظر گرفته می شود. در بسیاری از موارد تنش تسلیم مصالح دقیقاً معین نیست و بیان کردن یک عدد خالص بعنوان تنش مجازی که مقادیر بیشتر از آن موجب گسیختگی می شوند، امری منطقی و صحیح نمی باشد. بعنوان مثال اگر تنش مجاز ۱۴۰ مگاپاسکال باشد، بدین معنی است که تنشی معادل ۱۴۰/۰۰۰۱ مگاپاسکال موجب گسیختگی می گردد، در

حالیکه در واقع هیچگونه تفاوت اساسی بین این دو وجود ندارد و یک طراح با واقع بینی ممکن است با سطح رضایتی اندکی کمتر از ۱۰۰٪ چنین تنشی را مجاز بشمارد. چنانکه مشاهده می شود منطقی تر خواهد بود که یک حد واسط میان مقبولیت و عدم مقبولیت مطلق در نظر گرفته شود که متناظر است با فاصله مجاز عددی برای تنش مجاز، بدان معنی که یک زیرمجموعه فازی جایگزین زیرمجموعه متداول در طول محور تنش مجاز بشود و در واقع با استفاده از مجموعه های فازی بتوان بصورت واقعی تری در مورد گسیختگی اظهار نظر کرد و تصمیمات نزدیک تر به حقیقت را اتخاذ نمود.

۲-یکی از مسائل مهم در تحلیل سازه ها، نحوه مدل سازی و انتخاب توابع شکل مناسب و نهایتاً شبکه بندی بهینه المانها می باشد. مسأله ای که درصد نسبتاً بالایی از وقت و هزینه مرحله طرح را به خود اختصاص می دهد. استفاده از منطق فازی در کنار هوش مصنوعی و سیستم های هوشمند با هدف شبکه بندی بهینه و هوشمندانه المانها در یک طرح تحقیقاتی مورد بررسی قرار گرفته است.

در این بررسی، سیستم فازی مورد مطالعه قادر است تصمیم های هوشمندانه ای در مورد طراحی اولیه شبکه المانها اتخاذ نماید و در این مسیر از اطلاعات مربوط به هندسه مسئله، همچنین شرایط مرزی و نحوه بارگذاری که هر یک به تنهایی می توانند توسط مجموعه های فازی تعریف شوند، استفاده کند.

۳- در مهندسی خاک و پی یکی از عوامل مهم و اصلی عدم قطعیت و نادقیقی ناشی از عدم قطعیت و ابهام اطلاعات مربوط به پارامترهای خاک می باشد. با توجه به اینکه مدول ارتجاعی و یا پارامتری نظیر ضریب پواسون خاک مورد مطالعه از جمله متغیرهایی هستند که بدلیل عدم وجود داده های آماری کافی بصورت دقیق معین نمی شوند، لذا می توان آنها را متغیرهای فازی در نظر گرفت و توزیع تغییر مکانها، تنش ها، کرنشهای محیط خاکی را بدین ترتیب تا حد ممکن نزدیک تر به حقیقت بدست آورد.

۴- یکی از مواردیکه در هنگام تحلیل و آنالیز سازه ها در برابر زلزله با آن روبرو هستیم گروه بندی ساختمانها بر حسب شکل می باشد. با توجه به وجود متغیرهای زبانی نظیر ساختمانهای **متقارن**، **تقریباً متقارن** در آیین نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله در باب ویژگیهای ساختمانهای منظم، استنباط یک مهندس عمران از واژه های متقارن و یا تقریباً متقارن آگاهانه و یا بصورت ناخودآگاه می

تواند نوعی استنباط فازی باشد. در واقع یک مهندس با بهره گیری از قضاوت مهندسی و تجربه علمی و بصری می تواند تعریف کاملاً شخصی از ساختمانهای دارای شکل متقارن و یا تقریباً متقارن داشته باشد. از طرفی با توجه به شرایطی که در آیین نامه به منظور تعریف اینگونه ساختمانها ارائه گردیده است و بیان اعدادی که به کاهش سطح مقبولیت به عنوان حد نهایی ساختمانهای دارای شکل متقارن و یا تقریباً متقارن در نظر گرفته شده است، استنباط یک طراح مجرب مسلماً از آنچنان انعطافی برخوردار است که ترجیح می دهد در صورت ارضای کلیه شرایط و ضوابط دیگر خود را مقید به این شرط آیین نامه نکند و در صورت رواداریهای بسیار کم، سازه را از رده ساختمانهای منظم خارج نکند. لذا در صورتیکه منطق فازی جایگاه خود را در محافل مهندسی بطور جدی پیدا کند، می توان بسیاری از بندهای آیین نامه را با در نظر گرفتن توابع تعلق فازی برای متغیرهای زبانی نظیر متقارن و یا تقریباً متقارن تصحیح کرد و شرایط را به حالت حقیقی نزدیک تر ساخت.

۵- در سازه های بتنی، مدول ارتجاعی نمونه های بتن یکی از پارامترهایی است که هرگز نمی توان بصورت دقیق و قطعی آن را معین نمود و در عمل آن را با قضاوت مهندسی و مهارتهای اجرایی تخمین می زنند. لذا برای نزدیک تر شدن مشخصات یک سازه بتنی به واقعیت می توان از تابع تعلق گسترش امکانی مدول ارتجاعی نمونه های بتنی در محاسبات فازی استفاده کرد و از این طریق به مشخصات دقیق تری از سازه بتنی دست پیدا کرد.

۶- یکی از ویژگیهای مهندس عمران ارتباط آن از لحاظ کاری با اشخاصی است که اطلاع دقیقی از اصول ساختمان و دیگر مسائل تخصصی ندارند، اما به نوعی قسمت اعظم سرمایه گذاری عمرانی توسط همین عده صورت می پذیرد و بیان مشخصات پروژه با زبان عدد و رقم به آنان کمتر مفید خواهد بود. حتی مواردی نیز وجود دارد که ارائه عدد دقیق نه تنها کمکی نخواهد کرد، بلکه مضر نیز خواهد بود. در اینگونه موارد عبارات زبانی می تواند واسطه مناسبی میان متخصصین (زیرا بعنوان یک مجموعه فازی دارای تعریف مدون می باشند) و افراد غیر متخصص باشد، (زیرا به زبان روزمره بیان می شود) و این امری است که تنها با در نظر گرفتن یک سری مجموعه های فازی برای متغیرهای مورد نظر حاصل می شود.

۷- یک مهندس عمران یک شخص خبره است که مهارت را در خلال سالها تجربه کاری از پروژه های مختلف بدست آورده است. یکی از مهمترین جلوه های این خبرگی قضاوت مهندسی می باشد.

به کمک قضاوت مهندسی یک مهندس خبره می تواند مشکلاتی را حل کند که در ظاهر به نظر می آید، اطلاعات کافی برای حل آن موجود نیست و یا رسیدن به جواب صحیح نیازمند روندی طولانی و شاید همراه با آزمون و خطاهای بسیار باشد. انتقال این مهارت و خبرگی به دیگران یکی از مسائلی است که می تواند در توسعه و پیشرفت صنعت مهندسی عمران نقش به سزایی را ایفا کند. بخشی از این مهارت بصورت قوانین زبانی به دیگران انتقال می یابد، اما قسمت اعظم این خبرگی مبتنی بر درک حسی است که قابل انتقال نیست. در چنین مواردی با مشاهده واکنش مهندس در شرایط مختلف و ثبت آنها می توانیم به کمک یک الگوریتم یادگیری تحت نظارت، یک نوروفازی را تعلیم دهیم. نتیجه، مجموعه ای از قوانین و متغیرهایی است که به سادگی قابل انتقال به دیگران می باشد. این پایگاه قواعد نه تنها از لحاظ انتقال مهارت و خبرگی مفید است بلکه با استفاده از آن به عنوان یک سیستم فازی و بکارگیری استدلال فازی می توان واکنش مناسب نسبت به یک وضعیت را از سیستم دریافت نمود.

۸- مواردی در مهندسی عمران پیش می آید که به جای تأثیر مستقیم تغییر یک متغیر، با بدست آوردن تابع تغییرات نسبت به آن متغیر، دامنه تغییرات آن را به چند قسمت تقسیم کرده و به هر دسته یک مقدار و یا یک تابع نسبت می دهیم. یکی از این موارد پریود طبیعی خاک می باشد که توسط پارامتر T_0 برای جنس زمینهایی که ساختمان روی آن احداث می شود و برای انواع مختلف خاکها فرق می کند، مشخص می گردد. در آیین نامه ۲۸۰۰ زمینها به چهار دسته تقسیم شده اند. یکی از ملاکهای تشخیص این تقسیم بندی سرعت موج برشی بر حسب متر بر ثانیه با رعایت اثر ضخامت لایه ها تا عمق ۳۰ متری زمین (V_s) می باشد. بر اساس این تقسیم بندی مجموعه مرجع شامل سرعتهای موج برشی به کمک نظریه مجموعه های کلاسیک تقسیم بندی شده است. مطابق این تقسیم بندی یک عنصر یا متعلق به مجموعه هست و یا خیر و هیچ حالت حد وسطی وجود ندارد. در صورتیکه انتظار یک مهندس مجرب این است که در مقادیر مرزی، خروجی یک مقدار بینابینی باشد و اگر خطای کوچکی در حول و حوش مرزها مرتکب شدیم، جواب به شدت دستخوش تغییر نشود. لذا سیستم های فازی با داشتن خاصیت رواداری خطا می توانند کمک مهمی باشند. در این سیستم برای تقسیم بندی سرعت موج برشی ازمجموعه های فازی استفاده می گردد تا نتایج بدست آمده تا حد ممکن به واقعیت نزدیک تر باشند و بدین ترتیب از تصمیم گیری اشتباه و حتی جبران

ناپذیر در شرایط مرزی سرعت موج برشی جلوگیری شود. با استفاده از مجموعه های فازی در تقسیم بندی، تغییرات بسیار اندک مقدار سرعت موج برشی، مشخصاتی نظیر برش پایه دستخوش تغییرات اساسی و گاه خطرناک نمی گردد و در مقادیر مرزی، مقدار پریود طبیعی خاک منطقی تر بدست خواهد آمد.

۹- در بسیاری از زمینه های مهندسی عمران بخصوص در زمینه ژئوتکنیک و مهندسی زلزله پیچیدگی سیستم به قدری بالا است که مطالعات تئوریک بدون بعضی فرضیات ساده کننده و یا مقید کننده که سنگ بنای مدلسازی ریاضی هستند، غیر ممکن خواهد بود. اما در بسیاری از موارد این فرضیات دور از واقعیت و حتی گاهی غیرواقعی هستند، لذا مدل ساخته شده بر اساس این فرضیات قطعاً نمی تواند نتیجه صحیحی را فراهم نماید. در این موارد راهبرد نوروفازی می تواند کمک شایانی را انجام دهد. زیرا در بسیاری از این موارد اطلاعات تجربی فراوانی در دست است و یا می توان با آزمایش، اطلاعات لازم را بدست آورد. این اطلاعات یک سیستم نوروفازی را تعلیم می دهد. سیستم تعلیم دیده قوانین حاکم بر سیستم را که در اطلاعات نمونه، نمود پیدا کرده است استخراج کرده و بصورت مجموعه ای از قوانین و عبارات فازی در خود ذخیره می سازد. نتایج چنین رهیافتی برای استفاده در آیین نامه بسیار مناسب است.

بخش اول:
طراحی سیستم فازی پیش‌بین کارکنان

فصل نهم

بتن شناسی

۹-۱ مقدمه:

مصرف بتن به علت ارزانی و دسترسی راحت، روز به روز در سراسر جهان توسعه می یابد، زیرا مصالح مورد مصرف در بتن که عبارت از شن و ماسه و سیمان است، بحد وفور در همه جای کره زمین یافت می شود. از طرفی به علت عمر طولانی قطعات بتنی و مقاومت آن در مقابل عوامل جوی در مقایسه با سایر مصالح ساختمانی مخصوصاً فولاد، توجه مهندسین را در سراسر دنیا به خود معطوف داشته و در نتیجه کاربرد آن روز به روز زیادتر می شود، بطوریکه درصد ساختمانهای بتنی بلند به نسبت ساختمانهای دیگر روز به روز افزایش می یابد. حتی در بعضی ممالک احداث ساختمانهای بلند فقط با بتن آرمه مجاز می باشد.

از جاذبه های دیگر بتن آن است که این جسم قبل از سخت شدن سیال بوده و در هر شکل قالبی که ریخته شود بعد از سخت شدن به همان شکل در می آید. از این رو معماران و طراحان می توانند اجزاء مختلف ساختمان را از لحاظ هندسی به دلخواه خود طراحی کنند. از طرفی عیب بزرگ قطعات بتن آرمه آن است که هیچ وقت فرضیات محاسباتی کاملاً مطابق واقعیت نیست، زیرا اولین فرضی که یک مهندس محاسب ساختمان بتن آرمه می کند، آن است که بتن و فولاد را جسم همگن تصور نموده و تنش و کرنش آنها را مساوی در نظر می گیرد، در صورتیکه این فرض کاملاً با حقیقت مطابقت ندارد. ولی اگر در طراحی بتن، ساخت و اجرا، عمل آوری و نگهداری آن، دقت کافی به عمل آید و بتن نیز مطابق دستورالعملهای مؤسسات تحقیقاتی و استاندارهای دنیا طراحی و ساخته شود، به

میزان قابل توجهی فرضیات و عمل به یکدیگر نزدیک می شوند.

برای رسیدن به این هدف که بتوانیم در ایران از بتنی کاملاً مطابق با استانداردهای بین المللی استفاده کنیم، دو اشکال اساسی وجود دارد :

الف: بتن استاندارد و با کیفیت عالی به مراتب از بتنی که ما اینک در کارگاهها از آن استفاده می کنیم گرانتر تمام می شود و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست. این مطلب برای سازندگان واحدهای مسکونی که اغلب قریب به اتفاق، انبوه سازان واحدهای مسکونی بوده و فروشندگان آن می باشند، نه استفاده کننده از آن، خوشایند نیست. ولی اگر توجه داشته باشیم که بتن با کیفیت خوب، توان باربری بیشتری را دارا می باشد، متوجه می شویم که بتن خوب در نهایت از لحاظ اقتصادی بیشتر به صرفه نزدیک است. برای مثال می توانیم بگوییم که طبق استانداردهای بین المللی مهندس محاسب مجاز است که بار فشاری معادل ۲۱۰ کیلو گرم بر سانتیمتر مربع را روی سازه بتنی بگذارد، ولی عملاً مهندسین محاسب ایرانی بیش از ۸۰ تا ۹۰ و حداکثر ۱۱۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع توان باربری قائل نیستند. یعنی چیزی کمتر از ۵۰ درصد توان مجاز و این به علت بدی اجرا می باشد. در اینصورت مشاهده می شود اگر ساخت بتن با کیفیت عالی حتی اگر ۲۰ درصد هم گرانتر تمام شود با توجه به حداکثر توان باربری بتن هنوز ۸۰ درصد به نفع تولید کننده است.

ب: نکته دوم کمبود و یا بهتر بگوییم نبود کارگران ماهر بتن ساز و عدم آشنایی کارگران به رفتارهای بتن می باشد. اکثر دست اندرکاران بتن و بتن سازی چنین گمان می کنند که اگر آب، شن، ماسه و سیمان را مخلوط کرده و در قالب جای دهند بتن سازی و بتن ریزی نموده اند.

تجربه نشان می دهد که اگر در ساختن و جای دادن بتن در قالب و حفظ و نگهداری آن دقت بیشتری به عمل آید، قطعه مورد نظر حتی تا ۵۰ درصد دارای توان باربری بالاتری می باشد، بدون آنکه هزینه بیشتری را متحمل شویم.[۱۸]

۹-۲ اجزاء تشکیل دهنده بتن :

همانطور که می دانیم بتن تشکیل شده است از سنگدانه های کوچک به نام ماسه و سنگدانه های درشت تر به نام شن که این سنگدانه ها بوسیله چسب مخصوصی به نام سیمان در مجاورت آب به یکدیگر می چسبند و جسم متراکم و سختی را به نام بتن ایجاد می کنند. اگر این بتن در شرایط

خوب تهیه و عمل آورده شود و سیمان آن به اندازه کافی باشد، در اثر نیروی فشاری در حدود ۳۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع متلاشی می شود و توان مجاز آن ۰/۶ عدد فوق می باشد . اما این قطعه در مقابل نیروی کششی بسیار ضعیف بوده و در صورتیکه در شرایط بسیار خوب تهیه و نگهداری شود، نیروی کششی تا ۳۲ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع را می تواند تحمل کند. به همین علت در بتن فولاد می گذارند تا نیروی کششی را تحمل کند. بنابر این بتن تشکیل شده است از : شن، ماسه، سیمان، آب و فولاد.

۹-۳ سنگدانه ها :

سنگدانه ها در حدود $\frac{3}{4}$ تا $\frac{4}{5}$ حجم بتن را تشکیل می دهند. بهمین علت رفتار آنها در بتن، مقاومت و سایرخصوصیات آن را تحت تأثیر قرار می دهد. لذا سنگدانه ها باید از هر لحاظ مورد مطالعه قرار گیرند. رفتار سنگدانه ها از دو نظر حائز اهمیت است:

۱- رفتار فیزیکی ۲- رفتار شیمیایی

در رفتار فیزیکی سنگدانه ها شکل هندسی آن، بزرگی آن، درصد هر اندازه در کل توده، وزن مخصوص آنها، مواد خارجی همراه آنها، استعداد جذب آب، آب همراه سنگدانه ها، سختی آنها و ... مورد مطالعه قرار می گیرد.

در رفتار شیمیایی، جنس سنگدانه ها، واکنشهای شیمیایی آنها در روند سخت شدن سیمان، واکنشهای شیمیایی آنها در زمان نگهداری و بهره برداری از قطعه بتنی مورد ارزیابی می باشد.

اغلب مؤسسات و استانداردهایی که روی بتن کار کرده اند، منحنی ها و دستورالعملهای متعددی برای اندازه سنگدانه ها ارائه کرده اند که اکثر قریب به اتفاق آنها روی درصد دانه ها از لحاظ اندازه تأکید کرده اند. ولی کلیه این دستور العملها مربوط به همان مملکت بوده و حتی مربوط به همان رودخانه و معدنی است که سنگدانه های آن مورد آزمایش قرار می گیرند و برای ممالک دیگر و معادن شن و ماسه دیگر در همان مملکت نیز نمی توانند صد در صد مورد استفاده باشند.

می دانیم بتن مخلوطی است از شن و ماسه و سیمان و آب و همچنین می دانیم در مخلوط شن و ماسه به مقدار قابل ملاحظه ای هوا وجود دارد. وجود هوا در بتن پوکی آن را موجب می شود. لذا هر قدر بتوانیم هوای موجود در بتن را به خارج هدایت کنیم و هر قدر در قطعه بتنی هوای حبس شده

کمتر باشد، قطعه توپر بوده و وزن مخصوص آن بالاتر می باشد. لذا بهترین دانه بندی برای مخلوط شن و ماسه آن است که از لحاظ اندازه به طریقی انتخاب شوند که حداکثر تراکم را ایجاد نمایند و بعبارت دیگر دارای حداقل هوای حبس شده در آن باشند. شن و ماسه ای که بوسیله سنگ شکنها تهیه می شوند، تیز گوشه بوده و اندازه آن کاملاً مطابق دلخواه تولید کننده می باشد و سطوح آن ناصاف است، در صورتیکه سنگدانه هایی که بطورطبیعی به دست می آیند، گرد گوشه بوده و سطوح آن کاملاً صیقلی است.

سنگدانه های شکسته فاقد گرد و خاک بوده و تمیزتر می باشند و یا اگر دارای گرد و خاک باشند با توجه به اینکه این ریزدانه ها در اثر شکستن و خرد کردن سنگ بوجود آمده اند، از جنس خود سنگ بوده و دارای اثرات منفی کمتری روی بتن می باشند. در صورتیکه سنگدانه های طبیعی همیشه با مقداری ریزدانه که در تداول عامه به آن خاک می گویند، همراه است که این خاک اگر از جنس خاک رس بوده و از مقدار معینی بیشتر باشد در مقاومت بتن تأثیر نا مطلوب دارد.

هنگام جای دادن بتن در قالب، سنگدانه های طبیعی به علت صیقلی بودن سطوح آن و سر خوردن آنها بر روی یکدیگر، بهتر و آسان تر قالب خود را پر می کنند. به عبارت دیگر بتن دارای کارایی بهتری است. این مطلب می تواند روی مصرف سیمان و همچنین نسبت آب به سیمان تأثیر مطلوب بگذارد. در صورتیکه این خاصیت در سنگدانه های شکسته که تیز گوشه می باشند وجود ندارد. خمیر سیمان به دانه های تیز گوشه بهتر می چسبد، در صورتیکه چسبندگی بین خمیر سیمان و دانه های گرد گوشه سست تر می باشد، در نتیجه بتن هایی که با سنگدانه های تیز گوشه ساخته می شوند بهتر می توانند نیروهای خمشی و فشاری را تحمل کنند.

۹-۳-۱ اهمیت دانه بندی صحیح :

درساختن یک مخلوط بتنی فرض بر این است که سیمان مانند چسب باعث چسبیدن سنگدانه ها به یکدیگر می شود، در نتیجه باید در مخلوط بتن آنقدر سیمان و جود داشته باشد تا دور سنگدانه ها را مانند فیلم نازکی احاطه کند و بیشتر از این مقدار باعث ضعف قطعه بتنی خواهد شد. به عبارت دیگر مقاومت یک قطعه ساخته شده از سیمان خالص و بدون سنگدانه به مراتب از یک قطعه بتنی که حاوی سنگدانه است کمتر می باشد. همچنین در یک مخلوط بتنی باید توجه داشته باشیم که سیمان

گرانترین جزء مخلوط است، لذا اگر در طرح اختلاط بتن، دانه بندی سنگدانه ها را طوری تعیین نماییم که دانه های ریزتر هر قدر که ممکن است بیشتر فضای خالی بین دانه های درشت تر را پر نموده و حداکثر وزن مخصوص را ایجاد کند، هم سیمان کمتری مصرف نموده ایم که این خود از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است و هم قطعه ساخته شده بسیار مقاوم تر خواهد بود. باید توجه کرد که فضای خالی بین سنگدانه ها ممکن است با خمیر سیمان پر شود که این خود موجب ضعف قطعه خواهد شد.

از آنجا که معمولاً در کارگاههای کوچک و حتی در بعضی از کارگاههای نسبتاً بزرگ، دسترسی به وسایل آزمایشگاهی مشکل است، در نتیجه نمی توان در هر شیفت کاری حداقل یکبار بوسیله الکهای مخصوص از درست بودن شن و ماسه حمل شده به کارگاه مطمئن شد. این امر ممکن است در تشخیص و تهیه دانه بندی صحیح و در نتیجه بتنی مقاوم تأثیر منفی داشته باشد.

اغلب فروشندگان شن و ماسه و مسئولین کارگاههای بتن سازی برای آنکه سنگدانه های مصرفی کیفیت بهتری داشته باشند، اقدام به شستشوی سنگدانه ها می نمایند. با توجه به اینکه شستن سنگدانه ها کیفیت آن را بالا می برد، اگر این شستشو در ماشینهای ماسه شویی و کاملاً به طریق فنی نباشد کیفیتی نامطلوب در سنگدانه ها ایجاد می نماید. زیرا اولاً ممکن است شدت جریان آب ریزدانه های مفید را به خارج منتقل نماید، درثانی ممکن است در اثر شستشوی غیر فنی پراکندگی یکنواخت دانه ها در کل توده از بین برود. که این هردو، در قطعه ساخته شده تأثیر نامطلوب خواهد داشت.

ضمناً توجه به این نکته ضروری است که هیچوقت در عمل دسترسی به یک دانه بندی کاملاً مطابق با استانداردهای داده شده مقدور نیست، زیرا به هر حال سنگدانه ها چه طبیعی و چه شکسته محصولی طبیعی بوده و شکل هندسی آن و همچنین پراکندگی اندازه مختلف دانه ها صد در صد در اختیار ما نیست. به همین دلیل اغلب استانداردهای مهم دنیا بعد از ارائه دستورالعملهای دقیق برای تهیه و اختلاط بتن، بیشتر به آزمایشات محلی و در جا تکیه نموده اند.

۹-۳-۲ اندازه سنگدانه ها :

بزرگی دانه های مصرفی در بتن با توجه به ابعاد قطعه تغییر می کند. بدیهی است که بزرگی دانه های مصرفی در بتنی که یک دیوار ۱۰ سانتی را تشکیل می دهد با بزرگی آن برای پی سازی و یا سد

سازی متفاوت است. از طرفی فرض بر این است که برای ساختن بتنی که بتواند نیروهای وارده را به خوبی تحمل نماید باید خمیر سیمان مانند فیلم نازکی دور تمام دانه های شن و ماسه را پوشانیده و باعث چسبیدن آنها به یکدیگر شود و با توجه به اینکه در واحد حجم، هر قدر دانه ها ریزتر باشند دارای سطح مخصوص بیشتری هستند، در نتیجه مصرف سیمان آنها بیشتر می شود. طبق تجربه به عمل آمده در قطعات بتنی که به طریق صحیح دانه بندی شده اند، اگر از سنگدانه های درشت تر استفاده شود قطعه دارای مقاومت بهتری خواهد بود و بالاخره در مجموع برای تر کردن سطح درشت دانه ها به علت سطح مخصوص کمتر به آب کمتری نیاز داریم و نهایتاً با مصرف سیمان ثابت نسبت W/C کمتر می شود و با توجه به اینکه مقاومتهای بتن با نسبت W/C نسبت عکس دارد، لذا چنین بتنی به مراتب مرغوب تر می باشد. لازم به ذکر است که اگر قطر سنگدانه ها در بتن از مقدار معینی بیشتر باشد، به همگن بودن قطعه آسیب می رساند و مانند یک گره در قطعه عمل خواهد نمود و حتی ممکن است باعث شکستن قطعه از محل همان قلوه سنگ باشد.

۹-۳-۳ شکل هندسی سنگدانه ها :

شکل هندسی سنگدانه های مورد مصرف در بتن که به طور طبیعی در معادن شن و ماسه پیدا می شوند، به چند دسته تقسیم می شوند :

۱- دانه های کاملاً مدور ۲- دانه های نسبتاً مدور ۳- دانه های نسبتاً تیز گوشه

۴- دانه های کاملاً تیزگو شه ۵- دانه های دراز ۶- دانه های پهن

مطلوب ترین شکل هندسی برای سنگدانه های مصرفی در بتن دانه های مدور و گوشه دار می باشند. زیرا بتن حاصل از اینگونه دانه ها بعلت کروی بودن، بهتر فضای قالب خود را پر نموده و دانه های ریزتر، بهتر فضای خالی بین دانه های درشت تر را پر می نمایند و به علت گوشه داربودن، بهتر با دانه های همجوار خود درگیر شده و مقاومت داخلی خوبی را حاصل می نمایند.

شکل هندسی دانه های دیگر برای بتن خوب نیستند و یا از اهمیت کمتری برخوردار می باشند. دانه های دراز و پهن در مقاومت بتن اثر نا مطلوب ایجاد می نمایند. سنگدانه های پهن ممکن است حبابهای هوا وهمچنین قطرات آب را در زیر خود محبوس نموده و مانع خروج آنها بشوند. سنگدانه های دراز تردتر بوده و ممکن است در اثر کوچکترین فشار خرد شوند.

اگر تجمع دانه های دراز و پهن در گوشه ای از بتن زیاد باشد، قطعه بتنی در آن نقطه دارای ضعف بوده و مقاومت کمتری را تحمل می نماید. بدین لحاظ باید در مورد میزان دانه هـای بلنـد و پهـن در توده های سنگدانه ها دقت کافی را به عمل آورد و در ثانی پراکندگی این دانه ها باید در توده شـن و ماسه یکنواخت باشد.

ضمناً باید توجه کرد که اجباراً در هر توده سنگی درصدی دانـه هـای دراز و پهـن موجـود اسـت و معدن فاقد سنگدانه های فوق عملاًممکن نیست. مخصوصاً اگر معدن انتخاب شده در کنار دریا باشـد. در اینگونه معادن دانه های صدفی بیشتر یافت می شود.

در مورد اهمیت سنگدانه ها در بتن و میزان مقاومت آن می توان به موارد زیر نیز اشاره کرد :

۹-۳-۴ سختی سنگدانه ها :

مقاومت بتن در مقابل نیروهای خارجی هیچوقت نمی تواند از مقاومت سنگدانه های تشکیل دهنده آن بیشتر باشد، لذا در هنگام انتخاب سنگدانه برای بـتن بایـد از معـادنی کـه دارای سـنگدانه هـای پوسیده و سست هستند استفاده نشود.

۹-۳-۵ خاصیت جذب آب سنگدانه ها :

علت آنکه سنگدانه ها بهمدیگر می چسبند یا به عبارت دیگر به سیمان مجاور خود مـی چسـبند، آن است که آب موجود در ملات سیمان به علت جذب آب سنگدانه ها در آن نفوذ می نماید و همـراه آب، هزاران هزار رشته باریک سیمان نیز به داخل سنگدانه نفوذ کرده و به آن پنجه می انـدازد. حـال اگر سنگدانه دارای خاصیت جذب آب نباشد و یا کافی نباشد، نفوذ رشته هـای خمیـر سـیمان در آن کافی نبوده و اتصال خوبی ایجاد نمی نماید، اگر خاصیت مکندگی از حد معینی بیشتر باشد، در همان دقایق اولیه که سنگدانه در مجاور خمیر سیمان قرار می گیرد و در جای خود ساکن می ماند و قبل از آنکه کریستالهای سیمان برای سخت شدن تشکیل شود، آب، خمیر سیمان مجاور خود را مکیده و در نتیجه روند سخت شدن سیمان در اثر کم شدن آب با اشکال مواجه می شود.

۹-۳-۶ مقدار آب همراه سنگدانه ها :

مقدار آب همراه درشت دانه ها (شن) زیاد قابل ملاحظه نیست، حتی قابل صرفه نظر کردن اسـت. ولی مقدار آب همراه ماسه که گاهی تا ۵۰ و حتی ۶۰ لیتر در متر مکعب ماسه می رسد، قابل ملاحظه

بوده و باید در بتن سازی مورد نظر قرار گیرد. مسئولین کارگاههای بتن سازی باید متوجه باشند که دانستن آبی که همراه سنگدانه ها به کارگاه می آید کافی نیست، زیرا با توجه به اینکه در کارگاهها و مراکز بتن سازی سنگدانه ها در فضای باز نگهداری می شوند و معمولاً با بارش باران و یا کم و زیاد شدن رطوبت هوا، میزان آب سنگدانه ها تغییر می کند، لذا باید مسئولین قسمت بتن سازی بتوانند با چشم میزان آب موجود در ماسه را تشخیص بدهند.

در همین راستا دستگاههای الکتریکی بوجود آمده که با قرار دادن آن در توده شن و ماسه در هر لحظه می توان میزان رطوبت آن را مشخص نمود. اما متأسفانه این دستگاه در ایران کاربرد ندارد. از طرفی هر لحظه گزارش میزان آب برای بارگیری بتونیر مقدور نیست و با توجه به اینکه اگر میزان آب در دفعات مختلف بارگیری متفاوت باشد، بتن حاصل یکنواخت نبوده و قطعه نمی تواند بارهای وارده را به طور یکنواخت تحمل نماید، لذا باید در هنگام انبار کردن سنگدانه ها نکات فنی آن کاملاً رعایت گردد. بهترین وضعیت رطوبت سنگدانه ها برای بتن حالتی است که نه به مخلوط آبی بدهد و نه از آن آبی بگیرد، یعنی حالت اشباع با سطح خشک.

۹-۳-۷ رفتار شیمیایی سنگدانه ها :

ایده ال ترین سنگدانه ها برای مصرف در بتن از نقطه نظر شیمیایی آن است که بعد از قرار گرفتن در مخلوط بتن و در مجاورت آب و سیمان در هنگام سخت شدت سیمان، هیچگونه فعالیت شیمیایی از خود نشان ندهد و همچنین بعد از سخت شدن سیمان و در دراز مدت در اثر تر و خشک شدن قطعه و نفوذ آب در قطعه، فعال نگشته و تغییر شکل و تغییر حجم ندهد.

۹-۳-۸ حمل و نقل و انبار کردن سنگدانه ها :

همانطور که می دانیم تفکیک سنگدانه ها از لحاظ اندازه، می تواند تأثیر بدی در بتن برجای بگذارد، لذا در هنگام حمل و نقل، تخلیه و انبار کردن سنگدانه ها، کار باید به گونه ای انجام شود که کمترین آسیب به آنها رسیده و کمترین تفکیک در اندازه ها صورت بگیرد. باید توجه داشت که حمل و نقل و انبار کردن مناسب در مرغوبیت بتن تأثیر به سزایی خواهد داشت. بسیار اتفاق می افتد که سنگدانه های تمیز با دانه بندی خوب به کارگاه تحویل داده می شود، ولی در اثر نگهداری نا مطلوب و غیر فنی دانه بندی عوض شده و به مواد عالی آلوده می گردد.

الف: حمل و نقل:

۱- باید کمترین جابه جایی در سنگدانه ها انجام شود، زیرا در هر جابه جایی امکان شستن دانه ها حتی به مقدار کم و تفکیک اندازه های آن وجود دارد و همچنین در هر جابه جایی ممکن است دانه ها به مواد مضر خارجی آلوده شوند.

۲- در موقع تخلیه سنگدانه ها بهتر است حتی المقدور آنها را از ارتفاع به پایین رها نکنیم و اگر مجبور به رها کردن سنگدانه ها هستیم، هر قدر ارتفاع رها کردن کمتر باشد بهتر است، زیرا در هنگام سقوط، سنگدانه های درشت تر که دارای وزن بیشتری هستند، زودتر به پایین می رسند که این خود موجب تفکیک آنها می گردد. ضمناً دانه های درشت تر ممکن است در هنگام سقوط خرد شوند.

ب : انبار کردن:

سنگدانه ها باید به گونه ای انبار شوند که تا زمان مصرف در معرض حداقل آسیب دیدگی قرار بگیرند. برای اینکار باید :

۱- حتی المقدور در معرض گرد و خاک و خار و خاشاک نباشند.

۲- تا جاییکه ممکن است در جای مسقف انبار شوند تا تغییرات آب و هوایی باعث تغییر در رطوبت سنگدانه ها نشود. اگر جای مسقف در دسترس نبود، بهتر است در هنگام بارندگی روی آنها پوشیده شود، زیرا باران رطوبت سنگدانه ها را تغییر داده و موجب ورم کردن آنها می شود. این عمل در اختلاط بتن مؤثر است. از طرفی آب باران که آب مقطر است در مسیر سقوط خود با گازکربنیک موجود در هوا ترکیب شده و تشکیل اسید کربنیک ناپایدار و زود اثر می نماید که این خود می تواند روی سنگدانه های مستعد اثرات نامطلوب شیمیایی داشته باشد که یکی از آنها خرد شدن دانه ها است.

۳- دانه ها باید به گونه ای انبار شوند که در معرض یخبندان قرار نگیرند.

۴- دیواره های حدفاصل دانه های مختلف باید آنقدر محکم باشد تا به خوبی بتواند ضربه های ناگهانی ناشی از مصالح جدید را تحمل نماید.

۹-۴ آب :

کلیه واکنشهای شیمیایی سیمان در جهت سخت شدن و چسبیدن به سنگدانه ها به یکدیگر در

مجاورت آب شروع می شود. در نتیجه ایده ال آن است، آبی که در بتن مورد استفاده قرار مـی گیـرد هیچگونه واکنش مضاعفی در اثر املاح موجود در خود، در بتن ایجاد ننماید. ولی عملاً چنـین چیـزی ممکن نیست، زیرا آبی با این مشخصات، باید به کلی فاقد هر گونه نمک بوده که این غیر ممکن است زیرا هر نوع آبی که در بتن مورد استفاده قرار می گیرد، کم یا زیـاد حـاوی امـلاح معـدنی و یـا ذرات شناور می باشد که آنها کم و بیش روی مقاومت بتن اثر می گذارند. حتی ممکن است این اثرات آنقدر روی مقاومت بتن اثر منفی داشته باشند که قطعه را در دراز مدت بدون مصرف نماید.

بعضی از این املاح روی قطعه بتنی اثرات فوری و زودگذر دارند و با پایان یافتن روند سخت شـدن اثرات آنها نیز تمام می شود و به عنصر خنثی تبدیل می گردد، ولی ممکن است این اثرات زودگذر به قطعه آسیب برساند. مثلاً ممکن است این املاح زمان گیرش سیمان را به تعویق بیاندازد و یا زمان آن را تسریع کند. که این هر دو مطلب اگر در محاسبات منظور نشده باشد زیان آور خواهد بود.

بعضی از اثرات دیگر این املاح با گذشت زمان خاتمه پیدا نکرده و به تدریج یا بـه آهسـتگی ادامـه پیدا می کند و حتی ممکن است در اثر عوامل خارجی فعال تر گشته وموجب خورندگی در بـتن و یـا حتی در فولاد موجود در بتن شود. با توجه به اینکه در ساختمانهای کوچک و حتـی در سـاختمانهای بزرگ از بتن و فولاد موجود در آن پس از اتمام و در حین بهره برداری بازرسیهای مرتب به عمل نمی آید، لذا مهندسین طراح سازه باید به خوبی از کیفیت آب موجود در بتن مطلع باشند و اثرات مخـرب تدریجی آب را بر روی سازه قبلاً مطالعه نموده و از آن جلوگیری نمایند.

با نگاه اول آبی که در بتن مصرف می شود باید فاقد رنگ، بو و مزه باشد و همچنین قابـل خـوردن باشد. البته این بدان معنا نیست که کلیه آبهایی که دارای رنگ یا بو و یا مزه هستند، بـرای بـتن غیـر قابل استفاده می باشند و یا همچنین آبی که مصرف خوردن ندارد نباید در بتن مصرف شود.

اگر بتن ریزی در کنار دریا و یا شهرهای ساحلی انجام مـی شـود و یـا نـاگزیر از مصـرف آب شـور هستیم باید قطعات ریخته شده بـا آب موجـود و همچنـین آب شـیرین و قابـل خـوردن را از لحـاظ مقاومتهای ۳-۷-۲۸ روزه با یکدیگر مقایسه کرد، چنانچه مقاومتهای قطعه ریخته شده با آب موجـود حداقل ۹۰ درصد قطعه ریخته شده با آب شیرین و قابل خوردن باشد، اکثر آیین نامه های دنیا چنین آبی را برای بتن مجاز می دانند.

لازم به ذکر است که در بتن ریزیهای کوچک مانند یک ساختمان با توجه به اینکه مهندسین محاسب ایرانی، ضریب اطمینان بالایی را در محاسبات منظور می نمایند، عدد ۹۰ درصد عدد قابل اطمینانی می باشد ولی در بتن ریزیهای بزرگ مانند ساختمان یک سد و یا پایه یک پل که در معرض آبهای سولفاته است، باید احتیاط بیشتری کرد. اصولاً دو نوع آلودگی در آب وجود دارد :

۱- مواد مخلوط معلق

۲- املاح ترکیب شده یا مخلوط با آب که با چشم قابل دیدن نیست.

قسمتی از مواد مخلوط معلق در آب که برای بتن مضر است، با چشم قابل رؤیت است و این مواد بیشتر در آبهای راکد و مرداب یافت می شود، مانند خزه ها، تکه های چوب یا زغال. در این مورد چنانچه آلودگی آب به همین مقدار خاتمه پیدا کند کار آسان است، زیرا با گذرانیدن آن از یک صافی معمولی مانند یک طور سیمی قابل مصرف می باشد.

در مورد دوم که آب حاوی مقداری املاح است، با توجه به اینکه این املاح ممکن است اثرات بد و تخریبی دراز مدت در قطعه بتنی داشته باشند ، باید دقت بیشتری به عمل آید و آب حتماً از نقطه نظر املاح موجود در آن مورد آزمایش قرار گیرد.

۹-۴-۱ میزان آب بهینه :

به درستی نمی توان حداقل آب مورد نیاز بتن را بدون انجام آزمایشهای محلی در کارگاه تعیین نمود. از لحاظ تئوری برای آب مورد نیاز در بتن اعدادی ارائه شده است، اما از آنجا که میزان نسبت آب به سیمان از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است و این نسبت می توان روی مقاومت فشاری، ضریب نفوذ پذیری، ضریب تخلخل، دوره های یخبندان و آب شدن، کارایی، حمل و نقل، جا دادن در قالب، آب انداختن بتن و خیلی از رفتارهای دیگر آن در کوتاه مدت و دراز مدت اثر داشته باشد، لذا مطالعه آنکه چه مقدار آب باید به مخلوط شن و ماسه اضافه شود، حائز اهمیت است .

با توجه به مطالب ارائه شده معلوم می شود که برای هر نوع سنگدانه، سیمان، کارایی و همچنین درجه حرارت محیط کار، میزان آب معینی وجود دارد که با آن مقدار بتن به کارایی لازم رسیده و به راحتی روند سخت شدن خود را طی نموده، به ضریب تراکم حداکثر و ضریب تخلخل حداقل می رسد و مقاومت لازم را کسب می نماید. به این مقدار آب، آب بهینه می گویند.

برای تعیین این مقدار آب اغلب کارگران بتن ساز محلی که با آب و هوای محل آشنایی دارند، با مشاهدات عینی و دیدن روانی بتن با تقریب نزدیک به تحقیق، مقدار آب مورد نیاز مخلوط بتنی را تشخیص می دهند.

۹-۵ سیمان :

در دنیای صنعت به هر ماده ای که به جسم دیگر بچسبد و در نتیجه باعث چسبیدن دو جسم به یکدیگر شود، سیمان می گویند. حتی دندانپزشکان به ماده ای که با آن حفره دندان را پر می کنند سیمان می گویند. ولی در ایران مخصوصاً در تداول عامه سیمان به ماده ای گفته می شود که فقط در صنعت ساختمان سازی مصرف داشته و با آن بتن یا ملات می سازند و باعث چسبیدن آجر و یا سنگدانه ها به یکدیگر می شوند.

با توجه به اینکه هر روزه در آزمایشگاههای سراسر دنیا مخصوصاً ممالک صنعتی، کشفی تازه و تجربه ای جدید در مورد سیمان به عمل می آید، درنتیجه محصول جدیدتری به بازار عرضه می گردد. آنچه در این تحقیق حائز اهمیت است، تأثیر سیمان در یک سازه بتنی است، بنابراین تنها به شرح مختصری از سیمان و عملکرد آن در بتن بسنده می کنیم.

۹-۵-۱ تاریخچه سیمان :

سیمان یا سمنت از لغت سمنتم رومی گرفته شده است. اگر به طور کلی سیمان را ماده ای چسبنده تعریف کنیم که می تواند آجرها و یا سنگها را به هم بچسباند، باید قدمت آن را به حدود ۵۰ سال قبل از میلاد مسیح برسانیم. زیرا در گنبد پانتئون واقع در روم پایتخت ایتالیا برای چسباندن آجرها از ملاتی استفاده شده است که بسیار نزدیک به آهک پخته شده می باشد و می توانیم بگوییم که مراحل اولیه سیمان فعلی است.

سیمان پرتلند هیدرولیکی بصورت تکامل نیافته سیمان امروزی، اولین بار در سال ۱۸۲۴ در اداره ثبت اختراعات انگلستان به ثبت رسید و این ثبت بوسیله شخصی به نام ژوزف آسپیدین انجام شد، وی اختراع خود را به نام سیمان پرتلند به ثبت رسانید. نام پرتلند به این دلیل بود که محصول اختراع شده پس از سخت شدن به رنگ شبه جزیره پرتلند در انگلستان در می آمد.

آنچه در این تحقیق مورد ارزیابی و معرفی قرار می گیرد سیمان پرتلند هیدرولیکی است که رایج ترین سیمان مورد مصرف در بتن سازی می باشد. زیرا تقریباً ۹۹ درصد بتن های ساخته شده در جهان مخصوصاً در ایران با سیمان پرتلند معمولی است.

۹-۵-۲ گرمای هیدراسیون :

بعضی از عناصر تشکیل دهنده سیمان در هنگام مجاورت با آب گرما تولید می کنند که به آن گرمای هیدراسیون می گویند. گرمای حاصل از مجاورت سیمان معمولی نوع یک، با آب در حدود ۱۰۰ الی ۱۱۰ کالری برای هر گرم سیمان است. این حرارت چنان است که در بتن ریزیهای انبوه می تواند آب داخل بتن را تا ۹۰ درجه سانتی گراد گرم کند وحتی می تواند آن را به جوش آورد. محیط گرم تا حد ۹۰ درجه سانتی گراد برای سخت شدن سیمان مضر بوده و روی فعل و انفعالات سیمان اثر منفی دارد و چنانچه این گرما قبل از گیرش سیمان مستهلک نشود، ممکن است در بتن انبساط حجمی در اثر گرم شدن بوجود بیاورد و پس از سرد شدن محیط، حجم بتن به حالت اولیه باز نگردد. در این زمان با توجه به اینکه بتن حالت روانی خود را از دست داده است، انقباض حجم در آن ترکهایی ایجاد می کند. این ترکها علاوه بر آنکه باعث پایین آمدن مقاومتهای فشاری و کششی قطعه بتنی می شود، اگر قطعه در معرض نفوذ آب باشد، آب در آن نفوذ کرده و در اثر یخبندان و ازدیاد حجم آب، ممکن است روند ایجاد این ترکها افزایش یافته و در دراز مدت باعث متلاشی شدن قطعه شود. لازم به یادآوری است که اصولاً مقدار گرمای هیدراسیون آزاد شده چندان مهم نیست، بلکه میزان آن بر حسب زمان اهمیت دارد. اگر گرمای آزاد شده در مدت زمان کوتاه باشد و فرصت مستهلک شدن نداشته باشد، از آنجاکه بتن هادی خوبی برای حرارات نیست، در نتیجه حرارت آن خارج نشده و ممکن است این گرما روی بتن اثرات منفی داشته باشد.

(طبق آزمایشات بعمل آمده ، سیمان پرتلند معمولی در حدود ۵۰ درصد کل حرارت هیدراسیون خود را در فاصله ۱ تا ۳ روز آزاد می کند و ۲۵ درصد آن را در فاصله ۷ تا ۸۳ روز و بقیه را طی مدت ۶ ماه آزاد می کند.) به همین دلیل در بتن ریزیهای انبوه مانند سدها و یا پایه پلهای بزرگ چنانچه از سیمان معمولی استفاده نشود، برای خنک کردن محیط می باید قبل از بتن ریزی تدابیری اتخاذ شود. بطور مثال از دستگاههای خنک کننده استفاده شود.[۱۷]،[۱۸]

فصل دهم

بتن کارگاهی از ساخت تا اجرا

۱۰-۱ مقدمه :

مخلوط بتنی از زمان ساخت تا هنگامی که در قالب جا می گیرد و حتی تا زمان بهره برداری، مراحل مختلفی را طی می نماید و در طول این طی مسیر تحت تأثیر عوامل و پارامترهای فراوانی قرار می گیرد. پس از معرفی مختصری از بتن و اجزاء مختلف تشکیل دهنده آن در فصل گذشته، در این فصل مراحل مختلف ساخت و اجراء قطعه بتنی، اقداماتی که در این راستا در کارگاه بتن ریزی مورد انجام قرار می گیرد و نیز ضوابطی که باید در شرایط مختلف کارگاهی رعایت گردند، را به اختصار مطرح خواهیم نمود. لازم به ذکر است که به منظور طولانی نشدن مبحث و همچنین با توجه به اینکه کلیه علاقمندان دارای اطلاعات کافی نسبت به هر یک از این موارد هستند و در کلیه کتابهای مربوط به سازه های بتنی و در آیین نامه ها نیز به طور مفصل مطرح شده است، لذا در این تحقیق، در معرفی هر کدام از مراحل، تنها نقش و تأثیری را که می توانند در مقاومت نهایی سازه بتنی ایفا نمایند، مورد بررسی قرار خواهیم داد و به نکاتی اشاره خواهیم نمود که در هر کدام از این مراحل باعث ایجاد تغییرات در میزان کیفیت قطعه بتنی می شوند.

۱۰-۲ ماشین آلات :

۱۰-۲-۱ ماشین آلات بتن ساز :

ماشین های بتن سازی دستگاههایی هستند که اجزاء متشکله بتن را (آب ، سیمان ، شن ، ماسه) با یکدیگر مخلوط کرده و جسم یکنواخت و همگنی به نام بتن را تولید می نمایند. این اختلاط باید به

گونه ای باشد که اولاً پراکندگی دانه ها از لحاظ حجم در کلیه توده به یک اندازه بوده و در ثانی آب و سیمان با یکدیگر به خوبی مخلوط شده و دوغاب سیمان تولید نماید. این دوغاب سیمان باید بطور یکنواخت مانند فیلم نازکی دور تمام دانه ها را پوشانیده تا در نهایت باعث بهم چسبیدن دانه ها شود و مخصوصاً باید دقت شود که در موقع حمل و نقل بتن و جا دادن بتن در قالب، این یکنواختی از بین نرود. از جمله ماشین آلات بتن سازی می توان به موارد زیر اشاره کرد :

۱- بیل ۲- بتونیر ۳- مرکز بتن سازی (BATCHING)

۱- بیل : با تعریف فوق بیل ساده ترین و قدیمی ترین ماشین بتن سازی است. با وجود اینکه ساختن بتن بدون ماشین آلات مخلوط کننده، کاملاً غیر فنی بوده و چنین بتنی نباید مورد استفاده قرار گیرد، در ایران و در بتن ریزیهای کوچک و حتی در کارگاههای کوچک ساختمانی برای پر کردن ستونهای بتنی اغلب امکان استفاده از بتونیر نیست و مخلوط کردن بتن با **بیل** انجام می شود.

۲- بتونیر : بتونیرها، ماشین های کوچکی هستند که در کارگاه برای ساختن بتن مورد استفاده قرار می گیرند. اغلب بتونیرهای خیلی کوچک فاقد پیمانه هستند. در این موارد کارگران با بیل بتونیر را بارگیری می کنند. این طریق بارگیری روش صحیحی نیست و بتن حاصل فاقد ارزش لازم می باشد و تقریباً مانند بتن دستی است.

در هنگام شروع کار روزانه برای بتن ریزی باید در ابتدا مقداری ماسه و سیمان را مخلوط نموده و درون بتونیر بریزیم و منبع را چند دقیقه به حال گردش در آوریم، سپس آن را خالی کرده و بتن سازی را شروع کنیم. این ریزدانه ها جداره داخلی منبع بتونیر را نظافت نموده و برای کار روزانه آن را آماده می کنند. در غیر اینصورت همیشه اولین محصول بتونیر با بتن دفعات بعد اختلاف فاحش خواهد داشت. به همین دلیل بعضی از آیین نامه ها پیشنهاد می کنند، برای همگن شدن قطعه ریخته شده با بتن، اولین محصول بتونیر برای قطعات حساس و باربر مورد استفاده قرار نگیرد. همچنین تنظیم منبع آب این دستگاه نیز همیشه باید توسط یک کارگر ماهر کنترل شود. زمان مخلوط کردن بتن نیز باید در کلیه دفعات بتن سازی هماهنگ و مساوی باشد تا بتن حالت همگن و یکنواخت داشته باشد.

با توجه به اینکه هر قدر زمان توقف بتن در بتونیر کمتر باشد، بتن زودتر آماده می شود و کار سریعتر و اقتصادی تر انجام می گردد و دستگاه استهلاک کمتری دارد، لذا همیشه پیمانکاران بتن

ساز مایل هستند که این زمان به کمترین مدت تقلیل یابد، بهمین دلیل در هنگام ساختن بتن باید زمان کافی توسط مهندسین متخصص معین گردد و کنترلهای لازم نیز صورت گیرد.

۳- مرکز بتن سازی (BATCHING) : در کارگاههای بزرگ مانند سد سازیها و یا تونل سازیها که بتن های با حجم زیاد مورد احتیاج می باشد، استفاده از بتن سازهای کوچک جوابگوی نیاز کارگاه نیست، لذا اینگونه کارگاهها از مرکز بتن سازی استفاده می کنند.

اغلب آیین نامه های مختلف چنین تجویز می کنند که از مرکز بتن سازی، بتن بصورت نیمه مخلوط به کامیون حمل بتن ریخته شده و عمل تکمیل اختلاط بتن تا حد نهایی در تراک میکسر صورت بگیرد. حتی بعضی از مراکز بتن سازی فقط مصالح را پیمانه کرده با اضافه کردن آب، به کامیون حمل بتن تحویل می دهند و عمل اختلاط از ابتدا تا انتها در کامیون صورت می گیرد و بدین ترتیب بازدهی مرکز بتن ساز به دو و یا حتی سه برابر افزایش می یابد. لذا باید توجه کرد که اگر اجزاء بتن بصورت مخلوط نشده و یا نیمه مخلوط به تراک میکسر تحویل شود، باید فاصله تحویل گرفتن بتن تا محل نهایی از لحاظ زمانی به اندازه ای باشد که بتن تحویلی مخلوط شود.

آیین نامه ASTM فاصله زمان تحویل گرفتن بتن بوسیله کامیون تا محل نهایی را حداکثر ۱/۵ ساعت تعیین نموده است. زیاد بودن طی مسیر تراک میکسر ممکن است، مقدار قابل ملاحظه ای آب بتن را تبخیر نموده و کارایی آن را پایین بیاورد.

۱۰-۲-۲ ماشین آلات حمل بتن :

ماشین آلات حمل بتن دستگاههایی هستند که بتن را از ماشین بتن ساز تحویل گرفته و آن را تا محل نهایی حمل می نمایند. استفاده از ماشین آلات مناسب با توجه به نوع بتن ریزی در مقاومت بدست آمده از بتن تأثیر به سزایی دارد. انتخاب ماشین آلات حمل بتن بر اساس فاصله مدنظر برای بتن ریزی و حساسیت نوع سازه بتنی تعیین می گردد، لذا باید توجه داشت که استفاده از ماشین آلات سالم و مناسب می تواند در بدست آوردن بتنی دلخواه مؤثر باشد. از جمله این ماشین آلات می توان به موارد زیر اشاره کرد :

۱- تراک میکسر ۲- واگن ۳- باگت و جرثقیل ۴- پمپ آب ۵- تسمه نقاله ۶- ناودان

۱۰-۳ قالب بندی :

بتن تازه جسمی است، سیال و قبل از آنکه سخت شود در هر ظرفی که قرار بگیرد به شکل همان ظرف درمی آید. برای آنکه شکل هندسی بتن به فرم دلخواه در آید، قالبی مطابق آنچه که مهندس محاسب از لحاظ ابعاد و شکل هندسی برای قطعه طراحی کرده است ساخته می شود.

قالب ها از لحاظ محل مصرف که ممکن است ستون، تیر و یا دال باشد متفاوت می باشند. اما در هر صورت کلیه آیین نامه هایی که برای قالب بندی مقرراتی را پیشنهاد نموده اند دو هدف را دنبال کرده اند :

۱- ایستایی قالب ۲- دوام قالب

۱- ایستایی قالب : با توجه به سیال بودن بتن، تغییر شکل قالب موجب تغییر شکل هندسی بتن موجود در آن می گردد و با توجه به اینکه طول بعضی از قطعات باربر بتنی بصورت مجذور در محاسبات وارد می شوند، لذا تغییر شکل هندسی قطعه حتی به میزان اندک در توان باربری آن قطعه مؤثر است. بهمین علت تغییر شکل هندسی قالبها در هنگام بتن ریزی می تواند ممانهای ناخواسته و پیش بینی نشده ای در قطعه ایجاد نماید. علاوه بر نیروهای فوق، قالب بندی در هنگام بتن ریزی تحت تأثیر نیروهای ضربه ای نیز قرار می گیرد. این نیروهای ضربه ای متناسب است با فاصله دهانه آخرین لوله پمپ از سطح بتن (ارتفاع سقوط بتن)، وزن بتن و همچنین شدت تخلیه بتن (دبی پمپ).

۲- دوام قالب : باتوجه به هزینه زیاد قالب بندی یک ساختمان از لحاظ اقتصادی، سعی بر این است که از قالب بندی به گونه ای استفاده شود که بتوان از تخته ها و اجزاء قالب بندی آورده شده به کارگاه به دفعات مختلف استفاده نمود. لذا دوام و کیفیت قالب های مورد استفاده در تهیه بتنی مطلوب، مؤثر و دارای اهمیت است.

۱۰-۳-۱ زمان قالب برداری :

با توجه به هزینه گزاف قالب بندی، همیشه مجریان ساختمان و پیمانکاران سعی بر این دارند تا آنجا که ممکن است از بتن قالب بندی شده هر چه سریعتر قالب برداری نموده و قطعات قالب را در

جای دیگر مورد استفاده قرار دهند. بدین لحاظ مجریان ساختمان همیشه مایل به حداقل زمان برای قالب برداری هستند.

اصولاً نمی توان بطور کلی زمان دقیق معینی را برای قالب برداری تعیین نمود، زیرا با مصرف سیمانهای مختلف مانند سیمان زودگیر و یا دیرگیر و یا سیمانهای معمولی، زمان سخت شدن بتن متفاوت است. همچنین در درجه حرارتهای مختلف محیط، زمان سخت شدن بتن تغییر می کند. بطور مثال در زمستان که درجه هوا در حدود ۵ درجه بالای صفر است، زمان قالب برداری از یک تیر در حدود سه هفته از روز بتن ریزی است، در صورتیکه در حرارتهای ۳۰ تا ۳۵ درجه این مدت به ده روز کاهش پیدا می کند. همچنین زمان قالب برداری از قطعات مختلف بتن نیز متفاوت است. مثلاً زمان قالب برداری از دور یک سقف در حدود چند ساعت بعد از بتن ریزی و به محض آنکه بتن حالت سیال بودن خود را از دست داده و بتواند شکل هندسی خود را حفظ نماید بلااشکال است. در صورتیکه قالبهای زیر تیرها در فصل زمستان همانطوریکه گفته شد باید در حدود ۲۱ روز بعد از بتن ریزی برداشته شود و قالبهای ستونها را در فصل زمستان می توان در حدود ۱۲ تا ۲۴ ساعت بعد از بتن ریزی باز نمود. از طرفی رطوبت محیط نیز در زمان قالب برداری مؤثر است.

آیین نامه های مختلف برای قالب برداری از قطعات بتنی زمانهای تقریباً مشابهی را تعیین نموده اند، ولی راههای پیشنهادی آنها متفاوت است. آیین نامه ACI زمان قالب برداری از قطعات مختلف را مبتنی به رسیدن مقاومت فشاری همان قطعه به حد معینی نموده است. طبق این آیین نامه باید در زمان بتن ریزی از بتن ریخته شده نمونه برداری شده و نمونه ها در همان شرایط کارگاهی که بتن اصلی در آن قرار دارد، قرار گیرد. آنگاه این نمونه ها در زمانهای مختلف مورد آزمایش قرار گرفته و مقاومت فشاری آنها تعیین گردد. استفاده از روش فوق فقط در کارگاههای بزرگ که آزمایشگاه بتن در داخل کارگاه موجود باشد، میسر است. در کارگاههای کوچک که دارای امکانات آزمایشگاهی نیستند زمان قالب برداری بر حسب روز معین شده است.[۱۸]

۴-۱۰ اقدامات اولیه قبل از بتن ریزی :

پس از قالب بندی و آرماتور بندی اقدام به بتن ریزی می شود. قبل از بتن ریزی باید توسط مهندس کارگاه و یا تکنسین مسئول بتن ریزی، بازدیدهایی در سه مرحله انجام شود :

الف : بازدید آرماتوربندی

ب : بازدید قالب بندی

ج : بازدید تجهیزات

۱۰-۴-۱ بازدید آرماتور بندی :

برای آرماتور بندی باید بازدیدهای خاصی انجام گیرد که به تعدادی از آنها اشاره می شود :

۱- کلیه آرماتورها از لحاظ قطر با نقشه کنترل شوند.

۲- فاصله آرماتورها از یکدیگر بازدید گردد. مخصوصاً در تیرهایی که داری سطح مقطع کم و آرماتور زیاد می باشند. زیرا اگر فاصله میلگردها مساوی نبوده و کم و یا زیاد باشند، سنگدانه های موجود در بتن از داخل آنها عبور نکرده و میلگردها بخوبی در بتن غرق نمی شوند. در نتیجه چسبندگی بتن و فولاد بخوبی انجام نمی گیرد.

۳- خم کلیه آرماتورها کنترل شود.

۴- محل استقرار کلیه آرماتورها با توجه به اینکه در محل کششی قرار دارند و یا فشاری کنترل شود.

۵- فاصله میلگردها با انتها و کناره های قالب کنترل شود. زیرا این فاصله فوق العاده حائز اهمیت است و در صورتیکه با توجه به آیین نامه ها و نقشه های اجرایی به اندازه کافی نباشد، ممکن است میلگردها در معرض عوامل محیطی و خورندگی واقع شوند و عمر مفید آنها کاهش پیدا کند.

۱-۴-۲ بازدید از قالب بندی :

برای قالب بندی نیز مانند آرماتور بندی باید نقشه جداگانه بازدید تهیه شود که به مواردی از آنها اشاره می شود :

۱- کلیه درزها و محل برخورد قطعات قالبها بازدید گردد. مخصوصاً درزبندی قالبها باید با دقت بیشتری انجام شود. زیرا معمولاً نجارها قالب بندی دور سقفها را در آخرین ساعات قبل از بتن ریزی انجام می دهند و این کار با دقت کمتری صورت می پذیرد و ممکن است مقداری شیره بتن (دوغاب سیمان) از محل درزها خارج گردد.

۲- شاقولی بودن کلیه پایه ها قبل از بتن ریزی کنترل شود.

۳- سطوح قالب باید از هر گونه خار و خاشاک و کلیه مواد خارجی پاک شود. زیرا اینگونه مواد علاوه

بر اینکه ریزدانه های بتن را زیاد می کند در چسبندگی فولاد و بتن نیز اثر منفی دارد.

۴- در صورتیکه از قالبهای آجری استفاده می شود، برای آنکه آجر آب بتن را خشک نکند، تمهیدات لازم فراهم گردد.

۱۰-۴-۳ بازدید تجهیزات :

معمولاً در کارگاههای کوچک، بتن را بطور آماده از مراکز تهیه بتن مورد استفاده قرار می دهند. در بعضی از کارگاهها که مجهز به بتونیر و سایر دستگاههای مورد نیاز می باشند، بتن را در محل کارگاه تهیه می نمایند. در اینصورت باید به نکات زیر توجه کرد :

۱- ماشینهای بتن سازی و دستگاههای توزین آن و همچنین منابع آب کنترل شوند.

۲- در صورتیکه میزان شن و ماسه مورد نیاز به مدت زیادی در محل باقی مانده باشد، ممکن است روی آن مقدار زیادی خار و خاشاک جمع شده باشد. در اینصورت باید قبل از بتن ریزی قسمت رویه شن و ماسه را جدا کرده و برای محلهای کم اهمیت تر مانند ملات سازی استفاده کرد.[۲۲]

۱۰-۵ بتن ریزی :

مواردی که باید در هنگام بتن ریزی کاملاً مورد بررسی قرار گیرند، در بدست آورن بتن مطلوب بسیار حائز اهمیت است که در ادامه به مواردی از آن اشاره می کنیم :

۱- قبل از بتن ریزی، قالبهای همان قسمت با آب مرطوب شوند. میزان آب باید به اندازه ای باشد که فقط قالبها را مرطوب کرده و مانع مکیدن آب بتن بوسیله قالب شود. در صورتیکه این آبپاشی بیش از حد مطلوب باشد، آب در قالب جمع شده و موجب روانی ناخواسته بتن در همان قسمت می شود.

۲- در هنگام بتن ریزی باید حتی المقدور بتن در سطح ریخته شود و از کپه شدن بتن بصورت مخروط جلوگیری گردد. زیرا در اینصورت درشت دانه ها روی مخروط غلطیده و از آن جدا می شوند.

۳- حتی المقدور عبور و مرور کارگران از روی آرماتورهای بسته شده کمتر باشد و هر قدر که ممکن است کمتر جا به جا شود، زیرا در هر جا به جایی در دانه بندی آن تغییر حاصل خواهد شد.

۱۰-۵-۱ آب انداختن بتن :

اغلب مشاهده می شود که در هنگام بتن ریزی مخصوصاً در بتن ریزیهای با ضخامت زیاد، مقداری

آب روی بتن جمع می شود. اکثر قریب به اتفاق کارگران صنعت ساختمان در ایران مخصوصاً کارگران بتن ساز، آب انداختن بتن را یکی از موارد سخت شدن بتن تلقی می کنند و حتی اگر آب نینداخته باشد، در اثر ماله کشی سعی می کنند، روی سطح بتن آب انداختگی ایجاد کنند. ولی در حقیقت آب انداختن بتن در اثر عدم هماهنگی میان دانه ها می باشد. بدینگونه که سنگدانه ها، مخصوصاً درشت دانه ها قادر به حفظ موقعیت مکانی خود نبوده، در اثر وزن خود و همچنین مساعد بودن محیط ته نشین می شوند. در نتیجه نمی توانند آب اطراف خود را حفظ نمایند و این آب بواسطه مویرگهای موجود در قطعه به سمت بالا حرکت می کنند و در حین صعود مقداری دوغاب سیمان و ریزدانه های بتن را به سمت بالا حرکت می دهند.

آب انداختن بتن در مقاومت نهایی آن نیز تأثیر منفی دارد. این عمل باعث می شود :

۱- لایه های پایین بتن، خشک تر شده و لایه های بالا، پر آب تر شوند. در نتیجه علاوه بر آنکه در لایه های مختلف بتن عدم هماهنگی ایجاد می شود، ممکن است فولادهای موجود در قسمت خشک کاملاً در بتن غرق نشده و روی چسبندگی فولاد و بتن اثر منفی بگذارد.

۲- سیمان لایه های پایین تر، کمتر می شود. در نتیجه پراکندگی دانه های سیمان در کل مخلوط یکنواخت نخواهد بود.

۳- نسبت آب به سیمان در لایه های مختلف قطعه یکنواخت نخواهد بود.

۴- در قطعه بتنی تا چند میلیمتر و حتی تا ۱/۵ سانتی متر لایه ای سست و ناپایدار ایجاد می گردد (آب سطح بتن تبخیر شده و پس از تبخیر آب، پودر سیمان به صورت دانه های جدا از هم و سست روی سطح باقی می ماند) و در صورتیکه روی سطح آب انداخته شده باز هم بتن ریزی شود سطحی سست و متخلخل بین لایه های بتن ایجاد می گردد که در مقابل نیروهای وارده بسیار ضعیف است.

۵- حرکت آب از سطوح پایین به طرف بالا در قطعه مویرگهای عمودی و هم جهت ایجاد می کند که کل قطعه را متخلخل کرده و اگر قطعه در مجاورت آبهای سولفاته باشد، محیط را برای سولفاته شدن و خورندگی بتن و مخصوصاً فولاد مهیا می نماید.[۱۷]

۱۰-۶ بتن ریزی در شرایط آب و هوایی مختلف :

۱۰-۶-۱ بتن ریزی در هوای بارانی :

اگر بتن آنقدر سخت شده باشد که بتواند شکل هندسی خود را در زیر ضربات شدید باران حفظ کند ، یعنی تقریباً حدود ۲ تا ۲/۵ ساعت بعد از بتن ریزی، ریزش باران هیچگونه آسیبی نمی تواند به بتن وارد نماید. ولی اگر بتن سخت نشده باشد و هنوز به حالت سیال باشد و باران شروع به ریزش نماید، ضربات باران روی بتن اثر نامطلوب می گذارد. از جمله این اثرات نامطلوب عبارتند از :

۱- آب باران در بتن نفوذ کرده و آن را روان تر می نماید و باعث افزایش نسبت آب به سیمان می گردد. از طرفی باعث می شود تا سطح بالایی بتن که بیشتر در معرض سایش و رفت و آمد و یا عوامل جوی می باشد، سست تر از قسمتهای درونی شود.

۲- جاری شدن آب باران روی بتن سخت نشده، دوغاب سیمان و ریزدانه ها را شسته و از محیط خارج می نماید. در نتیجه درشت دانه ها در سطح نمایان شده و به بتن شکل نامطلوبی می دهد.

۳- در صورت شدید بودن باران ممکن است، ضخامت بتن تقلیل یابد و حتی تا چند سانتی متر از آن را از بین ببرد.

۱۰-۶-۲ بتن ریزی در هنگام وزش باد :

در صورت وزش بادهای شدید آب سطح بتن خشک می شود و اگر فوراً اقدام به آبپاشی روی آن ننماییم و یا بتن از لحاظ روانی به حالتی نباشد که بتوانیم روی آن آبپاشی کنیم (بتن قبل از سخت شدن خشک شده باشد)، ممکن است فعل و انفعالات شیمیایی در سطح بتن متوقف شده و موجب پوکی قسمت رویه بتن شود و همچنین در اثر خشک شدن سطح و انقباض آن، روی بتن ترکهای پیش بینی نشده بوجود آید.

اگر در حین بتن ریزی وزش بادهای شدید شروع شود، باید روی آن را بوسیله نایلون پوشانید و اگر نایلون در دسترس نباشد باید نسبت به مرطوب نگه داشتن سطح بتن دقت بیشتری به عمل آورد.

۱۰-۶-۳ بتن ریزی در هوای سرد :

در هوای سرد و یخبندان آب موجود در بتن یخ می زند و می دانیم که آب در اثر یخبندان ازدیاد حجم پیدا می کند و در بتنی که در اثر سرما تمایل به جمع شدن دارد، انبساط ایجاد می نماید که

خود موجب بوجود آمدن ترکهای سطحی و عمقی در بتن می گردد. پس از ذوب شدن یخ، بتن از لحاظ حجم به حالت اولیه بر نمی گردد و در همان حالت انبساطی که در اثر انجماد آب در آن بوجود آمده است، شروع به سخت شدن می نماید و با توجه به اینکه در حرارتهای پایین روند سخت شدن بتن بسیار کند است و از طرفی ممکن است در روزهای زمستان حرارت محیط در شب به زیر صفر برود و در روز چند درجه سانتی گراد بالای صفر باشد، لذا قطعه بتنی ریخته شده تا سخت شدن کامل، ممکن است چندین بار در مقابل هجوم یخبندان و ذوب قرار گیرد. تجربه نشان داده است که ازدیاد حجم در قطعات بتنی در هنگام یخبندانهای مکرر حالت ازدیاد حجم تجمعی داشته و در نتیجه اثرات تخریبی آن بسیار زیاد است. زیرا در این حالت با ازدیاد حجم و وزن ثابت، وزن مخصوص بتن به شدت پایین آمده و نمی تواند بارهای وارده را به راحتی تحمل نماید.

۱۰-۶-۴ بتن ریزی در هوای گرم :

با توجه به اینکه سیمان در مجاورت آب و در زمان سخت شدن حرارت تولید می کند، اگر بتن ریزی انبوه باشد و محیط نیز گرم باشد، حرارتهای ایجاد شده می تواند آسیب های اساسی به سازه وارد نماید. در صورتیکه بتن در هوای گرم مراقبت نشود، بزودی آب سطح بتن خشک شده در حالیکه مغز آن هنوز مرطوب است. در نتیجه تفاوت تغییر حجم در بتن خشک و تر (رویه و مغز قطعه) روی آن ترکهایی ایجاد می کند که ممکن است این ترکها عمیق باشد و به مقاومت بتن آسیب برساند.

بهترین درجه حرارت برای بتن ریزی ۱۰ تا ۲۰ درجه سانتی گراد است. بعضی از آیین نامه ها بهترین درجه حرارت را ۱۰ تا ۱۶ درجه سانتی گراد پیشنهاد نموده اند. البته میزان رطوبت نیز در اعداد فوق مؤثر است. تا حرارت ۳۸ درجه نیز می توان به بتن ریزی ادامه داد.[۱۵]

۱۰-۷ نگهداری و مراقبت از بتن :

بسیاری از آیین نامه ها به نگهداری از بتن توجه مخصوص نموده و به لزوم رعایت آن فوق العاده اهمیت می دهند. تا جاییکه می توان گفت تمام دقتهای لازم در تهیه مصالح خوب، دانه بندی صحیح و بالاخره مصرف سیمان مناسب در حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد مقاومت بتن را تأمین می کند و ۳۰ تا ۴۰ درصد آن مربوط به نگهداری و مراقبت از بتن ریخته شده در سنین مختلف می باشد. این مراقبتها بعد از بتن ریزی شروع شده و تا پایان عمر قطعه ادامه دارد.[۱۸]

مراقبت از بتن تازه مخصوصاً در ساعات اولیه باید با دقت بیشتری انجام شود و تا ۴ هفته اول، بتن همیشه باید تحت مراقبت قرار گیرد.

نگهداری از بتن را می توان به دو قسمت کاملاً مجزا تقسیم کرد :

۱- مراقبت کوتاه مدت ۲- مراقبت بلند مدت

۱-۷-۱۰ مراقبت کوتاه مدت :

می توان گفت که تقریباً اکثر قریب به اتفاق آیین نامه ها برای مراقبت از بتن از زمانیکه در قالب خود قرار می گیرد تا ۴ هفته اول اهمیت زیادی قائل هستند. این مراقبتها که از ساعات اولیه بتن ریزی یا بهتر بگوییم دقایق اولیه بتن ریزی شروع می شود، به شرح زیر است :

۱- ویبره کردن ۲- شمشه کشی ۳- ماله کشی ۴- آب دادن ۵- نایلون کشی ۶- قالب برداری

۱- ویبره کردن : به محض آنکه بتن در قالب خود جای گرفت، باید نسبت به ویبره کردن آن اقدام کرد. اما لازم به ذکر است که ویبره کردن بتن مقدار و زمان معینی دارد که عمدتاً توسط کارگران ماهر بتن ریز قابل تشخیص می باشد. برای داشتن بتنی یکپارچه و تو پر و عاری از هوا و همچنین بتنی که دارای کارایی مطلوب باشد، ناگزیر از ویبره کردن آن هستیم. ولی باید توجه نمود که ویبره کردن غیر فنی و بیش از اندازه بتن علاوه بر اینکه در قطعه بهبودی ایجاد نمی کند، بلکه موجب بهم خوردن دانه بندی آن می شود. از طرفی در اثر ویبره کردن نادرست، آب انداختن بتن به مقدار زیادی افزایش می یابد.

۲- شمشه کشی : پس از آنکه بتن ویبره شد و قبل از آنکه شروع به سخت شدن نماید، توسط شمشه سطح آن را تسطیح می کنند. این عمل توسط کارگران بتن ریز صورت می پذیرد. در صورتیکه کارگران بتن ریز از مهارت کافی برخوردار نباشند، شمشه کشی غلط و نادرست می تواند باعث برهم خوردن یکنواختی و حتی تغییرات در مقاومت بتن نهایی شود.

۳- ماله کشی : پس از شمشه کشی و تسطیح بتن، روی آن را ماله کشی می نمایند. در مورد ماله کشی نیز باید توجه کرد که در صورتیکه این عمل بصورت نادرست و در زمان بیش از اندازه انجام شود، مشکلاتی را برای بتن به همراه خواهد داشت. اصولاً نباید با بتن بیش از اندازه بازی کرد. این

عمل باعث آب انداختن بتن و جا به جایی دانه ها و دوغاب سیمان می شود. ماله کشی باید هنگامی که سطح درخشنده آب انداختگی ظاهر شد متوقف شود.

۴- آب دادن : یکی از مهمترین عواملی که در نگهداری بتن باید مدنظر قرار گیرد، مرطوب نگه داشتن سطح خارجی آن است. آب پاشی یا آب دادن بتن از زمانی شروع می شود که سختی بتن بتواند تحمل وزن یک نفر کارگر را بنماید.

ساده ترین و متداولترین و غیر فنی ترین وسیله مرطوب نگه داشتن سطح بتن، آب پاشی روی سطح بتن توسط شلنگ آب می باشد. آب پاشی توسط شلنگ آب باید به دفعات مکرر انجام گیرد. بطوریکه هیچوقت و هیچ نقطه از سطح بتن خشک نشود. در مواقعی نیز که باد با سرعت بیشتری می وزد، واضح است که شدت تبخیر سطحی افزایش می یابد. در این هنگام مرطوب نگه داشتن سطح بتن و آب پاشی روی آن باید با زمانهای کوتاه تری انجام گردد.

برای آب دادن به بتن باید تا جایی که ممکن است از آبی استفاده گردد که دمای آن تقریباً مساوی دمای بتن است. زیرا استفاده از آب سردتر و یا گرمتر موجب تغییر دمای ناگهانی بتن گشته و در اثر انقباض یا انبساط سریع در آن تنشهای داخلی ایجاد می گردد و موجب ایجاد ترکهای پیش بینی نشده در بتن می شود.[۲۲]

برای آب دادن بتن در آیین نامه های مختلف روشهای متفاوتی پیش بینی شده است که با توجه به شرایط کارگاهی می توان از این روشها برای آب دادن بتن استفاده کرد.

۱۰-۷-۲ نگهداری بلند مدت :

همانطور که می دانیم قسمت اعظم آبی که برای ساختن بتن به آن اضافه می شود، در روند سخت شدن سیمان و بتن اثری نداشته و فقط برای روانی بتن و جادادن آن در قالب مورد استفاده قرار می گیرد و پس از مدتی نه چندان طولانی تبخیر شده و جای آن بصورت مویرگهایی در بتن باقی می ماند. حال اگر قطعه مورد نظر در معرض آبهای نمک دار واقع شود، آب از این مویرگها و همچنین سایر خلل و فرج های احتمالی به داخل قطعه نفوذ کرده و به فولاد داخل قطعه حمله ور خواهد شد. لذا در اینگونه مناطق که شدت خورندگی بالا است، باید تدابیر مخصوصی در نظر گرفته شود.

در مورد نگهداری بتن در بلند مدت می توان گفت که مراقبت از یک سازه بتنی تا آخر عمر بتن

ادامه دارد و مبرهن است که هر چه در طول عمر بتن بازدیدهایی برای بررسی نحوه رفتار بتن و شرایط کیفی آن صورت بپذیرد، باعث می شود تا سازه بتنی دارای حداکثر عمر مفید مد نظر باشد و از کارایی و دوام خوبی برخوردار باشد.

۱۰-۸ عوامل مؤثر در مراقبت از بتن :

عواملی نظیر سرعت باد، میزان تبخیر سطحی، دمای مخلوط بتن هنگام بتن ریزی، رطوبت محیط و دمای آن عواملی می باشند که روی یکدیگر اثر متقابل خواهند داشت. چنانچه میزان تبخیر سطحی بیش از یک کیلوگرم بر متر مربع در ساعت باشد، در اینصورت برای جلوگیری از تبخیر باید تدابیر خاصی را اتخاذ نمود.سرعت آبگیری و هیدراسیون سیمان با تغییر دما تغییر می کند، بطوریکه در ۱۰ درجه سلسیوس سرعت آبگیری بسیار کند و در ۱۰۰ درجه سلسیوس بسیار سریع می باشد. اصولاً در دمای کمتر از ۱۰ درجه سلسیوس گیرش دچار اختلال شدید شده و سرعت آن بسیار کم می شود.

۱۰-۹ مدت مراقبت :

مدت مراقبت به عواملی نظیر نوع سیمان، مقاومت مورد نظر، نسبت سطوح نمایان به حجم، شرایط آب و هوایی به هنگام ساخت، ریختن بتن و در نهایت شرایط رویارویی[1] بستگی دارد.

نگهداری بتن در محیطی که باران نبارد، رطوبت زیاد نباشد، درجه حرارت کم باشد و بتن در تماس با خاک مرطوب قرار نگیرد «نگهداری معمولی» تلقی می شود. در شرایط معمولی و هنگامی که دمای محیط کمتر از ۱۰ درجه سلسیوس است، برای رسیدن به مقاومتهای مورد نظر و دوام مطلوب، با توجه به نوع سیمان مصرفی باید زمان عمل آوردن را تعیین نمود.

از جمله مواردی که در تعیین مدت زمان مراقبت از سازه بتنی مؤثر است، می توان به نوع سازه نیز اشاره کرد :

الف- دالها : در دلهای بتنی بعلت زیاد بودن سطح نسبت به حجم بتن، تبخیر سطحی به هنگام گیرش اولیه بسیار زیاد است. در صورت عدم رعایت اصول صحیح نگهداری، ترکهای ناشی از جمع شدگی پلاستیک در سطح بتن ایجادمی شود. حداقل زمان مراقبت و عمل آوردن دالها، در صورتیکه

---

1 -Exposure Conditions

متوسط دمای روزانه بالاتر از ۵ درجه سانتی گراد باشد، کمترین دو مقدار زیر است :

- ۷ روز

- زمان لازم برای کسب ۷۰ درصد مقاومت فشاری یا خمشی خواسته شده

ب-اعضاء و قطعات سازه ای : در مورد قطعات سازه ای مانند دیوارها ، ستونها ، دالها و تیرها نیز مراقبت مطابق نوع سازه حائز اهمیت می باشد. در صورتیکه متوسط دمای محیط بالای ۵ درجه سانتی گراد باشد کمترین زمان مراقبت مانند دالها می باشد.

ج- بتن های پیش ساخته : منظور از قطعات پیش ساخته، قطعاتی نظیر لوله، بلوک، تیر با مقاطع U ، T، پانل و مانند آنها می باشد. در عمل آوردن این قطعات برای باز کردن سریع قالبها و تخلیه کارگاه ساخت، غالباً از روشهای عمل آوردن تسریع شده استفاده می شود.[۲۲]

فصل یازدهم

ضوابط پذیرش بتن در آیین نامه های مختلف

۱۱-۱ مقدمه :

در بسیاری از کارگاههای ساختمانی در ایران مخصوصاً کارگاههای کوچک، وسایل آزمایشگاهی وجود ندارد و اصولاً بتن مورد استفاده را تحت آزمایش قرار نمی دهند و به گفته فروشندگان بتن در مورد میزان سیمان، آب و دانه بندی اکتفا نموده و بر این باورند که بتن کاملاً مرغوب و استانداردی را مورد استفاده قرار می دهند. ولی به فرض درست بودن این باور می باید، بعضی از آزمایشها روی بتن، حتی بتنهای مرغوب انجام گرفته و نتایج در حین کار به اطلاع مهندس ناظر و مخصوصاً مهندس محاسب برسد تا اگر بر اساس نتایج آزمایشگاهی می باید تغییراتی در ابعاد قطعات سازه و یا در طراحی بتن داده شود، هر چه زودتر اقدام گردد.

به عنوان مثال در اغلب روشهای محاسباتی که در ایران متداول است به محاسب اجازه می دهد تا ۲۱۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بار فشاری روی بتن بگذارد. نمونه های آزمایشگاهی چنین بتنی باید در حدود ۳۵۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بار فشاری را تحمل نماید. ولی عملاً به خاطر ضعف اجرا و عدم دانه بندی صحیح سنگدانه ها و یا خوب مخلوط نشدن بتن و یا مصرف آب بیش از حد و یا سایر عوامل، بتن چنین باری را نمی تواند تحمل کند. در اینصورت دو راه وجود دارد، یا باید در هنگام محاسبه، مهندسین محاسب آنقدر ضریب اطمینان را بالا ببرند تا سازه با هر نوع بتن و در هر شرایط بتواند بارهای وارده را تحمل نماید و این کاری است که اغلب مهندسان محاسب در ایران انتخاب نموده و به جای ۲۱۰ کیلوگرم تنها در حدود ۱۲۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع روی سازه بارگذاری

می کنند که از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست و یا می باید طبق استانداردهای معمول، بتن مورد استفاده آزمایش شده و نتایج آن مورد بررسی قرار گیرد.[۱۸]

لازم به یادآوری است که همیشه نتایج شرایط نگهداری آزمایشگاهی نمونه ها در حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد از نتایج شرایط کارگاهی بهتر پاسخ می دهد.

در این فصل به منظور بررسی چگونگی پذیرش بتن کارگاهی، عوامل مؤثر بر مقاومت نهایی آن در هنگام انجام آزمایشهای لازم و همچنین میزان مقبولیت آن، ابتدا اشاره مختصری به آزمایشهایی که بر روی بتن کارگاهی صورت می پذیرد، خواهیم داشت و سپس ضوابط پذیرش بتن در آیین نامه های مختلف را مورد ارزیابی قرار خواهیم داد و عواملی را که در این آزمایشها و کنترلها بر نتایج بدست آمده و نیز چگونگی تصمیم گیری در مورد سازه بتنی مؤثر می باشند، بررسی می نماییم.

۲-۱۱ نمونه برداری :

منظور از طریقه نمونه برداری از هر مصالح ساختمانی انتخاب نمونه هایی برای آزمایش است که نماینده کل توده مصالح مورد نیاز می باشد. در مورد نمونه برداری از بتن نیز باید همین گونه عمل شود و نمونه های انتخابی باید ویژگی کل توده را دارا باشد. در این راستا آیین نامه های مختلف دستورالعملهایی را پیشنهاد نموده اند.

برای نمونه برداری از تراک میکسر، باید زمان تخلیه کل بتن را از تراک میکسر تعیین نموده و تعداد نمونه های انتخابی را نیز معین کرد.آنگاه در هنگام تخلیه بتن با زمانهای مساوی اقدام به نمونه برداری کرد. برای نمونه برداری از بتن ریخته شده روی زمین که اغلب به صورت مخروط در می آید باید، ۵ یا ۶ محل را برای نمونه برداری در نظر بگیریم. محلهای انتخابی بهتر است که کناره های پایین مخروط بتنی نباشد، زیرا ممکن است در آن محلها تجمع درشت دانه ها بیشتر باشد. همچنین از بتن نزدیک به سطح زمین نیز نباید نمونه برداری شود، زیرا ممکن است مقداری از شیره بتن توسط زمین مکیده شده باشد. باید کلیه نمونه ها از نقاط مختلف وسط توده انتخاب گردد. نمونه های مربوطه حتماً باید بوسیله بیلچه های مخصوص نمونه برداری جدا شده و از بیل معمولی نباید استفاده گردد. لازم به ذکر است که بیلچه های مخصوص نمونه برداری به گونه های طراحی شده اند که

کلیات محتویات خود را حفظ کرده و مانع جدا شدن دانه ها از یکدیگر می شوند، در صورتیکه ممکن است در موقع استفاده از بیلهای معمولی مقداری از درشت دانه ها از لبه بیل سقوط نمایند.

سطل و بیلچه و سایر وسایل آزمایشگاهی باید قبلاً مورد بازدید قرار گرفته و کاملاً تمیز باشند و عاری از بتن های خشک شده از آزمایشهای قبلی باشند.

سطح داخلی کلیه لوازم باید قبل از شروع کار بوسیله آب ساده و تمیز مرطوب گردد. زیرا تر شدن وسایل آزمایش توسط دوغاب سیمان موجود در نمونه ممکن است، روی نسبت آب به سیمان اثر گذاشته و نتایج گمراه کننده‌ای را ارائه دهند. در هنگام مرطوب کردن وسایل باید توجه داشت که از تجمع آب حتی چند قطره در درون ظرفها جلوگیری شود، زیرا این مقدار آب با توجه به حجم کم نمونه می تواند روی نسبت آب به سیمان اثر بگذارد.

انجام آزمایش باید بلافاصله بعد از آماده شدن نمونه ها شروع شود، زیرا اگر بین حاضر شدن نمونه و انجام آزمایش فاصله زمانی باشد ممکن است، اولاً مقداری از آب نمونه تبخیر شده و روی نسبت آب به سیمان اثر بگذارد و در ثانی ممکن است در اثر گذشت زمان و ساکن ماندن، بتن شروع به سخت شدن نماید که در هر دو حالت نتایج بدست آمده گمراه کننده می باشد. حتی المقدور باید از تابیدن آفتاب و وزش باد روی نمونه جلوگیری شود و نیز آزمایشها در محیطی سقف دار و محصور انجام شود.

پس از نمونه برداری از بتن مورد نظر برای تعیین میزان کیفیت و مشخصات بتن کارگاه آزمایشهایی مطابق استانداردهای آیین نامه بر روی آن صورت می پذیرد که این آزمایشها را می توان به دو بخش آزمایشهای بتن تازه و بتن سخت شده تقسیم بندی نمود. آنچه در ادامه این تحقیق مورد نظر می باشد آزمایش مربوط به بتن سخت شده برای مشخص کردن مقاومت فشاری بتن می باشد. لذا از بحث در مورد آزمایشهای بتن تازه صرفه نظر می کنیم و تنها به آزمایشهای مربوط به بتن سخت شده می پردازیم.[۱۸]

۳-۱۱ آزمایش بتن سخت شده :

اگر روی بتن آزمایشی صورت می پذیرد، به منظور آن است که این آزمایش را که روی قطعه کوچکی به حجمی در حدود چند سانتی متر مکعب انجام می پذیرد، برای کل مجموعه که حجم آن ممکن است صدها متر مکعب باشد تعمیم دهیم. بدین لحاظ اگر در طریقه انجام آزمایش از ابتدای

نمونه برداری تا انتهای کار کوچکترین بی دقتی به عمل آید، نتایج آزمایش گمراه کننده خواهد بود و در نتیجه تصمیم گیری غلط بر روی کل مجموعه، ممکن است خسارات جبران ناپذیری را بوجود آورد، لذا برای تهیه نمونه و پر کردن قالب و عمل آوردن آن، استانداردهای مهم دنیا دستورالعملهایی را صادر نموده اند. از جمله مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران نمونه برداری و پر کردن قالب را به موجب استاندارد شماره ۳۲۰۵ و ۵۸۱ استاندارد نموده است که در استاندارد ۵۸۱ بیشتر به نوع مصالح نمونه توجه گردیده و در استاندارد ۳۲۰۵ بیشتر دستورها متوجه پر کردن قالب، ویبره کردن و نگهداری آن است.

۱۱-۴ آزمایش تعیین مقاومت فشاری :

اصلی ترین و مهمترین خاصیت بتن تحمل آن در مقابل نیروهای فشاری است. زیرا در طراحی سازه های بتن آرمه فرض بر این است که کلیه نیروهای فشاری ساختمان را بتن تحمل می نماید. بهمین دلیل آزمایش تعیین مقاومت فشاری بتن یکی از مهمترین و اساسی ترین آزمایشاتی است که باید روی بتن انجام شود و نتایج آن بسیار حائز اهمیت می باشد.

انجام این آزمایش بعلت سهولت اجرا و لوازم کمی که نیاز دارد، در هر کارگاهی ممکن است. این آزمایش بلافاصله پس از خروج نمونه از اتاق مرطوب صورت می پذیرد.

ASTM برای رواداری (تلورانس) زمان آزمایش محدودیتهای زیر را تعیین نموده است.

برای آزمایش نمونه ۲۴ ساعته ← حداکثر ۰/۵ ± ساعت

برای آزمایش نمونه ۳ روزه ← حداکثر ۲ ± ساعت

برای آزمایش نمونه ۷ روزه ← حداکثر ۶ ± ساعت

برای آزمایش نمونه ۲۸ روزه ← حداکثر ۲۰ ± ساعت

برای آزمایش نمونه ۹۰ روزه ← حداکثر ۴۸ ± ساعت

قبل از انجام آزمایش باید از مسطح بودن سطوح فوقانی و همچنین از گونیا بودن سطوح جانبی آن مطمئن شویم. در صورتیکه سطوح فوقانی و تحتانی نمونه بیش از ۰/۰۵ میلیمتر ناهمواری داشته باشند باید با بتونه مسطح شوند، زیرا ناهمواریهای موضعی در زیر فشار، در قطعه تمرکز تنش ایجاد

کرده و موجب گسیختگی زودرس آن می گردند. بطوریکه یک ناهمواری ۰/۵ میلیمتری می تواند مقاومت نمونه را ۶۰ تا ۷۰ درصد کاهش دهد و در آن گسیختگی زودرس ایجاد نماید.

تعیین و تشخیص صافی سطح نمونه به میزان ۵۰ میکرون با چشم مقدور نیست و باید حتماً در آزمایشگاه بوسیله دستگاههای مخصوص که به آن اصطلاحاً فیلر می گویند انجام شود. لذا کلیه نمونه ها قبل از انجام آزمایش باید بتونه شوند. زیرا با ابزاری مانند ماله بنایی و قالب فلزی نمی توان سطحی هموار با دقت ۵۰ میکرون را بوجود آورد.

قبل از آنکه نمونه مورد آزمایش روی سکوی دستگاه پرس قرار گیرد، باید سطوح تماس دستگاه با نمونه کاملاً تمیز شده و عاری از هر گونه گرد و خاک و یا دانه های ریز ماسه باقی مانده از آزمایش قبل باشد. زیرا وجود ذرات ریز ماسه روی سکوهای دستگاه پرس موجب ایجاد فشار موضعی و گسیختگی زودرس نمونه می گردد که با حقیقت منطبق نیست.

با توجه به اینکه هیچوقت نتایج بدست آمده از مقاومتهای نمونه نگهداری شده در شرایط آزمایشگاهی مطابق آنچه که در کارگاه واقع می شود نیست و همچنین نمی توان درصد معین و مشخصی برای ارتباط مقاومت آزمایشگاهی و کارگاهی ارائه نمود، لذا همیشه در عمل درصد معینی از مقاومتهای نتیجه شده در آزمایشگاه را در محاسبات وارد می کنند که این درصد با توجه به مصالح مصرفی و تجربه حاصل می شود.

لازم به ذکر است که همیشه شرایط آزمایشگاهی استاندارد شده و ثابت است ولی عوامل نگهداری بتن در کارگاه متغیر می باشد، بطوریکه حتی شرایط نگهداری در یک قسمت سازه با قسمت دیگر از همان سازه که در یک روز بتن ریزی شده اند، می تواند متفاوت باشد. بطور مثال اگر فرض شود که کلیه قسمتهای سازه بتنی بصورت یکنواخت آب پاشی شده و مرطوب نگهداری می شوند، ولی در معرض باد و یا تابش خورشید، قسمتی از سازه زودتر خشک شود، ممکن است مقاومت آن قسمت کاهش یابد.

۵-۱۱ ضوابط پذیرش بتن در آیین نامه های مختلف :

در گذشته و حتی در بعضی مواقع امروزه، آیین نامه های بتن مقدار نسبتهای سیمان و سنگدانه های ریز و درشت را برای یک بتن با مقاومت معین مورد بررسی قرار می دادند. اما به علت متغیر

بودن جنس مواد متشکله مخلوط، بتنهایی کـه دارای نسـبتهای سـیمان بـه سـنگدانه معـین بـوده و همچنین داری کارایی مشخص هستند، به میزان وسیعی به لحاظ ایجاد مقاومت متغیرند. لـذا امـروزه شرط حداقل مقاومت فشاری در بسیاری از آیین نامه ها گنجانده شده است. ولـیکن در مـواردی کـه مصالح با کیفیت عالی در دسترس باشند، این امر سبب می گردد که آیین نامه ها دست و پاگیر شـده و در شرایط دیگر امکان دارد که نتوان با مخلوطهای توصیه شده مقاومـت مـورد نیـاز را بدسـت آورد. بهمین دلیل است که بعضی مواقع بندهایی که توصیه کننده دانه بندی سنگدانه ها و شـکل دانـه هـا می باشد به الزامات دیگر اضافه شده است. اما توزیع سنگدانه طبیعی در بسیاری از کشورها به نحـوی می باشد که این محدودیتها اغلب از لحاظ اقتصادی قابل توجیه نمی باشند. علاوه بـر ایـن، نسـبتهای مخلوط، شکل و دانه بندی سنگدانه ها جایی برای رعایت شرط اقتصادی بودن طرح بـتن بـاقی نمـی گذارد و پیشرفت در زمینه تولید مخلوطهای ارزان قیمت و رضایت بخش بتن بر مبنای خـواص آن را غیر ممکن می سازد.

لذا تعجب آور نیست که در آیین نامه های جدید تمایل بر این باشد که کمتر محدود کننده به نظـر برسند. بهمین دلیل در این آیین نامه ها مقادیر حدی تعیین گردیده است، اما بعنـوان راهنمـا، اغلـب نسبتهای مخلوطهای شناخته شده نیز برای استفاده پیمانکارانی که نمی خواهند درجه کنترل بـالایی را اعمال نمایند داده شده است. مقادیر حدی ممکن است تعدادی از خواص را شامل شوند که معمولی ترین آنها عبارت است از :

۱- حداقل مقاومت فشاری لازم از لحاظ محدودیتهای سازه ای

۲- حداکثر نسبت آب به سیمان و یا حداقل سیمان و در بعضی شرایط جوی حداقل میزان حباب هوا برای ایجاد دوام کافی

۳- حداکثر مقدار سیمان در بتن برای جلوگیری از ایجاد ترک در اثر سیکلهای حرارتی در بتن

۴- حداکثر مقدار سیمان برای جلوگیری از ترکهای جمع شدگی در شرایطی که بتن در معرض هوا با رطوبت خیلی کم قرار می گیرد.

۵- حداقل وزن مخصوص برای سدهای وزنی و سازه های مشابه

این الزامات مختلف باید در محاسبا ت طرح بتن رعایـت شـوند و در حقیقـت اسـاس انتخـاب مـواد متشکله مخلوط را تشکیل می دهند.

آیین نامه انگلیسی «روشهای کارگاهی برای استفاده بتن در سازه ها» به شماره CP110 : 1972 بیشتر از آیین نامه های قبلی خود در جهت مخلوطهای طرح شده فعالیت نموده است. امروزه این مخلوطها عملاً استاندارد شده اند و مخلوطهای توصیه شده را فقط می توان برای کارهای خیلی کوچک، در مواردیکه مقاومت بتن از 30 MPa تجاوز نمی کند و در مواردیکه حباب هوا در بتن ایجاد نمی شود بکار برد. در اینگونه موارد هیچگونه آزمایش کنترلی لازم نبوده و فقط بر کنترل وزنهای متشکله اعتماد می شود.

آیین نامه BS-328-1976 (که در مورد بتنهای پیش ساخته صدق نمی کند) مخلوطهای طراحی شده را توصیه می نماید. یعنی آنهاییکه عملکرد بتن توسط مصرف کننده مشخص می شود، ولی نسبتهای مخلوط توسط تولید کننده بتن تعیین می گردد، فقط با این استثناء که یک حداقل مقدار سیمان مشخص می شود.

به منظور تعین مشخصات بتن تولید شده در آیین نامه های مختلف از تعابیر متفاوتی استفاده می شود. برای مثال آیین نامه انگلیسی استفاده از بتن در سازه ها CP-110-1972 از مقاومت مشخصه بتن استفاده می نماید. طبق تعریف مقاومت مشخصه عبارت است از مقاومتی که بیش از ۹۵ درصد از نمونه های آزمایشگاهی این مقاومت را دارا باشند.

در استانداردهای سوئیسی ایده مقاومت اسمی بکار برده می شود. طبق تعریف این مقاومت عبارت است از مقاومتی که بیش از ۸۴ درصد از نمونه های آزمایشگاهی آن را دارا باشند.

روش برخورد آیین نامه های ساختمانی ۱۹۷۷ مؤسسه بتن آمریکا اصولاً بر مبنای دو لازمه زیر برای مقاومت حداقل ، $f_{c_{\min}}$ ، در رابطه با مقاومت متوسط ، f_c ، قرار دارد. اولاً احتمال ۱٪ وجود دارد که مقاومت متوسطه سه آزمایش (بصورت میانگین دو استوانه) پشت سر هم کمتر از مقاومت طرح باشد. ثانیاً احتمال ۱٪ وجود دارد که نتیجه آزمایش منفردی بیش از 3.5 MPa کمتر از مقاومت طرح باشد. بر حسب انحراف معیار σ_0 این دو لازمه را می توان بصورت زیر بیان نمود :

$$f_{c_{min}} = f_c + \frac{2.326\,\sigma_0}{\sqrt{3}}$$

(ACI 318-77)

$$f_{c_{min}} = f_c - 500 + 2.326\,\sigma_0$$

باید توجه داشت که هیچگونه قدرمطلق تعیین نگردیده است و این روش بر مبنای احتمالات قرار داشته و رعایت این الزامات با احتمال یک درصد، از مشخصات لاینفک این سیستم است. ولی این احتمال یک درصد نباید دلیلی برای رد بتن باشد. می توان اضافه نمود که در تمام روشها خطر رد و یا قبول وجود دارد و همیشه این دو خطر باید با قضاوت صحیح موازنه گردد.

وقتی که تعداد نتایج آزمایشگاهی کم است، تعیین یک نسبت معین از جوابها که می توانند غیرقابل قبول باشند عملی نیست. لذا آیین نامه (CP 144-1957) الزامی دانسته است که معدل نتایج سه مکعبی که در یک عمر معین آزمایش می شوند، نباید کمتر از حداقل تعیین شده باشد. اما نتایج منفرد مکعبها می تواند کمتر از حداقل باشد، بشرط آنکه اختلاف بین بیشترین و کمترین نتایج حاصله بیش از ۲۰ درصد معدل نتایج نباشد.

$$\overline{x}_3 \succ f_{c_{min}}$$

$$x_{1,2,3} \prec f_{c_{min}} \qquad if \qquad x_{max} - x_{min} \le 0.2\,\overline{x}_3 \qquad \text{(CP-114-57)}$$

الزامات دقیق آیین نامه ها متغیر است، برای مثال ممکن است آیین نامه ای الزامات زیر را تعیین نماید :

الف- معدل نتایج هر پنج آزمایش پشت سر هم نباید کمتر از حداقل مقدار تعیین شده باشد.

ب- نتایج ۹۰ درصد از کل آزمایشها بیش از حداقل تعیین شده باشد.

ج- نتیجه هیچ آزمایشی کمتر از ۸۰ درصد حداقل تعیین شده نباشد.

عبارت آخر بوضوح نشان می دهد که تجربه هر مهندس و درک مهندسی او باید مقدم بر کاربرد خشک نظریه های آماری باشد.

آیین نامه CP-110-1972 وقتی بتن را از لحاظ مشخصات مقاومت قابل قبول می داند که نتایج مکعبهای منفرد به نحوی باشد که :

الف- معدل نتایج هر چهار آزمایش پشت سر هم برای بتنهایی که مقاومت مشخصه آنها حداقل 20 MPa است به میزان 7.5 MPa بیش از مقاومت مشخصه باشد و یا برای بتنهای ضعیف تر به اندازه یک سوم مقاومت تعیین شده بیش از مقاومت مشخصه باشد.

ب- نتایج هیچ آزمایشی کمتر از ۸۵ درصد مقاومت مشخصه نباشد.

آیین نامه BS-5328-1976 به جای نتایج مکعبهای منفرد، استفاده از نتـایج یـک جفـت مکعـب را توصیه نموده است و لذا نتایج یک جفت مکعب یک جواب آزمایش را تشکیل می دهـد (ماننـد آیـین نامه *ACI*) و برای پذیرش بتن شرایط زیر را معین می کند :

الف- میانگین هر چهار آزمایش پشت سر هم برای بتنهای طبقه 20 MPa و یا طبقات بالاتر به انـدازه 3 MPa بیش از مقاومت مشخصه باشد و برای بتنهای طبقه 15 MPa و یا پایین تر به انـدازه 2 MPa بیش از مقاومت مشخصه باشد.

ب- برای بتنهای طبقه 20 MPa و یا بالاتر نتیجه هر آزمایش منفرد نبایـد بـیش از 3 MPa کمتـر از مقاومت مشخصه باشد. و در مورد بتنهای طبقه 15 MPa یا پایین تر ایـن اخـتلاف نبایـد بـیش از 2 MPa باشد.

در این تحقیق نمی توان مبانی پذیرش بتن را آنطور که شایسته است، مورد بررسـی قـرار داد ولـی چند نکته حائز اهمیت است :

۱- بدون آزمایش کلیه نمونه ها نمی توان دقیقاً مشخص کرد که بتن قابل قبول است یا خیر.

۲- هدف آزمایش این است که به نحو مناسب تعادلی بین خطر رد بتنهای قابل قبول و خطر پـذیرش بتنهای غیر قابل قبول برقرار نمود. این تعادل بستگی به دامنه آزمایشها و همچنین ضوابط بکـار بـرده شده دارد.[۱۷]

۱۱-۶ آیین نامه بتن ایران :

بند ۶-۵-۲ آیین نامه بتن ایران (آبا) مربوط به ضوابط پذیرش بتن برای نمونه های عمـل آمـده در آزمایشگاه، پذیرش بتن را منوط به شرایط زیر می داند :

۶-۵-۲-۱ مشخصات بتن در صورتی منطبق بر رده مورد نظر و قابل قبـول مـی باشـد کـه یکـی از شرایط زیر برقرار باشد :

الف - در آزمایش سه نمونه متوالی، مقاومت هیچکدام کمتر از مقاومت مشخصه نباشد :

$$x_{1,2,3} \geq f_c$$

ب - متوسط مقاومت نمونه ها حداقل ۱/۵ نیوتن بر میلیمتر مربع بیشتر از مقاومت مشخصه باشد و کوچکترین مقاومت نمونه ها از مقاومت مشخصه منهای ۴ نیوتن بر میلیمتر مربع کمتر نباشد :

$$\overline{x}_3 \geq f_c + 1.5$$

$$x_{\min} \geq f_c - 4$$

۶-۵-۲-۲ مشخصات بتن در صورتی غیر قابل قبول می باشد که متوسط مقاومتهای نمونه ها از مقاومت مشخصه کمتر باشد یا کوچکترین مقاومت نمونه ها از مقاومت مشخصه منهای ۴ نیوتن بر میلیمتر مربع کمتر باشد :

$$x_{min} \prec f_c - 4 \quad OR \quad \overline{x}_3 \prec f_c$$

۶-۵-۲-۳ مشخصات بتنی را که با توجه به شرایط بند (۶-۵-۲-۲) غیر قابل قبول نباشد، ولی مطابق شرایط بند (۶-۵-۲-۱ ب) قابل قبول هم به شمار نیاید، می توان به تشخیص طراح بدون بررسی بیشتر قابل قبول از نظر سازه ای تلقی کرد.

۱۱-۷ کنترل کیفیت :

کنترل کیفیت بتن، عبارت است از کنترل تغییرات در خواص مواد متشکله مخلوط بتن و همچنین کنترل دقت در کلیه عملیاتی است که بر مقاومت و یا روانی بتن تأثیر می گذارد. (مانند اندازه گیری مقدار مصالح مصرفی، مخلوط کردن، بتن ریزی، عمل آوردن و آزمایش نمودن)

همانطور که می دانیم هر چه اختلاف بین مقاومت حداقل و مقاومت متوسط مخلوط کمتر باشد مقدار سیمان کمتری باید مصرف شود. برای بتن با سطح معینی از مقاومت، عامل کنترل کننده این اختلاف، کنترل کیفیت بتن می باشد.

از جمله مواردیکه در کنترل کیفیت مخلوط بتن مؤثر است، می توان به تغییرات درمقاومت سیمان اشاره کرد. در کارهای بزرگ ساختمانی می توان با تهیه سیمان از یک منبع و با بهره گیری از امتیاز مقاومت حقیقی سیمان مصرفی قسمت عمده این تغییرات را حذف کرد.

تأثیر تغییرات در دانه بندی سنگدانه ها نیز در کنترل کیفیت حائز اهمیت است و این عامل به خصوص در مواردیکه مخلوط با الزامات کارایی کنترل می شود مهم است، زیرا برای ثابت نگهداشتن کارایی، تغییرات در دانه بندی ممکن است لزوم افزایش میزان آب در بتن را ایجاب نماید و در نتیجه کاهشی در مقاومت روی دهد.

تغییرات در مقاومت بتن، همچنین ممکن است در اثر مخلوط کردن نامناسب، عدم تراکم کافی، عمل آوردن نامنظم بوجود آید و لزوم کنترل این عوامل در کارگاه واضح می باشد. همچنین تغییرات در رطوبت نسبی سنگدانه ها بغیر از مواردیکه این تغییرات با تنظیم دقیق مقدار آبی که به مخلوط افزوده می شود خنثی می گردد، بر مقاومت بتن تأثیر خواهد داشت. برای به حداقل رساندن این تغییرات باید سنگدانه ها به نحوی انبار گردند که امکان خارج شدن آب آنها قبل از مصرف در بتن بوجود آید و هچنین متصدی دستگاه مخلوط کن باید جهت ثابت نگهداشتن کارایی مخلوط کاملاً آموزش داده شود.

امروزه در اکثر کارگاههای بزرگ اندازه گیری مواد متشکله بتن به طریق وزنی صورت می گیرد و برای بتن ریزیهای انبوه با مقاومت بالا بتن ریزی به صورت حجمی مجاز نمی باشد.

کنترل بتن در مورد بتن آماده نیز بسیار حائز اهمیت است. در کشور سوئد کنترل کیفیت این نوع بتنها به قدری عالی صورت می پذیرد که پیشنهاد گردیده است در مورد بتنهایی که در این مراکز تهیه می شوند نیازی به آزمایشهای کارگاهی جهت تعیین مقاومت بتن نمی باشد.

نحوه نظارت نیز از جمله مواردی است که در کنترل کیفیت بتن بسیار مهم است، بطوریکه Glanvill در تحقیقات خود اشاره کرده است که اختلاف بین نحوه کار و نظارت خوب و بد را می توان به اختلاف بین عمر تقریباً بی نهایت بتن و عمر کوتاه فقط چند سال آن تشبیه کرد.

فصل دوازدهم

عوامل مؤثر بر مقاومت بتن کارگاهی

۱۲-۱ مقدمه :

برای بدست آوردن بتنی مطابق با مشخصات و مقاومت مورد نظر در کارگاه پارامترها و عوامل زیادی حائز اهمیت می باشند. آنچه در این بخش مورد بررسی قرار می گیرد خلاصه ای است از مجموعه پارامترهایی که می تواند در مقاومت نهایی سازه بتنی مؤثر باشد.

این پارامترها شامل کلیه مراحلی است که از آغاز خلق بتن تا لحظه بهره برداری، برای بدست آوردن سازه بتنی طی می شود. لازم به ذکر است که تعیین و مشخص کردن تمامی این عوامل بصورت مجزا کاری بس دشوار و حتی غیر ممکن است. زیرا با توجه به روندی که یک سازه بتنی برای ساخت و اجرا طی می کند، بسیاری از پارامترها و عوامل در مقاومت سازه بتنی مؤثر هستند که چگونگی تأثیر آنها بر این ویژگی قطعه بتنی بر ما پوشیده می باشد. اما می توان در حالت کلی این پارامترها را با توجه به مراحل ساخت و اجرای سازه بتنی و شرایط محیطی به چند دسته تقسیم کرد :

۱- نوع مصالح مصرفی

۲- نحوه ساخت بتن

۳- نحوه بتن ریزی

۴- نحوه عمل آوردن و نگهداری از بتن

۵- شرایط آب و هوایی

در ادامه این بخش، هر کدام از این عوامل معرفی خواهند شد و چگونگی تأثیر هر کدام از این پارامترها در مقاومت قطعه بتنی بطور خلاصه مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۱۲-۲ نوع مصالح مصرفی :

آنچه از یک سازه بتنی به عنوان یک عضو مقاوم در برابر نیروهای وارده انتظار می رود، در حقیقت حاصل از مواد تشکیل دهنده آن است. لذا نوع و کیفیت مصالح مصرفی در ساخت قطعه بتنی تأثیر به سزایی در مقاومت نهایی آن خواهد داشت. همانطور که در قسمتهای قبل بطور مشروح به آن اشاره شد، هر کدام از مصالح تشکیل دهنده بتن اعم از سنگدانه ها، آب، سیمان و یا مواد افزودنی با توجه به نقشی که در مخلوط بتن ایفا می کنند، می توانند در نتایج بدست آمده مؤثر باشند.

یکی از مهمترین و مؤثرترین پارامترهایی که در مقاومت سازه بتنی نقش اساسی را ایفا می کند نوع و میزان مصالح مصرفی در سازه بتنی می باشد. این مهم در آیین نامه ها و استانداردهای معتبر بطور کامل مورد ارزیابی قرار گرفته و دستورالعملهای مقتضی ارائه گردیده است. پس از آنکه نوع سازه بتنی و مشخصات مورد انتظار توسط مهندس طراح تعیین گردید، با توجه به ضوابط و مقررات آیین نامه ای و رعایت کلیه جوانب لازم، نوع و میزان مصالح مصرفی برای قطعه بتنی تعیین می گردد و مرحله ساخت سازه بتنی آغاز می شود.

۱۲-۳ نحوه ساخت بتن :

برای بدست آوردن یک قطعه بتنی با ویژگیهای مورد انتظار، تنها یک طرح اختلاط مناسب و بهینه کافی نیست. زیرا اگر کلیه نکات طراحی و آیین نامه ای بطور دقیق در نظر گرفته شود و بهترین طرح اختلاط نیز تعیین گردد، اما در ساخت بتن نکات لازم رعایت نگردد، هرگز نتیجه مطلوب فراهم نمی شود. لذا نحوه ساختن بتن یکی از مهمترین عوامل مؤثر در مقاومت سازه بتنی است و بهمین دلیل است که پس از تهیه مخلوط بتنی، نتایج آزمایشگاهی تهیه می گردند تا بتن ساخته شده از لحاظ مقاومت کنترل شود.

نحوه ساختن بتن را با توجه به مراحلی که برای بدست آوردن مخلوط بتنی طی می شود، به بخشهای زیر تقسیم بندی می کنیم :

الف- ماشین آلات

ب- مهارت نیروی انسانی در بتن سازی

ج- نحوه حمل بتن

۱۲-۳-۱ ماشین آلات :

ماشین آلات و ابزار مورد استفاده در تهیه مخلوط بتنی از جمله عواملی هستند که می تواند در مقاومت سازه بتنی مؤثر باشند. آنچه در نهایت به عنوان سازه بتنی با مقاومت مدنظر شناخته می شود در حقیقت مخلوط نهایی بدست آمده از مصالح مصرفی است. این اختلاط باید به گونه ای باشد که اولاً پراکندگی دانه ها از لحاظ حجم در کل توده به یک اندازه بوده و از طرفی آب و سیمان با یکدیگر مخلوط شده و دوغاب سیمان تولید نمایند و این دوغاب سیمان باید بطور یکنواخت مانند فیلم نازکی دور تمام دانه ها را پوشانیده تا در نهایت باعث بهم چسبیدن دانه ها بشود و یک مخلوط همگن و یکنواخت به نام بتن را ایجاد نماید.

با توجه به اهمیتی که مخلوط نهایی بدست آمده و کیفیت آن، در مقاومت سازه بتنی دارد، هر پارامتری که در تهیه این مخلوط مؤثر باشد در مقاومت نهایی نقش اساسی را ایفا می کند. بطوریکه اگر در هنگام اختلاط از دستگاهها و ماشین آلات بتن سازی مناسب استفاده نگردد و یا کیفیت و دقت این ماشین آلات در حد مطلوب نباشد، مقاومت نهایی بتن بدست آمده هرگز منطبق با مقاومت مورد انتظار نخواهد بود و بالعکس در صورتیکه دستگاهها و ماشین آلات مورد استفاده از کیفیت و دقت بالایی برخوردار باشند، حتی می توان مقاومتی بالاتر از حد انتظار را نیز نتیجه گرفت.

بعنوان مثال اگر برای ساختن یک قطعه بتنی با مقاومت معین از دستگاه بتونیری استفاده کنیم که دارای زمان سنج برای مدت زمان اختلاط باشد، طبعاً محصول چنین دستگاهی بسیار مرغوب تر از دستگاهی است که زمان اختلاط آن توسط نیروی انسانی و یا بصورت تجربی تعیین می گردد. زیرا اگر زمان مخلوط کردن بتن در دفعات مختلف مساوی نباشد، قطعه ریخته شده با چنین بتنی همگن نیست و توان باربری چنین سازه ای بطور چشمگیری پایین می آید.

علاوه بر ماشین آلات بتن سازی، دستگاههایی که برای حمل و انتقال بتن از محل تولید تا محل مصرف مورد استفاده قرار می گیرند، نیز در مقاومت بتن مؤثر می باشند. در صورتیکه این ماشین

آلات با توجه به بعد مسافت و شرایط فاصله حمل، بطور صحیح انتخاب گردند، مـی تواننـد در نتیجـه نهایی تأثیر مطلوبی داشته باشند.

۱۲-۳-۲ مهارت نیروی انسانی در بتن سازی :

یکی دیگر از عوامل و پارامترهایی که در روند بتن سازی در مقاومت نهایی سازه بتنی مـؤثر اسـت، مهارت نیروی انسانی و کارگران بتن ساز در ساخت قطعه بتنی است. با توجه به پیشرفت صنعت بـتن سازی در سراسر دنیا امروزه کلیه مراحل ساخت قطعات بتنی بصورت اتوماتیک و خودکار صورت مـی پذیرد، اما در ایران و بعضی از نقاط دنیا در کارگاههای کوچک ساختمانی هنوز کارگران بتن ساز سهم عمده ای از مراحل ساخت قطعه را به خود اختصاص مـی دهنـد. حتـی هنگـاهی کـه از دسـتگاهها و ماشین آلات بتن سازی استفاده می شود، وجود اپراتورهـای انسـانی بـرای راه انـدازی و کـار بـا ایـن دستگاهها امری اجتناب ناپذیر است. لذا تجربه کارگران بتن ساز و مهـارت آنهـا مـی توانـد تـأثیر بـه سزایی در ایجاد یک قطعه بتنی با مقاومت مطلوب و مورد نظر داشته باشد. بطور کلی می توان گفـت هر چه سهم ماشین آلات در ساختن بتن کمتر باشد، تأثیر تجربه و مهارت کارگران در مقاومـت بـتن بیشتر خواهد بود.

با توجه به اینکه در بیشتر نقاط ایران در کارگاههای کوچک ساختمانی هنوز بتن بصورت دستی و با روش حجمی و توسط نیروی موجود در کارگاه ساخته می شود، این پارامتر تأثیر زیـادی در مقاومـت بتن خواهد داشت. زیرا این تجربه و مهارت کارگران بتن ساز است که مشخص می کند، عمل اختلاط بتن تا چه زمانی باید ادامه پیدا کند و یا هنگام استفاده از بیل در ساختن بتن دسـتی (ایـن روش در ساخت بتن هرگز توصیه نمی شود) چگونه باید مصالح سنگی، سیمان و آب را با یکدیگر مخلوط کـرد تا مخلوط حاصل دارای یکنواختی و همگنی مطلوب باشد.

در کارگاههای نسبتاً بزرگ و بزرگ کـه از ماشـین آلات بـتن سـازی اسـتفاده مـی کننـد، مهـارت اپراتورهای انسانی نقش مهمی را ایفا می کند. بعنوان مثال می توان به موارد زیر اشاره کرد :

در کارگاههایی که از بتونیر بعنوان دستگاه بتن ساز استفاده می کننـد، اغلـب ایـن بتونیرهـا فاقـد پیمانه برای بارگیری دستگاه می باشند. در این موارد کارگران با بیل بتـونیر را بـارگیری مـی کننـد و همچنین در هنگام بارگیری با توجه به اینکه هیچگونه ترتیب معینی برای ریختن اجزای مختلف بتن

به درون بتونیر وجود ندارد، این مهارت و تجربه کارگران و نیروهای بتن ساز است که می تواند در ترتیب ریختن مصالح به دستگاه حائز اهمیت باشد.

(پیشنهاد می گردد که ابتدا تقریباً $\frac{4}{5}$ آب مورد نیاز در بتونیر ریخته شود، سپس بلافاصله شن و ماسه و با کمی فاصله زمانی سیمان افزوده گردد و در نهایت باقی مانده آب مورد نیاز به داخل بتونیر اضافه گردد.)

بتونیر دارای منبع آبی در بالاترین قسمت خود می باشد که آب مورد نیاز بتن را به اندازه معین به مخلوط اضافه می کند. مسئول قسمت بتن سازی باید عملکرد صحیح منبع آب و پر بودن آن را همیشه کنترل کند.

زمان اختلاط بتن یکی از عواملی است که می تواند در مقاومت بتن مؤثر باشد. زیرا کم مخلوط شدن بتن در بتونیر سبب نامرغوب شدن آن می گردد و از طرفی اگر بیش از حد معینی عمل اختلاط صورت گیرد، روی دانه ها اثر نامطلوب باقی خواهد گذاشت و باعث سایش دانه ها گردیده و در بافت دانه بندی سنگدانه ها مؤثر خواهد بود. با توجه به اینکه اغلب دستگاههای مورد استفاده دارای زمان سنج نمی باشند، این مهارت و تجربه کارگران بتن ساز است که این زمان را معین می کند.

همانطور که در مثالهای ارائه شده مشاهده می شود، نقش کارگران و نیروی انسانی بتن ساز از جمله پارامترهایی است که می تواند باعث تغییرات در نتایج بدست آمده گردد.

۱۲-۳-۳ نحوه حمل بتن :

کیفیت و چگونگی حمل و انتقال بتن و مدت زمانی که بتن از محل ساختن تا اجرا طی می کند، نیز در نتایج نهایی مقاومت بتن مؤثر می باشد. همانگونه که می دانید مقاومت نهایی یک مخلوط بتنی و شرایط و مشخصات آن اعم از دانه بندی و یکنواختی در حقیقت عبارت است از ویژگیهای مخلوطی که در محل اجرا مورد استفاده قرار می گیرد. به عبارت دیگر در صورت عدم حفظ شرایط و مشخصات مخلوط بتنی در هنگام انتقال حتی اگر کلیه ضوابط و نکات لازم آیین نامه ای در مورد بهترین طرح اختلاط در هنگام ساخت بتن رعایت شود، بتن نهایی هرگز دارای نتایج مورد نظر نخواهد بود. زیرا ممکن است سرنوشتی را که مخلوط بتنی در هنگام انتقال طی می کند، باعث شود تا دانه بندی مخلوط دچار تغییرات اساسی گردد و یا در صورت عدم رعایت نکات لازم در هنگام حمل توسط

دستگاهها و ماشین آلات حمل بتن باعث شود تا قبل از ریختن بتن در مکان نهایی اجرا، مرحله سخت شدن بتن و تشکیل کریستالهای لازم برای گیرش آغاز گردد.

در کارگاههای معمولی که برای ساختن بتن از بتونیرهای کوچک استفاده می کنند و فاصله حمل بتن تا محل نهایی بتن ریزی کوتاه می باشد، برای انتقال مخلوط بتنی از ماشین آلاتی نظیر فرغون یا دمپر استفاده می شود. در صورت استفاده از فرغون با توجه به اینکه حجم بتن ریزی هر قدر هم که اندک باشد، چندین برابر حجم فرغون است، لذا برای جا به جایی بتن، مخلوط داخل بتونیر ابتدا بر روی زمین ریخته می شود و از آنجا با بیل به داخل فرغون بارگیری شده و به محل بتن ریزی حمل می شود. این عمل باعث می شود تا مقداری از دوغاب سیمان بوسیله زمین مکیده شود و در نتیجه در بتن افت مقاومت بوجود بیاورد و یا در صورت استفاده از دمپر در هنگام انتقال بتن، عدم رعایت نکات لازم باعث بهم خوردن دانه بندی مخلوط بتنی می شود که خود تأثیر منفی در مقاومت نهایی بتن ایجاد می کند.

در کارگاههای بزرگ که بتن هایی با حجم زیاد مورد نیاز است، برای ساخت بتن از مراکز بتن سازی استفاده می کنند و مخلوط بتنی توسط ماشینهای حمل بتن به مکان بتن ریزی انتقال می یابد. با توجه به اینکه ماشین آلات دارای منبع گرداننده ای هستند که از زمان بارگیری تا تخلیه و با چرخاندن باعث اختلاط بتن می گردند، لذا اغلب مواقع آیین نامه ها چنین تجویز می کنند که از مرکز بتن سازی، بتن بصورت نیمه مخلوط به کامیون حمل بتن داده شود و عمل تکمیل اختلاط تا حد نهایی در تراک میکسر صورت گیرد. حتی بعضی از مراکز بتن سازی فقط مصالح را پیمانه کرده، با اضافه کردن آب به کامیون حمل بتن تحویل می دهند و عمل اختلاط از ابتدا تا انتها در کامیون صورت می گیرد تا بازدهی مراکز بتن سازی افزایش یابد. در اینصورت فاصله تحویل گرفتن بتن تا محل نهایی از لحاظ زمان باید به گونه ای باشد که بتن تحویلی مخلوط شود. در صورت عدم رعایت زمان لازم برای اختلاط، بتن در هنگام تخلیه دارای ویژگیها و مشخصات مورد انتظار نخواهد بود. بعنوان مثال اگر زمان طی مسیر بیش از دو ساعت (با توجه به آیین نامه ASTM و BS) باشد ممکن است در اثر طول زمان، مقدار قابل ملاحظه ای آب بتن تبخیر شود و کارایی آن را پایین بیاورد و اضافه کردن آب دوباره به بتن که به آن خمیر کردن مجدد می گویند، باعث تأثیرات منفی در مقاومت نهایی بتن می گردد.

با توجه به مطالب و مثالهای ارائه شده می توان گفت که چگونگی حمل بتن و مدت زمان انتقال نیز در مقاومت نهایی بتن مؤثر می باشد.

۱۲-۴ نحوه بتن ریزی :

پس از آنکه مخلوط بتنی تهیه گردید و به محل نهایی اجرای سازه بتنی انتقال یافت، عملیات بتن ریزی آغاز می گردد. همانطور که در بحثهای گذشته اشاره شد قبل از آغاز بتن ریزی اقدامات و کنترلهایی در محل نهایی اجرای سازه بتنی صورت می پذیرد که هر یک از آنها به تنهایی می تواند تأثیر به سزایی در نتایج نهایی داشته باشد. آنچه در این قسمت بعنوان نحوه بتن ریزی مطرح می شود کلیه اقدامات و عملیاتی است که قبل از آغاز بتن ریزی و در مدت زمان بتن ریزی انجام می پذیرد. این اقدامات شامل قالب بندی سازه بتنی، کنترلها و بازدیدهای لازم قبل از آغاز بتن ریزی و کلیه نکاتی است که در طول زمان بتن زیری باید به آن توجه کرد. در ادامه این بخش این اقدامات و چگونگی تأثیر هر کدام در مقاومت بتن بدست آمده بصورت خلاصه مطرح می شوند.

۱۲-۴-۱ کیفیت قالب بندی : بتن تازه جسمی است سیال و قبل از آنکه سخت شود، در هر ظرفی که قرار بگیرد به شکل همان ظرف در می آید. برای آنکه شکل هندسی بتن به فرم دلخواه در آید قالبی مطابق آنچه که مهندس محاسب از لحاظ ابعاد و شکل هندسی برای قطعه طراحی کرده است، ساخته می شود. همانگونه که در مباحث مربوط به قالب بندی به آن اشاره شد، قالب یک سازه بتنی از دو جهت می تواند در مقاومت بتن مؤثر واقع شود :

۱- ایستایی قالب ۲- دوام قالب

۱- ایستایی قالب : یکی از مهمترین پارامترهای مؤثر در مقاومت یک سازه بتنی ابعاد قطعه بتنی می باشد. بنابراین هرگونه تغییر در ابعاد سازه بتنی می تواند تأثیر به سزایی در مقاومت نهایی بتن داشته باشد. از طرفی با توجه به اینکه طول بعضی از قطعات باربر بتنی بصورت مجذور در محاسبات وارد می شوند، لذا تغییر شکل هندسی قطعه حتی به مقدار جزئی در توان باربری آن مؤثر است.

۲- دوام قالب : کیفیت قالبهای مورد استفاده در قالب بندی نیز در تهیه بتنی مطلوب مؤثر و دارای اهمیت می باشد. در صورتیکه قالبهای مورد استفاده دارای کیفیت مناسب نباشند و در اثر مرور زمان

فرسوده شده باشند، ممکن است در تماس با مخلوط بتنی با ترکیبات آن وارد واکنش شده و در مقاومت بتن تأثیر منفی بگذارد.

علاوه بر موارد ذکر شده، زمان قالب برداری و چگونگی برداشتن قالب از دیگر پارامترهایی است که می تواند در مقاومت بتن نقش به سزایی را ایفا کند.

۱۲-۴-۲ بازدیدها و کنترلهای لازم قبل از بتن ریزی : قبل از آغاز بتن ریزی در کارگاه، توسط مهندسین کارگاه و یا تکنسین های مسئول بازدیدهایی از محل بتن ریزی صورت می گیرد که شامل کنترل قالب بندی، نحوه آرماتوربندی و تجهیزات لازم برای بتن ریزی می باشد که در بخشهای قبل به آن پرداخته شد. این بازدیدها در صورتیکه بصورت دقیق صورت گیرد می تواند نقش مثبتی را در تهیه بتنی مطلوب ایفا کند و بالعکس در صورت عدم دقت در این کنترلها، ممکن است نقصهایی در کار وجود داشته باشد که باعث افت مقاومت در بتن نهایی گردد.

۱۲-۴-۳ عملیات بتن ریزی : پس از قالب بندی و بازدیدهای لازم، عملیات بتن ریزی آغاز می گردد. چگونگی اجرای این عملیات و رعایت نکات لازم در طول زمان بتن ریزی از دیگر عواملی است که می تواند در مقاومت بتن تأثیر گذار باشد. تا جاییکه در صورت عدم رعایت این نکات در هنگام بتن ریزی، افت قابل ملاحظه ای در مقاومت بتن ایجاد می شود. این افت مقاومت در اثر برهم خوردن دانه بندی مخلوط بتنی و یا از دست رفتن آب مخلوط بوجود می آید. بعنوان مثال در صورتیکه در هنگام بتن ریزی، بتن در سطح ریخته نشود و بصورت مخروط در آید، درشت دانه ها روی مخروط غلطیده و از آن جدا می شوند و یا در اثر جا به جایی بیش از اندازه مخلوط بتنی، تغییرات اساسی در دانه بندی آن ایجاد می شود که باعث افت مقاومت می گردد.

از دیگر نکاتی که در هنگام بتن ریزی در مقاومت بتن مؤثر می باشد، مهارت و تجربه کارگران بتن ریز در پهن کردن و ویبره کردن بتن است. عدم مهارت و تجربه کافی می تواند باعث آب انداختن بتن و یا برهم خوردن دانه بندی آن گردد که تأثیر هر کدام از این عوامل در مقاومت بتن بسیار اساسی می باشد که در بخشهای گذشته بطور کامل به آن پرداخته شد.

۱۲-۵ نحوه عمل آوردن و نگهداری از بتن :

یکی از مهمترین عواملی که در مقاومت سازه بتنی نقش به سزایی را ایفا می کند، کیفیت نگهداری و مراقبت از بتن ریخته شده می باشد. تجربه و نتایج آزمایشگاهی نشان داده است که رعایت کلیه نکات لازم در تهیه مصالح، طرح اختلاط و یا دقتهای لازم هنگام بتن ریزی در حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد مقاومت را تأمین می کند و ۳۰ تا ۴۰ درصد این مقاومت مربوط به نگهداری و مراقبت از سازه بتنی در سنین مختلف است.

علاوه بر این، در صورت رعایت دقیق نکات لازم در هنگام عمل آوردن و مراقبت از بتن، حتی می توان مقاومتی بالاتر از آنچه از سازه بتنی انتظار می رود، بدست آورد. این امر در تصمیم گیری در مورد پذیرش سازه بتنی نقش بسیار مهمی را ایفا می کند. تا جاییکه در بعضی از موارد می تواند باعث تغییرات اساسی در نتایج تصمیم گیری در مورد پذیرش بتن گردد و از خسارات جبران ناپذیری جلوگیری کند.

۱۲-۶ شرایط آب و هوایی :

شرایط آب و هوایی محلی که بتن ریزی در آن انجام می شود یکی از پارامترهای مهمی است که می تواند در مقاومت بتن مؤثر واقع گردد. تغییرات جوی پیش بینی نشده در هنگام بتن ریزی و یا روزهای بعد از آن که بتن به کسب مقاومت می پردازد، تأثیرات منفی شدیدی را بر سازه بتنی وارد می نماید.

همانگونه که در بحث مربوط به بتن ریزی در شرایط آب و هوایی مختلف اشاره شد، در صورت عدم رعایت نکات لازم در شرایط آب و هوایی خاص که مطلوب بتن ریزی نمی باشد و نحوه مراقبت از بتن جوان در این شرایط، علی رغم دقت در کلیه مراحل بتن سازی هرگز نتایج مطلوب بدست نخواهد آمد تا جاییکه کارایی و پذیرش چنین بتنی با توجه به مقاومت مورد نظر، بحث انگیز و مورد سؤال خواهد بود.

فصل سیزدهم

فرضیات طراحی سیستم

۱۳-۱ مقدمه :

در فصلهای گذشته در مورد چگونگی فرایند ساخت و اجرای سازه های بتنی، عوامل مؤثر در مقاومت این سازه ها و نحوه پذیرش آنها با توجه به ضوابط و قوانین موجود در آیین نامه ها، همچنین سرنوشت دوگانه ای که یک نمونه بتنی در آزمایشگاه و محل اجرا با آن روبرو می باشد، توضیحات مفصلی ارائه شد.

همانگونه که عنوان گردید، آنچه امروزه به عنوان ضوابط پذیرش بتن در آیین نامه ها موجود می باشد، تنها مقرراتی در مورد کنترل مقاومت و ویژگیهای مخلوط بتنی قبل از اجرا می باشد و تأثیر سایر عوامل که با توجه به مطالب ارائه شده می توانند نقش به سزایی را در نتایج نهایی سازه بتنی ایفا نمایند، تقریباً نادیده گرفته می شود، از طرفی در بسیاری از پروژه ها، بررسی پارامترهای مربوط به مقاومت سازه بتنی در محلی مجزا از مکان اجرای سازه (آزمایشگاه) صورت می پذیرد و سپس در مورد سازه ای که در مکانی دیگر به حیات خویش می پردازد تصمیم گیری می شود و در حقیقت یک حکم در مورد دو قطعه که سرنوشت متفاوتی را طی می کنند، صادر می گردد و این امری است که از لحاظ منطقی نیز صحیح نمی باشد. از سویی دیگر مطرح گردید که بسیاری از عواملی که در کیفیت قطعه بتنی و ویژگیهای آن بویژه مقاومت سازه مؤثر می باشد، پارامترهایی هستند که نمی توان بصورت قطعی در مورد آنها اظهار نظر کرد و دارای عدم قطعیت ادراکی می باشند و امکان اینکه مرز دقیقی برای چگونگی تأثیر آنها معین نمود میسر نیست، همچنین بیان تأثیر آنها و یا بررسی و تجزیه

و تحلیل آنها تنها با عبارات زبانی و به کمک دانش افراد خبره امکان پذیر است. بدین معنی که در هنگام تصمیم گیری در مورد پذیرش قطعه بتنی اجرا شده، مهندس صاحب نظر و تصمیم گیرنده به عنوان یک شخص خبره با توجه به در نظر گرفتن نتایج آزمایشگاه وکلیه شرایط موجود در محل اجرای سازه و همچنین سرنوشتی که بتن از آغاز اجرا پیموده است، با استفاده از دانش و تجربه ای که در طی سالها بدست آورده است، به اظهار نظر در مورد مقبولیت یا عدم مقبولیت آن می پردازد، دانش و تجربه ای که شاید بیان آن بصورت روابط مشخص و معین امکان پذیر نباشد و تنها بتوان آنها را در قالب عبارات زبانی مطرح ساخت.

با توجه به آنچه که در مباحث مربوط به سیستمهای فازی عنوان گردید، منطق فازی راهبردی مناسب برای بیان اینگونه مسائل می باشد و می توان با استفاده از مدلسازی مسائلی از این قبیل به کمک سیستمهای فازی نتایج مطلوبی را بدست آورد. قابلیت و توانایی این سیستمها در استفاده از دانش بشری و مدل کردن آن در قالب اصول ریاضی و قابل تجزیه و تحلیل منطقی می تواند در شرایط تصمیم گیری بسیار مفید فایده باشد.

آنچه در فصل حاضر به آن پرداخته می شود، بیان فرضیات در نظرگرفته شده در این پروژه برای ساخت و ایجاد یک سیستم فازی است که در مورد پذیرش و یا عدم پذیرش قطعه بتنی با استفاده از منطق فازی تصمیم گیری می نماید. در این فصل با توضیح مختصری در مورد کلیه پارامترهای مؤثر در مقاومت سازه بتنی که در بخشهای گذشته بطور مفصل بدان پرداخته شد، تعدادی از آنها به توجه به فرضیات و نکاتی که بیان می شود به عنوان عوامل مورد بررسی معین می شوند و در قالب مفاهیم و اصول حاکم بر منطق فازی تعبیر خواهند شد. پس از مطرح کردن این فرضیات، ورودیها و خروجیهای سیستم و نیز نوع سیستم کنترل فازی پذیرش بتن تعیین می گردد تا بر اساس این فرضیات و متغیرهای ورودی و خروجی سیستم در فصلهای آینده سیستم فازی مورد نظر بر اساس اصول حاکم بر سیستمهای فازی و اجزای تشکیل دهنده آن طراحی شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

۱۳-۲ فرضیات طراحی :

قبل از هر گونه اقدام در جهت مدلسازی یک سیستم فازی برای کنترل کیفیت و پذیرش بتن و فراهم نمودن اجزای مختلف این سیستم با توجه به ساختار کلی سیستمهای فازی ابتدا باید هدف و انتظارات خود را از سیستمی که تمایل به ساخت آن داریم مشخص کنیم، بدین معنی که بدانیم، پاسخی که از این مدل می خواهیم چیست و چه اطلاعاتی را برای رسیدن به این پاسخ می توانیم در اختیار سیستم قرار دهیم. همانگونه که قبلاً نیز مطرح گردید هدف از ساخت این سیستم، تصمیم گیری صحیح و منطقی در مورد مقبولیت و یا عدم مقبویت یک سازه بتنی اجرا شده می باشد. بنا براین در واقع خروجی مورد انتظار از سیستم، پاسخ به این سؤال است که آیا بتن اجرا شده از لحاظ کیفیت و بویژه مقاومت لازم، مورد قبول هست یا خیر؟ اما برای رسیدن به این هدف چه اطلاعاتی را می توانیم و باید در اختیار سیستم قرار دهیم؟

ابتدا باید بررسی کنیم که بطور کلی چه عواملی در دادن پاسخ به این سؤال مؤثر می باشند؟ یا به عبارت دیگر بدون در نظر گرفتن سیستم فازی، در صورت مواجه شدن با شرایط تصمیم گیری در مورد یک سازه بتنی چه عواملی را مدنظر قرار می دهیم و برای دادن پاسخ نیازمند چه اطلاعاتی هستیم؟ تا با بدست آوردن فرایند تصمیم گیری بتوانیم آن را به عنوان یک سیستم تصمیم گیرنده مدلسازی کنیم.

همانگونه که می دانید و در فصلهای گذشته نیز بطور مفصل به آن پرداخته شد، امروزه در بسیاری از کارهای ساختمانی و در کارگاههای بتنی به منظور تصمیم گیری در مورد پذیرش یک قطعه بتنی در هنگام اجرای قطعه بتنی مورد نظر با گرفتن نمونه های بتنی و انجام آزمایشهای لازم بر روی آن نتایج را بدست آورده و به مهندس مسئول ارائه می دهند. سپس مهندس صاحب نظر این نتایج را با ضوابط موجود در آیین نامه مدنظر مقایسه نموده و در صورتیکه این نتایج که شامل مقاومتهای نمونه های بتنی مورد آزمایش می باشند، ضوابط مربوط به پذیرش بتن را ارضا نماید، بتن مورد قبول واقع می شود و در غیر اینصورت بندهای دیگر آیین نامه در مورد آن اجرا می گردد. البته لازم به ذکر است که علاوه بر بررسی نتایج آزمایشگاهی مهندس ناظر بر پروژه در طول مدت اجرای قطعه بتنی کلیه

نکاتی را که باید در حین اجرا، قبل و بعد از آن رعایت گردد کنترل می کند و در صورت عدم رعایت این نکات تصمیم مقتضی را اتخاذ می نماید.

بنابراین همانگونه که مشاهده می کنید، برای تصمیم گیری در مورد مقبولیت و یا عدم مقبولیت یک سازه بتنی آنچه به عنوان اطلاعات اولیه مورد نیاز است، در درجه اول نتایج آزمایشگاهی در مورد قطعه مورد بررسی می باشد، امری که امروزه در اکثر کارهای بتنی تنها به آن اکتفا می کنند، پس از آن بررسی سایر عوامل مؤثر در مقاومت بتن می باشد که شامل کلیه پارامترهایی است که از زمان آغاز ساخت بتن تا هنگام اجرای آن در محل و همچنین پس از اجرا در مقاومت بتن تأثیرگذار می باشند.

عوامل و پارامترهایی که در مقاومت سازه بتنی اثر می گذارند، در بخشهای گذشته بطور مفصل مطرح گردید و مورد بررسی قرار گرفت. مطابق آنچه عنوان شد، عوامل مؤثر بر مقاومت قطعه بتنی و ویژگیهای آن را با توجه به فرایندی که بتن از آغاز خلقت تا زمان بهره برداری طی می کند، در حالت کلی می توان به سه قسمت تقسیم بندی کرد :

۱- ساخت مخلوط بتنی و انتقال آن به محل اجرا

۲- اجرای عملیات بتن ریزی

۳- عمل آوردن و مراقبت از سازه بتنی تا هنگام بهره برداری

هر کدام از این مراحل، عوامل و پارامترهای فراوانی را در میزان مقاومت سازه بتنی مؤثر می سازد. در ادامه بحث به منظور فهم دقیق تر و نیز منسجم کردن اطلاعات ورودی برای ساخت سیستم فازی مورد نظر، توضیح مختصری در مورد هر کدام از این مراحل ارائه می کنیم و در نهایت آنچه را که به عنوان پارامترهای مؤثر در مقاومت سازه بتنی در ساخت مدل فازی مورد استفاده قرار می گیرد، بر اساس فرضیاتی که مطرح می شود، تعیین خواهیم نمود. لازم به ذکر است که بررسی کلیه عوامل مؤثر در نتایج نهایی سازه و میزان تأثیر آنها امری دشوار ویا به عبارتی غیر ممکن می باشد. زیرا بسیاری از پارامترها وجود دارند که ممکن است بر مشخصات بتن مؤثر باشند، اما آگاهی ما نسبت به آنها بسیار کم باشد وحتی در صورت شناسایی این عوامل، بررسی چگونگی تأثیر آنها بسیار سخت و ای بسا غیر ممکن باشد. لذا آنچه در ادامه عنوان می شود، بخشی از پارامترهایی است که قسمت اعظم تأثیرگذاری زا بر مشخصات و ویژگیهای بتن را دارا می باشند.

۱۳-۳ ساخت مخلوط بتنی و انتقال آن به محل اجرا :

پس از آنکه مشخصات قطعه بتنی مورد نظر اعم از مقاومت طرح و سایر ویژگیهای آن توسط مهندس طراح تعیین گردید، به ساخت مخلوط بتنی می پردازند. در این مرحله پارامترهای بسیاری در مشخصات نهایی قطعه بتنی بویژه مقاومت آن مؤثر می باشند، که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- نوع و کیفیت مصالح مصرفی

۲- کیفیت عملیات ساخت و تشکیل مخلوط بتنی

۳- نحوه حمل و انتقال مخلوط بتنی به محل اجرا

۱۳-۳-۱ نوع و کیفیت مصالح مصرفی :

مشخصات و ویژگیهای مخلوط بتن که به عنوان قطعه بتنی مورد استفاده قرار می گیرد، بیشتر از سایر پارامترها وابسته به نوع و کیفیت مصالحی است که در ساخت آن مورد استفاده قرار می گیرد. از جمله مواردی که در قالب نوع و کیفیت مصالح مصرفی می توان به آن اشاره کرد عبارت اند از :

۱- نوع سنگدانه های مصرفی در مخلوط بتن اعم از مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن (اندازه سنگدانه ها، شکل هندسی آن، خاصیت جذب آب دانه ها، مواد نامطلوب در سنگدانه ها و ....)

۲- چگونگی حمل و انتقال سنگدانه ها به محل ساخت و کیفیت نگهداری و انبار کردن سنگدانه ها در کارگاه بتن سازی

۳- کیفیت و نوع آب مصرفی در بتن (میزان املاح و مواد موجود درآب، واکنشهای احتمالی ناخالصیهای موجود در آب و تأثیر آن بر مخلوط بتنی، میزان حرارت آب مصرفی و ....)

۴- مشخصات سیمان مورد استفاده در مخلوط بتنی و کیفیت آن

هر کدام از موارد گفته شده نقش بسیار حیاتی و اساسی را در کیفیت ویژگیهای مورد انتظار از مخلوط بتنی ایفا می کنند و این امری کاملاً منطقی و طبیعی است، زیرا آنچه ما به عنوان یک مخلوط بتنی می شناسیم و مشخصات و قابلیتهایی را که از آن انتظار داریم در حقیقت مرهون ویژگیها و خواصی است که اجزای تشکیل دهنده آن دارا می باشند و لذا هر گونه تغییر در مصالح مصرفی و یا عدم دارابودن کیفیت مطلوب می تواند تأثیرات غیر قابل قبول فراوانی را بر نتایج نهایی

سازه مورد استفاده داشته باشد. چگونگی تأثیر هر کدام از موارد گفته شده در مشخصات مخلوط بتنی در فصل مربوط به معرفی بتن و مراحل ساخت و اجرای آن (بخش اجزای تشکیل دهنده بتن) بطور کامل و مشروح توضیح داده شده است، لذا از بازگویی مجدد آن صرفه نظر می کنیم.

۱۳-۳-۲ کیفیت عملیات ساخت و تشکیل مخلوط بتنی :

از دیگر عواملی که در مقاومت نهایی قطعه بتنی نقش مهم و اساسی را ایفا می کند، چگونگی و کیفیت انجام عملیات ساخت و اختلاط مخلوط بتن می باشد. در صورتیکه کلیه نکات لازم در هنگام فراهم نمودن مصالح مورد نیاز برای تشکیل مخلوط بتنی رعایت گردد و بهترین طرح اختلاط نیز تهیه شود، اما انجام عملیات مربوط به ساخت بتن از کیفیت خوبی برخوردار نباشد و نکات لازم و ضروری در هنگام ساخت مخلوط بتنی رعایت نگردد، هرگز نمی توان انتظار داشت تا آنچه تولید می شود خواسته های ما را برآورده سازد و در برابر نیروهای وارده که مهندس طراح در نظر گرفته است مقاومت نماید. عواملی که در این مرحله بر مقاومت نهایی و سایر ویژگیهای بتن مؤثر می باشند را می توان به بخشهای زیر تقسیم بندی کرد :

۱- نوع ماشین آلات بتن سازی و ابزار مورد استفاده در عملیات اختلاط بتن

۲- کیفیت ماشین آلات مورد استفاده از لحاظ میزان سلامت و صحت انجام کار

۳- میزان تجربه، تخصص و مهارت نیروها و کارگران بتن ساز

عمل اختلاط بتن باید بگونه ای باشد که پراکندگی دانه ها از لحاظ حجم در کل توده به یک اندازه بوده و از طرفی آب و سیمان بخوبی با هم مخلوط شده تا بتواند بعنوان دوغاب سیمان نقش خود را به خوبی ایفا نماید. بنابراین هرگونه عاملی که باعث شود تا این کار به نحو صحیح صورت نگیرد و مخلوط بتنی از کیفیت قابل قبولی برخوردار نباشد، می تواند در نتایج نهایی سازه بتنی تأثیرات غیر قابل قبول فراوانی را بوجود آورد.

آنچه مسلم است، این است که نوع ماشین آلات و ابزاری که در اختلاط بتن نقش دارند و همچنین کیفیت این وسایل نقش اساسی را در این مهم، بازی می کند. در صورتی که از وسایل و ماشین آلات مناسب با توجه به حجم بتن سازی و همچنین مشخصات بتن استفاده نشود و یا این دستگاهها از سلامت کافی در انجام کار برخوردار نباشند، تأثیرات جبران ناپذیری را بر مشخصات مخلوط بتنی بویژه مقاومت نهایی آن خواهند گذاشت. از طرفی نقش نیروها و کارگرانی که به عنوان اپراتور و یا

بصورت مستقیم در انجام عملیات اختلاط بتن وظیفه ای را بر عهده دارند نیز نمی توان نادیده گرفت. ای بسا در صورت عدم تجربه و تخصص کافی این نیروها در شناسایی یک مخلوط منسجم و مناسب با توجه به مشخصات مورد انتظار و یا مدت زمان کافی برای اختلاط، خسارات قابل ملاحظه ای بر بتن ساخته شده وارد آید.

۱۳-۳-۳ نحوه حمل و انتقال مخلوط بتنی به محل اجرا :

پس از آنکه عملیات اختلاط بتن پایان یافت، مخلوط بتنی حاصل به محل اجرای سازه بتنی انتقال می یابد. چگونگی حمل و انتقال بتن از محل ساخت تا اجرا یکی از مسائلی است که می تواند در ویژگیهای بتن مؤثر واقع شود. مشخصات یک مخلوط بتنی اعم از دانه باندی و یکنواختی و نیز مقاومت نهایی آن در حقیقت عبارت است از ویژگیهای مخلوطی که در محل اجرا مورد استفاده قرار می گیرد، لذا در صورت عدم حفظ شرایط و مشخصات بتن در هنگام انتقال، حتی اگر کلیه ضوابط و نکات آیین نامه در مورد بهترین طرح اختلاط در هنگام ساخت بتن رعایت شود، بتن نهایی هرگز دارای نتایج مورد انتظار نخواهد بود. زیرا ممکن است مسیری را که بتن در هنگام انتقال می پیماید در صورت عدم استفاده صحیح از ماشین آلات مناسب با توجه به فاصله حمل و نیز حساسیت سازه باعث شود تا دانه بندی مخلوط دچار تغییرات اساسی گردد و یا مخلوط بتنی قبل از رسیدن به مکان اجرا مرحله گیرش اولیه خود را آغاز نماید

همانگونه که مشاهده می کنید در مرحله ساخت و اجرای سازه بتنی پارامترها و عوامل بسیار زیادی هستند که می توانند در مقاومت نهایی قطعه بتنی مؤثر واقع شوند و در صورت عدم رعایت نکات لازم در هر کدام از موارد گفته شده نتایج غیر قابل قبول فراوانی بر سازه بتنی وارد می شود.

آنچه حائز اهمیت است این است که به منظور کنترل کلیه موارد یاد شده در این مرحله و بررسی اینکه آیا در طول اجرای این مرحله، نکات لازم و ضروری رعایت شده است و یا خیر، قبل از عملیات بتن ریزی در محل اجرای سازه بتنی توسط دستگاه نظارت بر پروژه از مخلوط تهیه شده نمونه برداری می شود و آزمایشهای لازم به منظور بررسی ویژگیهای بتن ساخته بر روی آن انجام می پذیرد و در صورت عدم رعایت نکات لازم و همچنین کافی نبودن ویژگیهای مخلوط بتنی با توجه به شرایط سازه و قابلیتهایی که طراح برای آن در نظر گرفته است، مخلوط بتنی مورد پذیرش واقع نمی شود و اجازه آغاز عملیات بتن ریزی با چنین مخلوطی داده نخواهد شد. لذا کلیه عواملی که تا قبل از شروع

عملیات بتن ریزی در مقاومت سازه بتنی مؤثر می باشند، تأثیر خود را در نتایج آزمایشگاهی نشان می دهند و می توان با بررسی نتایج بدست آمده از آزمایش نمونه های بتنی کلیه ایـن پارامترهـا را مـورد ارزیابی قرار داد. به عبارت دیگر همانگونه که اشاره شد، کلیه عواملی که در این مرحله بـر مقاومـت و مشخصات مخلوط بتنی تأثیرگذار می باشند و میزان این تأثیر به صورت عینی در مخلـوط بتنـی کـه مورد آزمایش قرار می گیرد نمایان می باشد، یعنی اثر آنها بصورتی است که می توان با آزمایشـهایی که بر روی نمونه های بتنی انجام می شود، آنها را کنترل و ارزیابی کرد.

با دقت درمطالب گفته شده و با توجه به اینکه هـدف از ایجـاد سیسـتم مـورد نظـر اعمـال کـردن پارامترها و عواملی است که در تصمیم گیری برای مقبولیت و یا عدم مقبولیت بتن مؤثر می باشند، اما کمتر به آن توجه می شود و یا در ضوابط مربوط به کنترل کیفیت بتن به عنوان یک عامل مهم مـورد بررسی قرارنمی گیرد و یا امکان ارزیابی آنها بطور دقیق میسر نیست، با توجه به اینکه عوامـل مطـرح شده تأثیر خود را در نتایج آزمایشگاهی نشان می دهند، لذا در طراحی و مدلسازی سیستم مورد نظـر فرض شده است که پارامترها و عواملی که تا قبل از آغاز عملیات بتن ریزی بـر مقاومـت قطعـه بتنـی تأثیرگذار مـی باشـند، در نتـایج آزمایشـگاهی مـؤثر مـی باشـند و بنـابراین بـا در نظرگـرفتن نتـایج آزمایشگاهی به عنوان یکی از پارامترهای موردنظر می توان کلیه این عوامل را در آن لحاظ دانست و از بررسی هر کدام آنها بطور جداگانه با توجه به محدودیتهای موجود صرفه نظر کرد. به عبارت دیگـر بـا در اختیار داشتن نتایج آزمایشگاهی، مهندس تصمیم گیرنده نیازی به بررسی سایر عوامل گفته شـده بصورت مجزا ندارد، زیرا در حقیقت نتایج آزمایش خود نشان دهنده ارزیابی همان پارامترهـایی اسـت که توضیح داده شد.

بنابراین

فرض می کنیم که کلیه پارامترها و عواملی که تا قبل از آغاز مرحله بتن ریزی بر مقاومت قطعـه بتنی مؤثر هستند و در تصمیم گیری در مورد مقبولیت و یا عدم مقبولیت بتن دخالت دارند، تـأثیر خود را در نتایج آزمایشگاهی نشان می دهند و با در نظر گرفتن نتایج آزمایشگاهی به عنوان یکی از پارامترهای ورودی در سیستم فازی مورد نظر، می توان تأثیر همه آنها را در آن لحـاظ دانسـت و از بررسی هر کدام از آنها بصورت جداگانه در سیستم فازی پذیرش بتن صرفه نظر کرد.

۱۳-۴ عملیات بتن ریزی :

پس از تشکیل مخلوط بتنی و انتقال آن به محل اجرای سازه، عملیات بتن ریزی آغاز می گردد. قبل از آغاز این مرحله و همچنین در طول اجرای این عملیات نکات و موارد فراوانی وجود دارد که در صورت عدم رعایت آنها، اثرات غیر قابل قبول جبران ناپذیری بر قطعه بتنی و ویژگیهای آن از جمله مقاومت نهایی سازه وارد می شود. قبل از بررسی عوامل مؤثر بر مقاومت بتن در این مرحله متذکر می شویم که منظور از عملیات بتن ریزی کلیه اقدامات و اعمالی است در مکان نهایی اجرای سازه بتنی قبل از بتن ریزی و همچنین در طول اجرای آن صورت می پذیرد.

بتن ریزی باید به نحوی باشد که خصوصیات و کیفیت بتن، نظیر نسبت آب به سیمان، اسلامپ، میزان هوای موجود در بتن و در نهایت یکنواختی بتن حفظ شود. عملیات بتن ریزی نباید باعث جداشدگی، آب انداختن و پیدایش خلل و فرج در بتن گردد. افزودن آب به منظور جاانداختن بتن در قالب بهیچوجه مجاز نیست. از طرفی کلیه نکات لازم قبل از بتن ریزی از قبیل اجرای صحیح قالب بتنی، اجرای صحیح آرماتور، آماده نمودن محل کار با توجه به نوع بستر سازه بتنی (بستر خاکی ، سنگی ، آماده کردن سطوح قدیم بتن ...) باید مورد بررسی و کنترل قرار گیرد.

عوامل مؤثر در کیفیت بتن و مقاومت نهایی آن را می توان به صورت زیر تقسیم بندی نمود :

۱- کیفیت رعایت نکات لازم قبل از بتن ریزی در محل اجرای سازه بتنی

۲- انتخاب صحیح نوع روش بتن ریزی بر اساس شرایط و مشخصات پروژه ، نوع سازه بتنی و ....

۳- مهارت و تجربه نیروی متخصص و کارگران بتن ریز

۴- کیفیت وسایل و دستگاههای مورد استفاده در بتن ریزی

۱۳-۴-۱ کیفیت رعایت نکات لازم قبل از بتن ریزی :

قبل از آغاز بتن ریزی، محل ریختن بتن باید کاملاً از هر گونه مواد خارجی از قبیل آب، خاک، ماسه، برف، یخ، چربی، روغن و ... پاک و مبرا گردد. زیرا در صورت وجود هر یک از این مواد مضر در محل اجرای سازه بتنی، ممکن است مصالح تشکیل دهنده بتن با این مواد زائد واکنش شیمیایی انجام دهند و باعث ایجاد عواقب زیانباری برای خصوصیات بتن مورد نظر بویژه مقاومت نهایی آن شود. نحوه قالب بندی سازه بتنی با توجه به نوع سازه و کنترل اجرای صحیح آن از جمله مواردی است که در

کیفیت سازه بتنی نقش به سزایی را ایفا می کند تا جاییکه در صورت عدم رعایت رواداریهای مجاز در اجرای قالب سازه بتنی با توجه به اینکه طول بعضی از قطعات باربر بتنی بصورت مجذور در محاسبات وارد می شوند و تغییر شکلهای هندسی قطعه حتی به مقدار جزئی در توان باربری آن مؤثر است و باعث ایجاد ممانهای ناخواسته و پیش بینی نشده در قطعه می شود، مشکلات و نواقص جبران ناپذیری را بر سازه بتنی وارد می سازد.کیفیت مصالح مورد استفاده در قالب بتنی نیز از جمله مواردی است که باید مدنظر قرار گیرد.

۱۳-۴-۲ انتخاب صحیح نوع روش بتن ریزی :

قبل از بتن ریزی با توجه به نوع سازه و شرایط موجود، باید بهترین و مناسب ترین روش انتقال بتن به قالب انتخاب گردد به نحوی که در کیفیت و خصوصیات اصلی بتن تغییری حاصل نشود. در انتخاب صحیح روش بتن ریزی نوع و حجم عملیات بتن ریزی نیز مؤثر می باشد. در صورتیکه روش مناسب و منطقی برای بتن ریزی در نظر گرفته نشود و از روشهایی که برای آن سازه با توجه به حساسیت قطعه مناسب نمی باشند، استفاده گردد، اثرات غیر قابل قبول جبران ناپذیری را فراهم می آورد، حتی اگر بتن از لحاظ کیفیت و نتایج آزمایشگاهی در بهترین حالت ممکن باشد. زیرا در صورت عدم انتخاب روش صحیح، بتنی که دارای بهترین شرایط و ویژگیها می باشد با برهم خوردن یکنواختی و انسجام دانه بندی آن بسیاری از خصوصیات اصلی خود را از دست می دهد.

۱۳-۴-۳ مهارت و تجربه نیروی متخصص :

مهارت و تجربه نیروی متخصص و کارگران بتن ریز در اجرای عملیات بتن ریزی یکی از مهمترین پارامترهای مؤثر در کیفیت بتن ریزی می باشد. این مهارت شامل آشنایی کامل به نحوه پخش کردن مخلوط بتنی در قالب، چگونگی و مدت زمان ویبره کردن، ماله کشی، شمشه کشی بتن تازه و در نهایت آشنایی کامل با خصوصیات ظاهری یک بتن مطلوب و همگن می باشد. در صورت عدم داشتن مهارت کافی در هر کدام از موارد گفته شده، مخلوط بتنی که در قالب جای می گیرد، هرگز دارای خصوصیات مورد انتظار نخواهد بود، حال آنکه مخلوطی که به محل آورده شده است بهترین اختلاط و یکنواختی را دارا باشد و نتایج آزمایشگاهی نیز حکم به مناسب بودن بتن بدهد. زیرا مخلوطی که در

قالب جای می گیرد به سبب عدم مهارت در پخش کردن و یا ویبره و ... یکنواختی و انسجام خود را از دست می دهد و دانه بندی آن از کیفیت مطلوبی برخوردار نخواهد بود.

۱۳-۴-۴ کیفیت وسایل و دستگاههای مورد استفاده در بتن ریزی :

وسایل و دستگاههایی که در بتن ریزی مورد استفاده قرار می گیرند و همچنین میزان سلامت آنها از لحاظ صحت انجام کار باید به نحوی باشد که باعث برهم خوردن خصوصیات مخلوط بتنی نگردد. همچنین کافی بودن وسایل مورد استفاده در بتن ریزی مانند بیل، ماله، شمشه و ... و نیز وسایل تراکم بتن از جمله مواردی است که در هنگام بتن ریزی باید مدنظر قرار گیرد. در صورت عدم رعایت نکات عنوان شده در هنگام بتن ریزی همانند سایر موارد مطرح شده، خصوصیات مخلوط بتنی دستخوش تغییرات اساسی می گردد و قطعه بتنی بوجود آمده انتظارات مهندس طراح را برآورده نخواهد کرد. زیرا با وجود مقبولیت مخلوط بتنی با توجه به نتایج آزمایشگاهی تا قبل از ریختن در قالب به علت عدم کیفیت وسایل و دستگاههای مورد استفاده در بتن ریزی، مخلوط بتنی یکنواختی خود را از دست داده است و یا به سبب کمبود وسایل موردنیاز برای پخش کردن مخلوط و متراکم کردن آن از کیفیت قطعه بتنی ریخته شده، کاسته شده است.

با توجه به مطالب ارائه شده می توان نتیجه گرفت که کیفیت بتن ریزی و دستگاه اجرایی بتن ریز از جمله عواملی است که می تواند تأثیرات مستقیم و قابل ملاحظه ای در نتایج نهایی سازه بتنی وارد سازد و باید در هنگام کنترل کیفیت بتن و پذیرش آن به عنوان یک معیار اساسی مورد بررسی قرار گیرد.

همانگونه که در قسمت قبل مطرح شد کلیه عواملی که برمقاومت بتن تا قبل از آغاز بتن ریزی مؤثر هستند را می توان در نتایج آزمایشگاهی نشان داد، یعنی با در دست داشتن نتایج آزمایشگاهی می توان از چگونگی رعایت این پارامترها اطلاع پیدا کرد. با توجه به اینکه نمونه های آزمایشگاهی قبل از بتن ریزی برداشته می شوند و مورد آزمایش قرار می گیرند، لذا تأثیر عوامل و پارامترهایی که در حین بتن ریزی و بعد از آن در مقاومت نهایی بتن مؤثر هستند، در نتایج آزمایشگاهی وجود ندارد و نمی توان با بررسی این نتایج به کنترل آنها پرداخت. از سویی دیگر کیفیت عملیات بتن ریزی یکی از مهمترین عواملی است که در کیفیت نهایی بتن کارگاهی تأثیر به سزایی دارد، تا جاییکه با وجود رعایت کلیه ضوابط و نکات لازم در هنگام ساخت بتن و همچنین نقل و انتقال آن در صورت عدم

رعایت نکات ضروری توسط دستگاه اجرایی سازه بتنی در انجام عملیات بتن ریزی، نواقص و نقطه ضعفهای فراوانی در سازه ایجاد می شود که می تواند در نتایج نهایی بتن تأثیرات مضر و جبران ناپذیری را ایجاد نماید. بهمین دلیل در هنگام تصمیم گیری در مورد پذیرش و یا عدم پذیرش سازه بتنی علاوه بر نتایج آزمایشگاهی باید این پارامتر را نیز مورد بررسی و ارزیابی قرار داد، لذا در سیستم فازی مورد نظر که هدف آن اظهار نظر در مورد میزان مقبولیت قطعه بتنی در شرایط تصمیم گیری می باشد، چگونگی تأثیر این عوامل را بصورت یک پارامتر ورودی در نظر می گیریم.

بنابراین

در طراحی و مدل سازی سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی، از پارامتر کیفیت عملیات بتن ریزی به عنوان یکی از متغیرهای ورودی سیستم فازی استفاده می کنیم.

۱۳-۵ عمل آوردن و مراقبت از بتن :

پس از پایان عملیات بتن ریزی و جای گرفتن مخلوط بتنی در قالب، مرحله عمل آوردن و نگهداری بتن آغاز می شود. این مرحله یکی از مهمترین پارامترهایی است که نقش بسیار اساسی را در بدست آوردن بتنی مطلوب و مطابق انتظار ایفا می کند. همانگونه که در بخش مربوط به نگهداری و مراقبت از بتن بطور مفصل اشاره شد، کلیه دقتهای لازم در مورد انتخاب صحیح و بهینه طرح اختلاط و همچنین بهترین روش بتن ریزی ۶۰ تا ۷۰ درصد مقاومت بتن را تأمین می کند و حدود ۳۰٪ از مقاومت نهایی بتن منوط به چگونگی عمل آوردن و مراقبت از سازه بتنی پس از بتن ریزی می باشد و بهمین دلیل در همه آیین نامه ها ضوابط و قوانین خاصی را برای رعایت نکات لازم در هنگام مراقبت از بتن وضع کرده اند. نحوه نگهداری و مراقبت از بتن با توجه به نوع و مشخصات پروژه، شرایط محل اجرا و مصالح موجود برای عمل آوردن مشخص می گردد و عواملی نظیر سرعت باد، میزان تبخیر سطحی، دمای مخلوط هنگام ریختن، رطوبت محیط و دمای آن از جمله مواردی است که در نوع عمل آوردن و نگهداری از بتن مؤثر است. روشهای گوناگون و متفاوتی برای عمل آوردن و نگهداری از بتن موجود می باشد که هر کدام از این روشها در شرایط و موقعیت خاصی بر اساس معیارهای

موجود، مورد استفاده قرار می گیرند. آنچه حائز اهمیت است، کیفیت و نحوه اجرای این عملیات می باشد که تأثیر به سزایی در نتایج نهایی و بدست آوردن بتنی مطلوب دارد و باید در معیارهای پذیرش بتن کاملاً مورد بررسی و کنترل قرار گیرد.

بطور کلی عواملی را که در کیفیت عملیات عمل آوردن و مراقبت از بتن مؤثر می باشند را می توان به بخشهای زیر تقسیم بندی کرد :

۱- انتخاب صحیح روش نگهداری و مراقبت از بتن

۲- کیفیت اجرای روش انتخاب شده در مراقبت از سازه بتنی

۳- مدت زمان نگهداری و مراقبت از بتن

۱۳-۵-۱ انتخاب صحیح روش نگهداری و مراقبت از بتن :

با توجه با اینکه بتن ریزی در چه شرایطی از لحاظ موقعیت آب و هوایی صورت می پذیرد و یا سازه بتنی از چه میزان حساسیت برخوردار است، روشهای متفاوتی برای نگهداری و مراقبت از بتن وجود دارد که هر کدام از این روشها تنها برای همان شرایط قابل استفاده می باشند و در هنگام انتخاب آن باید ضوابط و نکات لازم را در نظر گرفت. در صورتی که در انتخاب روش نگهداری دقت کافی بعمل نیاید و بدون توجه به مشخصات پروژه و شرایط موجود از هر روش دلخواهی استفاده گردد، مخلوط بتنی هرگز به مقاومت مورد نظر نخواهد رسید و سازه بتنی نمی تواند تحت بارهای وارده به خوبی مقاومت نماید. از طرفی در صورتیکه در انتخاب نوع روش نگهداری توجه کامل صورت گیرد و از روشی سازگار با شرایط استفاده گردد، می توان بهترین خصوصیات و قابلیتها را حتی بیشتر از آنچه از آن انتظار می رود از سازه بتنی بدست آورد.

۱۳-۵-۲ کیفیت اجرای روش نگهداری و مراقبت از بتن :

پس از آنکه روش صحیح نگهداری و مراقبت از بتن انتخاب گردید، در اجرای روش انتخابی باید دقت و توجه کافی صورت گیرد تا با اجرای صحیح و اصولی، بتوان نتایج دلخواه را بدست آورد. در صورتی که بهترین روش برای عمل آوردن و مراقبت از بتن انتخاب گردد اما در انجام آن دقت کافی وجود نداشته باشد و بصورت صحیح و با کیفیت خوب اجرا نگردد، می تواند تأثیرات غیر قابل قبول را در سازه بتنی ایجاد نماید. داشتن مهارت کافی برای انجام روش انتخابی، استفاده از ابزار و وسایل

سالم و منطبق با روش مورد نظر و رعایت کلیه نکات لازم در طول زمان مراقبت از جمله مواردی است که در کیفیت اجرای عملیات مراقبت و نگهداری از سازه بتنی نقش به سزایی را ایفا می کند.

۱۳-۵-۳ مدت زمان نگهداری و مراقبت از سازه بتنی :

بطور کلی نگهداری و مراقبت از سازه بتنی از آغاز زمان بتن ریزی تا پایان عمر سازه ادامه دارد و در هر زمان باید تدابیر خاصی را برای حفظ سلامت و دوام آن اتخاذ نمود، اما آنچه بیشتر از همه در کیفیت و خصوصیات قطعه بتنی مؤثر می باشد، نگهداری و مراقبت از بتن در هفته های اولیه اجرای آن می باشد. مدت زمان مراقبت به عواملی نظیر نوع سیمان، مقاومت مورد نظر، نسبت سطوح نمایان به حجم، شرایط آب و هوایی به هنگام ساخت و ریختن بتن و نهایتاً شرایط رویارویی بستگی دارد و با توجه به هر کدام از موارد گفته شده این زمان متفاوت می باشد. لذا در صورتیکه مدت زمان مناسب برای نگهداری و مراقبت از بتن در نظر گرفته نشود، به علت آسیبها و نقطه ضعفهایی که ممکن است در هفته های اولیه در اثر عدم مراقبت کافی از بتن تا زمان رسیدن به مقاومت کافی، بر سازه بتنی وارد شود، تأثیرات غیر قابل قبول جبران ناپذیری را بوجود آورد.

با توجه به توضیحات ارئه شده در مورد چگونگی تأثیر کیفیت اجرای عملیات نگهداری و مراقبت از بتن بر خصوصیات سازه بتنی بویژه مقاومت نهایی آن، می توان نتیجه گرفت که این پارامتر نیز از جمله موارد بسیار مهم و قابل توجه در امر تصمیم گیری در مورد مقبولیت و یا عدم مقبولیت سازه بتنی می باشد. به عبارت دیگر در هنگام بررسی کنترل کیفیت بتن و صدور حکم در مورد پذیرش و یا عدم پذیرش بتن کارگاهی علاوه بر نتایج آزمایشگاهی و کیفیت اجرای سازه بتنی، بررسی و ارزیابی نحوه مراقبت و عمل آوردن بتن نیز امری ضروری و مهم می باشد. ای بسا با وجود رضایت بخش بودن نتایج آزمایشگاهی و همچنین کیفیت بتن ریزی به سبب عدم رعایت نکات لازم در هنگام نگهداری و عمل آوردن بتن و کیفیت نامطلوب مراقبت از آن، سازه اجرا شده دارای تواناییها و قابلیتهای مورد انتظار نباشد. لذا به منظور طراحی سیستم فازی پذیرش بتن یکی از پارامترهایی که به عنوان ورودی در نظر گرفته می شود کیفیت نگهداری و مراقبت از سازه بتنی می باشد.

بنابراین

در سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی، از پارامتر کیفیت نگهداری و مراقبت از بتن نیز به عنوان ورودی سیستم فازی مورد بحث استفاده شده است.

۱۳-۶ نکات تکمیلی :

لازم به ذکر است علاوه بر پارامترها و عواملی که به عنوان متغیرهای مؤثر بر مقاومت نهایی سازه بتنی در امر تصمیم گیری در مورد پذیرش بتن به عنوان ورودی سیستم فازی در نظر گرفته شد، موارد دیگری نیز در این ویژگی بتن کارگاهی و میزان مقبولیت و یا عدم مقبولیت بتن مؤثر می باشند که از آن جمله می توان به شرایط آب و هوایی حاکم بر محل بتن ریزی و یا کیفیت دستگاه نظارت اشاره کرد. شرایط آب و هوایی مجموعه ای است از پارامترهایی نظیر رطوبت محیط بتن ریزی، میزان تبخیر سطحی، میزان درجه حرارت محل اجرای سازه بتنی، سرعت باد و ... که پرداختن بر چگونگی تأثیر هر کدام از این عوامل بر مقاومت سازه و بیان آنها بصورت قواعد قابل تجزیه و تحلیل توسط سیستم فازی مورد نظر، نیازمند انجام آزمایشهای خاص در فصلهای متفاوت و در مکانهای مختلف از لحاظ موقعیت آب و هوایی می باشدکه با توجه به محدودیتهای موجود امکان پذیر نمی باشد. بهمین دلیل انتخاب پارامترهای مؤثر بر مقاومت بتن و پذیرش آن به طریقی صورت گرفته است که چگونگی تأثیر عواملی نظیر موارد گفته شده در آن بصورت غیر مستقیم لحاظ گردیده باشد. به عنوان مثال زمانی که از کیفیت و چگونگی نگهداری و مراقبت از بتن صحبت می کنیم و انتخاب صحیح روش مراقبت را با توجه به شرایط موجود مورد بررسی قرار می دهیم در حقیقت شرایط آب و هوایی را نیز در آن دخالت داده ایم، بدین معنی که همانگونه که می دانیم یکی از پارامترهای مؤثر در انتخاب روش صحیح نگهداری از بتن شرایط آب و هوایی حاکم بر محل می باشد، لذا زمانی که این عامل را کنترل می کنیم بطور غیر مستقیم شرایط آب و هوایی را نیز مورد بررسی قرار داده ایم. همچنین هنگامی که از کیفیت اجرای سازه بتنی و عملیات بتن ریزی به عنوان یکی از ورودیهای سیستم سخن می گوییم، چگونگی نظارت بر کلیه اعمال انجام شده در طول زمان اجرای عملیات بتن ریزی اعم از کنترلهای لازم قبل وبعد از آن را که منوط به کیفیت دستگاه اجرایی و نظارت می باشد، مورد بررسی و ارزیابی قرار داده ایم، به عبارت دیگر در صورت عدم کیفیت مطلوب نحوه بتن ریزی می توان به راحتی به عدم کیفیت کافی دستگاه نظارت نیز پی برد.

یا عدم مقبولیت سازه بتنی نیازمند بررسی پارامترهای مؤثر در این مرحله هستیم و آن را به عنوان ورودی سیستم فازی در نظر می گیریم. چگونگی تأثیر این پارامتر را به منظور بررسی همه جانبه آن، در چهار بخش کنترل می نماییم :

الف - کیفیت رعایت نکات لازم قبل از بتن ریزی در محل اجرای سازه بتنی

ب - انتخاب صحیح نوع روش بتن ریزی بر اساس شرایط و مشخصات پروژه ، نوع سازه بتنی و ....

ج - مهارت و تجربه نیروی متخصص و کارگران بتن ریز

د - کیفیت وسایل و دستگاههای مورد استفاده در بتن ریزی

۴- به منظور بررسی عوامل و پارامترهایی که در مرحله عمل آوردن و مراقبت از سازه بتنی در مقاومت نهایی بتن مؤثر می باشند و کنترل همه جانبه آن چگونگی تأثیر این پارامتر را در سیستم فازی مورد بحث در سه بخش مورد ارزیابی قرار می دهیم :

الف - انتخاب صحیح روش نگهداری و مراقبت از بتن

ب - کیفیت اجرای روش انتخاب شده در مراقبت از سازه بتنی

ج - مدت زمان نگهداری و مراقبت از بتن

۵- ورودیهای سیستم فازی، به گونه ای انتخاب گردیده اند تا سایر پارامترهایی که نمی توان با توجه محدودیتهای موجود به صورت مستقیم مورد ارزیابی قرار داد را در خود جای دهند و به صورت غیر مستقیم تأثیر این عوامل (مانند شرایط آب و هوایی و کیفیت دستگاه نظارت) را نیز در هنگام تصمیم گیری در مورد سازه بتنی مورد ارزیابی قرار داده باشیم.

۶- خروجی سیستم فازی و در حقیقت آنچه از سیستم کنترل فازی مورد بحث انتظار می رود ، تصمیم گیری در مورد میزان مقبولیت و یا عدم مقبولیت سازه بتنی می باشد، لذا در این سیستم، خروجی، پاسخ به این سؤال است که آیا بتن مورد قبول می باشد و یا خیر؟

۱۳-۷ خلاصه فرضیات طراحی :

به منظور ساخت و مدل سازی سیستم فازی پذیرش بتن نیازمند در اختیار داشتن اطلاعاتی هستیم که بوسیله آن بتوانیم در شرایط تصمیم گیری در مورد سازه بتنی، از طریق آنها تصمیمی منطقی، صحیح و با درجه اطمینان بالا را اتخاذ نماییم. از طرفی با توجه با اینکه اطلاعات مورد نیاز در برای تصمیم گیری، عواملی است که در مقاومت نهایی قطعه بتنی تأثیرگذار می باشد، لذا با بررسی کلیه پارامترها و عوامل مؤثر بر مقاومت نهایی سازه بتنی آنها را به عنوان ورودیهای سیستم فازی در مدل فازی مورد بحث در نظر می گیریم، این مهم، در این فصل انجام پذیرفت. در ادامه خلاصه ای از آنچه مطرح گردید ارائه می گردد :

۱- عوامل و پارامترهایی که در نتایج نهایی مقاومت سازه بتنی مؤثر می باشند را با توجه به فرایندی که بتن از آغاز خلقت تا زمان بهره برداری طی می کند، می توان در سه مرحله تقسیم بندی نمود :

الف - ساخت مخلوط بتنی و انتقال آن به محل اجرا

ب - اجرای عملیات بتن ریزی

ج - عمل آوردن و مراقبت از سازه بتنی تا زمان بهره برداری

۲- با توجه با اینکه پارامترهایی که در مرحله ساخت و انتقال به محل اجرا در مقاومت نهایی بتن مؤثر هستند، تأثیر خود را در نتایج آزمایشگاهی نشان می دهند و به عبارت دیگر با در اختیار داشتن نتایج آزمایشگاهی نیازی به کنترل این عوامل به منظور تصمیم گیری نمی باشد، لذا با در نظر گرفتن نتایج آزمایشگاهی به عنوان ورودی سیستم فازی، تأثیر این عوامل را نیز مورد بررسی قرار داده ایم. بنابراین اولین ورودی سیستم فازی مورد بحث، نتایج آزمایشگاهی بدست آمده از آزمایش نمونه های بتنی قبل از بتن ریزی می باشد.

۳- عوامل و پارامترهایی که در مرحله عملیات بتن ریزی در مقاومت نهایی سازه بتنی مؤثر می باشند، تأثیر خود را در نتایج آزمایشگاهی نمونه های بتنی نشان نمی دهند، زیرا آزمایشهای انجام شده قبل از بتن ریزی صورت می گیرد و در واقع پس از آن معمولاً هیچگونه آزمایش خاصی بر روی بتن صورت نمی پذیرد (مگر در شرایط خاص). لذا به منظور تصمیم گیری صحیح در مورد مقبولیت و

فصل چهاردهم

طراحی سیستم فازی

۱۴-۱ مقدمه :

پس از مشخص شدن متغیرهای ورودی و خروجی سیستم فازی مورد نظر و تعیین هدف اصلی از ساخت مدل فازی برای تصمیم گیری در مورد مقبولیت و یا عدم مقبولیت سازه بتن کارگاهی، در این بخش به طراحی و ساخت سیستم فازی پذیرش بتن می پردازیم.

برای ساخت یک سیستم که بر اساس اصول حاکم بر منطق فازی و سیستمهای فازی به استدلال و استنتاج می پردازد، همانگونه که در فصلهای مربوط به منطق و سیستمهای فازی مطرح گردید، ابتدا باید هرکدام از اجزای تشکیل دهنده این سیستم که عبارت اند از پایگاه قواعد فازی، متغیرهای ورودی و خروجی، فازی سازها و غیر فازی سازها و همچنین موتور استنتاج فازی مشخص گردند تا بتوان به تجزیه و تحلیل سیستم مورد نظر پرداخت. در ادامه این بخش هر کدام از اجزای تشکیل دهنده سیستم فازی مورد نظر با توجه به فرضیات عنوان شده در فصل قبل و نیز نحوه ساخت آنها با توجه به اصول و قواعد حاکم بر ساخت و طراحی سیستمهای فازی مورد بررسی و ارزیابی قرار می گیرد تا با ساخت و ایجاد سیستم فازی مورد نظر بتوان در فصلهای بعد به تجزیه و تحلیل این سیستم و بررسی نتایج آن پرداخت.

۱۴-۲ پایگاه قواعد فازی :

همانگونه که می دانیم پایگاه قواعد فازی مهم ترین و اصلی ترین بخش یک سیستم فازی را تشکیل می دهد و در واقع قلب یک سیستم فازی مبتنی بر پایگاه قواعد فازی می باشد. زیرا کلیه استدلالها و

استنتاجهایی که در یک سیستم فازی صورت می پذیرد، بر اساس همین پایگاه قواعد فازی است که بر اساس دانش و قواعد حاکم بر موضوع مورد بحث فراهم می گردد.

پذیرش و یا عدم پذیرش سازه بتنی و چگونگی تصمیم گیری در مورد قطعه بتنی اجرا شده در کارگاه توسط مهندسان صاحب نظر و تصمیم گیرنده صورت می پذیرد. این مهندسان به عنوان یک شخص خبره با در اختیار داشتن نتایج آزمایشگاهی حاصل از آزمایش نمونه های بتنی برگرفته از بتن مورد نظر و مقایسه آن با ضوابط و مقررات موجود در آیین نامه (پذیرش مخلوط بتنی) و همچنین بررسی و کنترل سایر نکاتی که در بخشهای گذشته مطرح گردید، در مورد سازه مورد نظر تصمیم گیری می نمایند. اما به جز نتایج آزمایشگاهی که اصول و ضوابط کنترلی آن به منظور پذیرش بتن در آیین نامه ها ذکر گردیده است، بررسی و ارزیابی سایر پارامترها نظیر کیفیت عملیات بتن ریزی و یا نحوه نگهداری و مراقبت از سازه بتنی و چگونگی تأثیر آنها در مقاومت نهایی سازه بتنی امری است که در مورد آن قواعد قطعی خاصی وجود ندارد. البته لازم به ذکر است که در آیین نامه ها ضوابطی برای رعایت این نکات در هنگام بتن ریزی ارائه گردیده است، اما قوانین و یا فرمولهای دقیقی برای میزان تأثیر آنها و نیز معیارهایی برای مقایسه و ارزیابی در رویارویی با شرایط تصمیم گیری (به علت کیفی بودن و وجود عدم قطعیت در آنها) وجود ندارد. در واقع شخص تصمیم گیرنده این مهم را با استفاده از تخصص و مهارت و کسب سالها تجربه و فعالیت در کارگاههای اجرای سازه های بتنی بدست می آورد و بر اساس آن به تصمیم گیری در مورد بتن اجرا شده و رد یا پذیرش آن می پردازد.

برای فراهم نمودن پایگاه قواعد فازی در مورد میزان مقبولیت و یا عدم مقبولیت سازه بتنی با توجه به آنچه مطرح گردید، نیازمند فرموله کردن دانش، تجارب و مهارتهای انسانهای خبره می باشیم تا از طریق آن بتوانیم به ساخت پایگاه قواعد فازی بپردازیم. از سویی دیگر این اشخاص تجارب، دانش و مهارت خود را در مورد ارزیابی شرایط موجود در هنگام تصمیم گیری و چگونگی تأثیر آنها در رد یا پذیرش سازه بتنی با زبان طبیعی و بیان قواعدی بصورت اگر- آنگاه مطرح می نمایند و از مفاهیمی نظیر شرایط کارگاهی خوب، بد و یا نتایج آزمایشگاهی قابل قبول و یا تقریباً قابل قبول در بیان شرایط موجود استفاده می نمایند. به عنوان مثال :

« **اگر** نتایج آزمایشگاهی تقریباً قابل قبول باشد و شرایط کارگاهی نیز عالی باشد، **آنگاه** بتن مورد قبول است » لازم به ذکر است که به عنوان مثال از دید شخص خبره نتایج آزمایشگاهی تقریباً قابل قبول زمانی است که مقاومت بدست آمده از آزمایش نمونه های بتنی در حدود ۹۰٪ مقاومت مورد نظر باشد.

بنابراین برای فراهم نمودن پایگاه قواعد فازی سیستم مورد نظر بر اساس دانش افراد خبره، نیازمند جمع آوری اطلاعات و بدست آوردن قوانین طلایی از دانش و تخصص انسانهای خبره می باشیم.

در این پروژه به منظور ساخت قواعد فازی برای سیستم مورد نظر و جمع آوری اطلاعات و دانش انسانهای خبره، از اشخاص صاحب نظر و متخصص که سالهای زیادی را در کارگاههای مختلف بتنی به تصمیم گیری در مورد این سازه ها پرداخته و از تجربیات بالایی نیز برخوردار می باشند، خواسته شد تا دانش و تجربیات خود را بصورت قواعد **اگر**- آنگاه فازی بیان نمایند. برای رسیدن به این منظور فرم نظرسنجی فراهم گردید و در آن حالتهای مختلفی از شرایط رویارویی در هنگام تصمیم گیری مطرح گردید و از این اشخاص خواسته شد تا با توجه به موقعیت مطرح شده و همچنین بیان تعریف شخصی خویش از عبارات زبانی بکاربرده شده، در مورد سازه بتنی اظهار نظر نمایند.

نمونه ای از فرم نظرسنجی تهیه شده بصورت زیر می باشد :

۳-۱۴ فرم نظر سنجی :

حضورمحترم : .....

خواهشمند است با توجه به مفاهیم وتعاریف ارائه شده نسبت به پاسخگویی به سؤالات مطرح شده با توجه به تخصص، تجارب واظهار نظر مهندسی خویش، اقدام فرمایید.

۱- تعاریف :

۱-۱ نتایج آزمایشگاهی:

با توجه به اینکه به منظورپذیرش یک سازه بتنی از نتایج آزمایشگاهی بدست آمده ازنمونه های بتنی استفاده می شود، فرض کنید نتایج بدست آمده را به سه گروه نتایج : **غیر قابل قبول ، تقریباً قابل**

قبول و **قابل قبول** تقسیم بندی کنیم. معیار این تقسیم بندی بر اساس مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی و مقاومت مشخصه سازه مورد نظر است. تعریف و طبقه بندی نتایج آزمایشگاهی در هر یک از سه گروه مطرح شده بر اساس تصمیم گیری شما است که با توجه به تشخیص مهندسی و تجارب شخصی تقسیم بندی می کنید.

۱-۲ کیفیت بتن ریزی و دستگاه اجرایی:

کیفیت بتن ریزی و دستگاه اجرایی عبارت است از:

الف:نحوه اجرای کلیه نکات لازم که باید قبل از عملیات بتن ریزی در محل انجام پذیرد، از قبیل بازدیدها، بازرسی ها و کنترلهای قالب بتنی، آرماتوربندی و...

ب:انتخاب صحیح نوع روش بتن ریزی بر اساس شرایط و مشخصات پروژه، نوع سازه بتنی و ...

ج:مهارت نیروی متخصص در اجرای عملیات بتن ریزی مانند مهارت در ریختن و پخش کردن بتن، تراکم بتن و...

بر اساس این پارامترها، فرض کنید که کیفیت بتن ریزی و دستگاه اجرایی به سه گروه: **ضعیف** ، **متوسط** و **عالی** تقسیم شود. معیار این تقسیم بندی بر اساس مطالب مطرح شده با توجه به تجربه، تخصص و اظهار نظرمهندسی صورت می پذیرد.

۱-۳ نحوه نگهداری و عمل آوردن بتن :

نحوه نگهداری و عمل آوردن سازه بتنی، عبارت است از کیفیت و چگونگی اجرای عملیات مراقبت و عمل آوردن سازه بتنی که بعد از ریختن مخلوط بتن آغاز می شود و شامل موارد زیر است :

الف: کیفیت انتخاب صحیح روش نگهداری با توجه به نوع و مشخصات پروژه، شرایط محل اجرا ومصالح موجود برای عمل آوردن

ب: کیفیت اجرای روش انتخاب شده در مراقبت از سازه بتنی با توجه به کیفیت و ابزار مورد استفاده

ج: مدت زمان نگهداری و مراقبت از بتن با توجه به نوع سازه، مقاومت مورد نظرو...

فرض کنید بر اساس مطالب ارائه شده، نحوه نگهداری و عمل آوردن به سه گروه : **ضعیف** ، **متوسط** و **عالی** تقسیم بندی شود. معیار قرار گرفتن در هر یک از این سه گروه بر اساس تشخیص و تخصص مهندس تصمیم گیرنده و اهمیتی است که به هر یک از پارامترهای مؤثر می دهد.

۱-۴ پذیرش بتن :

پذیرش بتن، عبارت است از نتیجه نهایی تصمیم گیری افراد متخصص و صاحب نظر در مورد پذیرش سازه بتنی و میزان مقبولیت بتن مورد نظر. بر اساس این تصمیم گیری فرض کنید، پذیرش بتن را به دو گروه : **بتن مورد قبول نیست** و **بتن مورد قبول است** طبقه بندی کنیم. معیار تعریف هر کدام از این دو گروه بر اساس نظر اشخاص تصمیم گیرنده صورت می پذیرد.

۲- بیان مفاهیم :

خواهشمند است در این قسمت معیارها و نظر شخصی خود را نسبت به درجه بندی هر یک از گروههای تعریف شده بیان فرمایید.

۲-۱ نتایج آزمایشگاهی :

۲-۱-۱غیر قابل قبول : .....

۲-۱-۲ تقریبا قابل قبول : .....

۲-۱-۳ قابل قبول : .....

(به عنوان مثال : زمانی نتایج غیر قابل قبول است که مقاومت بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی کمتر از ضریبی از مقاومت مشخصه باشد، هدف تعیین ضریب مد نظر است.)

۲-۲ کیفیت بتن ریزی و دستگاه اجرایی :

۲-۲-۱ ضعیف : .....

۲-۲-۲ متوسط : .....

۲-۲-۳ عالی : .....

۲-۳ نحوه نگهداری و عمل آوردن :

۲-۳-۱ ضعیف :.....

۲-۳-۲ متوسط : .....

۲-۳-۳ عالی : .....

۳- پرسشنامه :

فرض کنید دریک کارگاه بتن ریزی قرار است، در مورد پذیرش سازه بتنی اظهار نظر کنید٠ در هر یک از سؤالات مطرح شده یک موقعیت از شرایط موجود عنوان گردیده است٠

خواهشمند است با توجه به معیارهایی که در نظر گرفته اید به سؤالات پاسخ دهید٠

۱- اگر نتایج آزمایشگاهی **غیر قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریزی **ضعیف**، نحوه نگهداری و عمل آوردن **ضعیف** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۲- اگر نتایج آزمایشگاهی **غیر قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریزی **ضعیف**، نحوه نگهداری و عمل آوردن **متوسط** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۳- اگر نتایج آزمایشگاهی **غیر قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریزی **ضعیف**، نحوه نگهداری و عمل آوردن **عالی** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۴- اگر نتایج آزمایشگاهی **غیر قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریزی **متوسط**، نحوه نگهداری و عمل آوردن **ضعیف** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۵- اگر نتایج آزمایشگاهی **غیر قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریزی **متوسط**، نحوه نگهداری و عمل آوردن **متوسط** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۶- اگر نتایج آزمایشگاهی **غیر قابل** قبول، کیفیت بتن ریـزی و دسـتگاه بـتن ریـزی **متوسـط**، نحـوه نگهداری و عمل آوردن **عالی** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۷- اگر نتایج آزمایشگاهی **غیر قابل** قبول، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریزی **عالی**، نحوه نگهداری و عمل آوردن **ضعیف** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۸- اگر نتایج آزمایشگاهی **غیر قابل** قبول، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریزی **عالی**، نحوه نگهداری و عمل آوردن **متوسط** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۹- اگر نتایج آزمایشگاهی **غیر قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریزی **عالی**، نحوه نگهداری و عمل آوردن **عالی** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۱۰- اگر نتایج آزمایشگاهی **تقریباً قابل** قبول، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریـزی **ضـعیف**، نحـوه نگهداری و عمل آوردن **ضعیف** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۱۱- اگر نتایج آزمایشگاهی **تقریباً قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریـزی **ضـعیف**، نحـوه نگهداری و عمل آوردن **متوسط** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۱۲- اگر نتایج آزمایشگاهی **تقریباً قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریـزی **ضـعیف**، نحـوه نگهداری و عمل آوردن **عالی** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۱۳- اگر نتایج آزمایشگاهی **تقریباً قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریزی **متوسـط**، نحـوه نگهداری و عمل آوردن **ضعیف** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۱۴- اگر نتایج آزمایشگاهی **تقریباً قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریزی **متوسـط**، نحـوه نگهداری و عمل آوردن **متوسط** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۱۵- اگر نتایج آزمایشگاهی **تقریباً قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریزی **متوسـط**، نحـوه نگهداری و عمل آوردن **عالی** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۱۶- اگر نتایج آزمایشگاهی **تقریباً قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دسـتگاه بـتن ریـزی **عـالی**، نحـوه نگهداری و عمل آوردن **ضعیف** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۱۷- اگر نتایج آزمایشگاهی **تقریباً قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دسـتگاه بـتن ریـزی **عـالی**، نحـوه نگهداری و عمل آوردن **متوسط** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۱۸- اگر نتایج آزمایشگاهی **تقریباً قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریزی **عالی**، نحوه نگهداری و عمل آوردن **عالی** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۱۹- اگر نتایج آزمایشگاهی **قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریزی **ضعیف**، نحوه نگهداری و عمل آوردن **ضعیف** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۲۰- اگر نتایج آزمایشگاهی **قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریزی **ضعیف**، نحوه نگهداری و عمل آوردن **متوسط** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۲۱- اگر نتایج آزمایشگاهی **قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریزی **ضعیف**، نحوه نگهداری و عمل آوردن **عالی** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۲۲- اگر نتایج آزمایشگاهی **قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریزی **متوسط**، نحوه نگهداری و عمل آوردن **ضعیف** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۲۳- اگر نتایج آزمایشگاهی **قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریزی **متوسط**، نحوه نگهداری و عمل آوردن **متوسط** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۲۴- اگر نتایج آزمایشگاهی **قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریزی **متوسط**، نحوه نگهداری و عمل آوردن **عالی** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۲۵- اگر نتایج آزمایشگاهی **قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریزی **عالی**، نحوه نگهداری و عمل آوردن **ضعیف** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۲۶- اگر نتایج آزمایشگاهی **قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریزی **عالی**، نحوه نگهداری و عمل آوردن **متوسط** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۲۷- اگر نتایج آزمایشگاهی **قابل قبول**، کیفیت بتن ریزی و دستگاه بتن ریزی **عالی**، نحوه نگهداری و عمل آوردن **عالی** باشد، آنگاه بتن .....

الف- مورد قبول نیست ب- مورد قبول است

ج- نمی توان اظهار نظر کرد

۴- تجربه عملی

در صورتیکه نمونه عملی از یک سازه بتنی درشرایط کارگاهی و نتایج نهایی تصمیم گیری در مورد آن به خاطر دارید با ذکر شرایط بر اساس مطالب گفته شده بیان نمایید.

نوع سازه :.....

نتایج آزمایشگاهی :.....

کیفیت بتن ریزی و نتایج آزمایشگاهی : .....

نحوه نگهداری و عمل آوردن : .....

پذیرش بتن : .....

۴-۱۴ تشکیل قواعد فازی

همانگونه که در مباحث مربوط به چگونگی ساخت پایگاه قواعد فازی در فصلهای گذشته عنوان گردید، یکی از راههای ایجاد پایگاه قواعد استفاده از دانش اشخاص خبره در قالب قوانین فازی برای استدلال و استنتاج موضوع مورد بررسی می باشد.

با تهیه فرم نظرسنجی و ارائه آن به اشخاص خبره و صاحب نظر از لحاظ تخصص، مهارت و تجربه می توان دانش و آگاهیهای آنان را در نحوه تصمیم گیری در مورد مقبولیت و یا عدم مقبولیت سازه بتنی بصورت قواعد **اگر - آنگاه** فازی جمع آوری نمود. در حقیقت این نظر سنجی و سؤالات مطرح شده در آن، اشخاص خبره را در موقعیت تصمیم گیری قرار می دهد و چگونگی واکنش آنان را در رویارویی با چنین شرایطی بررسی و ارزیابی می نماید. به این ترتیب با جمع آوری پاسخها و تصمیمی که این اشخاص با توجه به موقعیت عنوان شده اتخاذ می نمایند، می توان دانش خبره را در قالب قواعد فازی مدل سازی نمود و به عنوان پایگاه قواعد فازی مورد استفاده قرار داد.

در تهیه فرم نظر سنجی و ساختار آن نکات قابل توجهی وجود دارد که در ادامه بحث به آن اشاره می کنیم :

۱- عوامل و پارامترهایی که به عنوان معیارهای تصمیم گیری در اختیار اشخاص خبره قرار می گیرد، در حقیقت همان عوامل و پارامترهایی است که در بخش گذشته به عنوان عوامل مؤثر در مقاومت نهایی سازه بتنی عنوان گردید.

۲- در بیان و تعریف هر کدام از عبارات زبانی مربوط به پارامترهای در نظر **گرفته** شده از همان عباراتی استفاده شده است که عموماً مهندسان و اشخاص صاحب نظر در هنگام تصمیم گیری از آنها برای توصیف موقعیت و شرایط موجود استفاده می کنند. نظیر شرایط کارگاهی خوب، بد، عالی و ...

۳- با توجه به توضیحات داده شده در ابتدای فرم نظرسنجی و مشخص کردن معیارها و نکاتی که می تواند در هر کدام از پارامترها مؤثر باشد، این امکان فراهم گردیده است تا کلیه عوامل مؤثر بر مقاومت نهایی سازه بتنی در تعریف هر کدام از پارامترها و بیان عبارات زبانی توسط اشخاص خبره مورد توجه قرار گیرد و در حقیقت پاسخ این اشخاص بصورتی همه جانبه کلیه مسائل را مورد بررسی

قرار دهد و به عبارتی پاسخی کامل و با در نظر گرفتن همه جوانبی باشد کـه در ایـن تصـمیم گیـری مؤثر است.

۴- با توجه به اینکه ممکن است در تعریفی که هر کدام از اشخاص در مورد عبارات زبانی نظیر قابل قبول و یا غیر قابل قبول ارائه می دهند، تعبیر خاصی وجود داشته باشد، لذا از آنان خواسته شده است تا معیار تقسیم بندی خویش را معین نمایند، زیرا ممکن است که دو شخص متفاوت یک منظور را در قالب دو عبارت مختلف بیان نمایند، در صورتیکه هر دو نفر یک منظور را دنبـال مـی نماینـد و تنهـا نحوه بیان آنها با یکدیگر متفاوت باشد. به این ترتیب در هنگام تشـکیل پایگـاه قواعـد فـازی از نتـایج بدست آمده، دچار تناقض در قواعد نخواهیم شد.

۵- چگونگی تعریف هر کدام از متغیرهای زبانی تعیین شـده توسـط اشـخاص خبـره در ایـن نظـر سنجی از قبیل تعبیر آنها از از عباراتی نظیر قابل قبول و یا غیر قابل قبول در مورد نتایج آزمایشگاهی می تواند در تعریف توابع عضویت برای هر کدام از عبارات زبانی عنوان شده در قسمت مربوط به فازی سازی متغیرهای ورودی کمک قابل ملاحظه ای را فراهم آورد.

۶- تعداد موقعیت های مطرح شده در این نظرسنجی کلیه حالتهای ممکن را بر اسـاس متغیرهـای تعریف شده در نظرگرفته است. این امر سبب می شود تا در تعریف قواعد فازی بتوان پایگـاه قواعـدی کامل و همه جانبه را ایجاد نمود و از این طریق سیستم فازی با توانایی بـالای تصـمیم گیـری در هـر شرایطی را مدلسازی و طراحی نمود.

۷- ارائه کردن یک تجربه عملی از چگونگی تصمیم گیری در مـورد سـازه بتنـی خـاص در شـرایط کارگاهی توسط شخص خبره این امکان را فراهم می سازد تا پس از طراحی و ساخت سیسـتم فـازی مورد نظر بتوان به آزمایش این سیستم در شرایط عملی پرداخت و نتایج بدست آمده را مورد مقایسـه و ارزیابی قرار داد.

۵-۱۴ نتایج بدست آمده از نظرسنجی

پس از تهیه فرم نظرسنجی به منظور بدست آوردن پایگاه قواعد فازی بصورت قواعد اگر- آنگاه، این فرم در اختیار تعدادی از اشخاص صاحب نظر و دارای تخصص و تجربه در زمینه بتن شناسی و نیز افرادی که سالهای زیادی را در کارگاههای مختلف بتنی در زمینه ساخت و اجرای سازه بتنی دارای مهارت و تجربه می باشند، به عنوان اشخاص خبره قرار داده شد. پس از جمع آوری اطلاعات بدست آمده و تجزیه و تحلیل آنها مجموعه ای از قواعد فازی فراهم گردید که در مدلسازی سیستم فازی مورد استفاده قرار خواهند گرفت. با توجه به اینکه امکان مطرح ساختن، بحث و بررسی هر کدام از اطلاعات بدست آمده از فرمهای نظر سنجی به سبب طولانی شدن مطالب میسر نمی باشد، لذا در ادامه بحث تنها نتایجی را که از بررسی و ارزیابی این نظرسنجی می توان گرفت، بصورت مختصر ارائه می نماییم. لازم به ذکر است که این نظرسنجی از تعداد ۲۰ نفر از افراد خبره انجام شد و نتایج زیر حاصل گردید :

۱- همانگونه که انتظار می رفت، تمامی نظرسنجیهای بدست آمده از افراد حکایت از آن دارد که اکثر قریب به اتفاق این افراد در بیان معیاری قابل اندازه گیری برای چگونگی تعبیرشان از عبارات زبانی تعریف شده در مورد پارامترهای کیفیت بتن ریزی و نگهداری بتن دچار عدم قطعیت می باشند و علیرغم اینکه در هنگام تصمیم گیری و پاسخگویی از عبارات زبانی استفاده می کنند، یک پارامتر و معیار قابل اندازه گیری واحد را برای تقسیم بندی شرایط کارگاهی در عبارات زبانی در نظر گرفته شده از قبیل خوب و یا بد مشخص نکردند. این افراد در حقیقت در تعریف از متغیرهایی زبانی نظیر خوب، متوسط و یا عالی بر اساس در نظر گرفتن کلیه عوامل، مجموعه ای از پارامترها را در نظر گرفته اند. به عنوان مثال در تعریف معیاری برای کیفیت بتن ریزی از پارامترهایی مانند میزان تخصص دستگاه اجرایی و سابقه کارهای گذشته آن، میزان سابقه کارگران و نیروهای بتن ریز و نیز عنوان کردن نام دستگاههای خاص بتن ریزی استفاده نموده اند و از ترکیب این پارامترها در تقسیم بندی خویش استفاده نموده اند.

۲- در حدود ۹۹٪ پاسخها، افراد خبره در تعریف از عبارات زبانی مربوط به نتایج آزمایشگاهی از ضوابط آیین نامه در مورد پذیرش بتن با قائل شدن اندکی تقریب استفاده نموده اند و ضرایبی را که به

عنوان معیار تقسیم بندی نتایج آزمایشگاهی به سه گروه غیر قابل قبول، تقریباً قابل قبول و قابل قبول در نظر گرفته اند، بر اساس مشخص کردن ضریبی از مقاومت مورد نظر طراح مـی باشـد. (بـه عنـوان مثال زمانی نتایج آزمایشگاهی غیرقابل قبول است که میانگین مقاومت نمونه هـای مـورد آزمـایش از ۹۰٪ مقاومت مورد نظر کمتر باشد.)

۳- اکثریت قریب به اتفاق پاسخها (۸۵٪) در شرایط مشابه یکسان می باشد و تنهـا دارای اخـتلاف اندکی در چگونگی تعریـف هـر یـک از عبـارات زبـانی مـی باشـند، بـه عنـوان مثـال عـده ای نتـایج آزمایشگاهی را زمانی غیرقابل قبول دانسته اند که کمتر از ۹۵٪ مقاومت مورد نظر باشد و عده ای این ضریب را ۹۰٪ عنوان کرده اند. اما پاسخ آنها به تصمیم گیری در شرایطی که نتایج آزمایشـگاهی غیـر قابل قبول می باشد یکسان است.

۴- تجربه های عملی که این افراد در مورد نحوه تصمیم گیری در شرایط خاص ارائه نموده اند، حاکی از آن است که در مواردی علیرغم رضایت بخش بودن نتـایج آزمایشـگاهی بـه علـت نـامطلوب بـودن کیفیت سایر پارامترهای مؤثر، پس از انجام آزمایشهای مورد درخواست دستگاه نظارت (مغزه گیـری) مشخص گردیده است که بتن اجراشده دارای تواناییهای مورد انتظار نمی باشد و این خـود دلیلـی بـر میزان اهمیت کنترل سایر عوامل در هنگام تصمیم گیری می باشد.

۵- پس از بررسی کلیـه نظرسـنجیهای انجـام شـده و مقایسـه پاسـخهای داده شـده در شـرایط و موقعیتی که توصیف گردیده بود و با توجه به شباهت بسیار زیاد نتایج بدست آمده، می توان بـه ایـن نتیجه رسید که در تهیه و جمع آوری اطلاعات لازم برای تشکیل پایگاه قواعد فازی و فرمولـه کـردن دانش خبره در زمینه مورد بررسی نیازی به داشتن اطلاعات آماری فراوان از افراد مختلف در چگونگی تصمیم گیری نمی باشد، زیرا تقریباً تمامی انسانهای خبره در پاسخ به رد یا قبول یک سـازه بتنـی در موقعیت و شرایط عنوان شده دارای یک نظر و عقیده می باشند و تنهـا معیارهـایی کـه بـرای بیـان و تعریف عبارات زبانی قائل هستند دارای تفاوتهای بسیار اندکی می باشد. به عبارت دیگر به عنوان مثال تمامی افراد خبره در زمانی که نتایج آزمایشگاهی تقریباً قابل قبول می باشد، اما کیفیـت بـتن ریـزی ضعیف و نحوه نگهداری و عمل آوردن ضعیف می باشد، حکم به عدم مقبولیت سازه بتنی می دهند و در صدور این حکم دارای اتفاق نظر می باشند.

به این ترتیب مطابق آنچه مطرح گردید با توصیف موقعیتی خاص از شرایط رویارویی در هنگام تصمیم گیری برای انسانهای خبره، چگونگی تصمیم گیری آنها را بر اساس دانش، تخصص و تجربه به عنوان یک شخص خبره در قالب قواعد فازی مدلسازی می نماییم و در پایگاه قواعد فازی از آنها استفاده می کنیم.

جدول ۱۴-۵-۱ : چگونگی پاسخ به سؤالات نظرسنجی توسط افراد خبره

سؤال	گزینه الف	گزینه ب	گزینه ج	سؤال	گزینه الف	گزینه ب	گزینه ج
یک	۲۰	_	_	پانزده	_	۱۸	۲
دو	۲۰	_	_	شانزده	۱۵	۱	۳
سه	۲۰	_	_	هفده	_	۱۷	۳
چهار	۲۰	_	_	هجده	۲۰	_	_
پنج	۲۰	_	_	نوزده	۱۵	۲	۳
شش	۲۰	_	_	بیست	۱۴	۱	۵
هفت	۲۰	_	_	بیست و یک	۵	۱۲	۳
هشت	۲۰	_	_	بیست و دو	۱۵	۲	۳
نه	۱۷	_	۳	بیست و سه	_	۲۰	_
ده	۲۰	_	_	بیست و چهار	_	۲۰	_
یازده	۱۴	_	۶	بیست و پنج	۱۴	۱	۵
دوازده	۱۵	۱	۴	بیست و شش	_	۲۰	_
سیزده	۱۷	_	۳	بیست و هفت	_	۲۰	_
چهارده	۲	۱۷	۱				

اعداد مشخص شده در جدول ۱۴-۵-۱ نشان دهنده تعداد افرادی است که با توجه به هر یک از سؤالات یکی از گزینه ها را انتخاب نموده اند.

همانگونه که در جدول تعداد پاسخها نشان داده شده است، شباهت فراوانی میان تصمیم گیریهای انجام شده وجود دارد و این امری است که دور از انتظار نیز نیست، زیرا افراد خبره در شرایط یکسان، یک واکنش را نشان می دهند و این امر در حقیقت به سبب وجود دانشی است که تمامی افراد خبره آن را دارا می باشند و با توجه به مهارت، تجربه و تخصص آن را بصورت عملی اجرا می کنند، اما از بیان کردن آن به صورت عبارات دقیق و در قالب مدلهای ریاضی ناتوان می باشند.

با توجه به چگونگی پاسخهای داده شده و فراوانیهای موجود در نوع تصمیم گیری، پایگاه قواعد فازی را می توان بر اساس آن بنا نمود. لازم به ذکر است که به سبب اختلاف واضح و عینی مشاهده شده در تعداد پاسخها، در پایگاه قواعد فازی از گزینه هایی استفاده می کنیم که دارای بیشترین فراوانی می باشند. از سویی دیگر افرادی نیز که پاسخ آنها با دیگران متفاوت می باشد با کمی دقت در نوع تعریف آنها از عبارات زبانی و بررسی آن با سایر افراد خبره می توان نتیجه گرفت که آنها نیز در حقیقت به حکمی که دیگران در مورد سازه بتنی صادر کرده اند، معتقد می باشند اما از تعابیر دیگری استفاده نموده اند. به عنوان مثال پاسخ به سؤال چهارده را مورد بررسی قرار می دهیم :

همانگونه که در تعداد پاسخها مشاهده می شود، دو نفر گزینه الف و هفده نفر گزینه ب را انتخاب نموده اند. تعداد معدود افرادی که گزینه الف را انتخاب کرده اند، بیان و تعریف آنها از بتن تقریباً قابل قبول است، معادل تعریفی است که دیگران از عبارت بتن غیر قابل قبول است، ارائه کرده اند، و در واقع نحوه تقسیم بندی آنها برای تعریف سه عبارت زبانی مربوط به نتایج آزمایشگاهی به گونه ای است که عبارت تقریباً قابل قبول آنها بسیار نزدیک به تعریف دیگران از عبارت بتن غیر قابل قبول می باشد، است.

پاسخهای ارائه شده توسط افراد خبره را که در حقیقت نحوه تصمیم گیری آنها در موقعیت توصیف شده با توجه به شرایط موجود می باشد، می توان بصورت قواعد فازی مدلسازی نمود که به سبب طولانی شدن بحث از ذکر کلیه آنها خودداری می کنیم و تنها یکی از آنها را به عنوان نمونه درادامه تعریف می کنیم. با توجه به نوع پاسخها به سؤال یازدهم قاعده فازی را بصورت زیر می توان تعریف کرد :

« **اگر** نتایج آزمایشگاهی تقریباً قابل قبول، کیفیت بتن ریزی ضعیف و نحوه نگهداری و عمل آوردن بتن متوسط باشد، **آنگاه** بتن مورد قبول نیست . »

۱۴-۶ فازی سازی متغیرهای ورودی و خروجی :

همانگونه که در بخش مربوط به فرضیات طراحی عنوان گردید، در ساخت سیستم فازی پذیرش بتن از سه متغیر اصلی به عنوان ورودیهای سیستم فازی و یک متغیر به عنوان خروجی سیستم مورد نظر استفاده شد و با توجه به آنچه مطرح گردید، کلیه عوامل مؤثر بر مقاومت نهایی سازه بتنی در این پارامترها لحاظ گردید و در پایگاه قواعد فازی نیز از این متغیرها در تشکیل قواعد اگر - آنگاه فازی استفاده شد. متغیرهای ورودی سیستم عبارت اند از :

۱- نتایج آزمایشگاهی

۲- کیفیت عملیات بتن ریزی

۳- نحوه نگهداری و مراقبت از بتن

و متغیرخروجی سیستم فازی میزان مقبولیت سازه بتنی می باشد .

به منظور ساخت و مدل سازی سیستم فازی با توجه به اصول حاکم بر طراحی این سیستمها نیازمند فازی سازی و تعریف توابع عضویت برای هر یک از متغیرها با توجه به عبارات زبانی بکار رفته در پایگاه قواعد می باشیم. در ادامه بحث چگونگی فازی سازی هر یک از متغیرهای ورودی و خروجی مورد بررسی قرار می گیرد.

۱۴-۶-۱ نتایج آزمایشگاهی :

به منظور پذیرش بتن در کارگاههای بتن ریزی، اساسی ترین معیاری که مدنظر قرار می گیرد، نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های بتنی می باشد. پس از نمونه برداری و مشخص شدن نتایج آزمایش بر اساس ضوابط و مقررات موجود در آیین نامه ای که ملاک عمل می باشد، پذیرش بتن مورد ارزیابی قرار می گیرد. از سویی دیگر همانگونه که در نتایج بدست آمده از نظرسنجی نیز اشاره شد، افراد خبره نیز به منظور تعریف و بیان عبارات زبانی مطرح شده در مورد نتایج آزمایشگاهی از روابط کنترلی مربوط به ضوابط پذیرش بتن استفاده نموده اند. لذا آنچه در سیستم فازی مورد نظر اساس و پایه فازی سازی این متغیر قرار خواهد گرفت، ضوابط کنترلی و مقررات موجود در آیین نامه می باشد. با توجه به اینکه در این پروژه آیین نامه بتن ایران (آبا) مورد استفاده قرار گرفته است، لذا از ضوابط موجود در این آیین نامه برای پذیرش بتن کارگاهی استفاده می کنیم.

بر اساس بند ۶-۵-۲ آیین نامه بتن ایران (ضوابط پذیرش بتن- نمونه های عمل آمده در آزمایشگاه) چگونگی کنترل پذیرش بتن به صورت زیر می باشد :

۶-۵-۲-۱ مشخصات بتن در صورتی منطبق بر رده مورد نظر و قابل قبول می باشد که یکی از شرایط زیر برقرار باشد :

الف - در آزمایش سه نمونه متوالی، مقاومت هیچکدام کمتر از مقاومت مشخصه نباشد :

$$x_{1,2,3} \geq f_c$$

ب - متوسط مقاومت نمونه ها حداقل ۱/۵ نیوتن بر میلیمتر مربع بیشتر از مقاومت مشخصه باشد و کوچکترین مقاومت نمونه ها از مقاومت مشخصه منهای ۴ نیوتن بر میلیمتر مربع کمتر نباشد :

$$\overline{x}_3 \geq f_c + 1.5$$

$$x_{\min} \geq f_c - 4$$

۶-۵-۲-۲ مشخصات بتن در صورتی غیر قابل قبول می باشد که متوسط مقاومتهای نمونه ها از مقاومت مشخصه کمتر باشد یا کوچکترین مقاومت نمونه ها از مقاومت مشخصه منهای ۴ نیوتن بر میلیمتر مربع کمتر باشد :

$$x_{\min} \prec f_c - 4 \quad \text{OR} \quad \overline{x}_3 \prec f_c$$

۶-۵-۲-۳ مشخصات بتنی را که با توجه به شرایط بند ۶-۵-۲-۲ غیر قابل قبول نباشد، ولی مطابق شرایط بند ۶-۵-۲-۱ ب قابل قبول هم به شمار نیاید، می توان به تشخیص طراح بدون بررسی بیشتر قابل قبول از نظر سازه ای تلقی کرد.

در صورتیکه با توجه با ضوابط مطرح شده بتن مورد قبول واقع نشود، باید تدابیری برای حصول اطمینان از ظرفیت باربری سازه اتخاذ نمود که در بند ۶-۶ آیین نامه آبا مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از مواردیکه در بند ۶-۶ مطرح گردیده است، مغزه گیری از بتن اجرا شده می باشد که این مغزه گیری در قسمتهایی صورت می پذیرد که احتمال وجود بتن با مقاومت کمتر داده می شود.

۶-۶-۵ در قسمتهایی از سازه که مقاومت بتن از طریق آزمایش مغزه ها ارزیابی می شود، در صورتی بتن از نظر تأمین مقاومت قابل قبول تلقی می شود که متوسط مقاومتهای فشاری سه مغزه حداقل برابر ۰/۸۵ مقاومت مشخصه باشد و بعلاوه مقاومت هیچیک از مغزه ها از ۰/۷۵ مقاومت مشخصه کمتر نباشد.

با توجه به ضوابط کنترلی موجود در آیین نامه آبا، معیار اصلی کنترل پذیرش بتن کارگاهی، مقایسه مقاومت نمونه های آزمایش شده با مقاومت مشخصه بتن می باشد. لذا برای فازی سازی متغیر ورودی نتایج آزمایشگاهی و تعریف توابع عضویت مربوط به عبارات زبانی مد نظر، از متغیر عددی مقاومت استفاده خواهیم کرد و بر اساس مقایسه نتایج آزمایشگاهی و مقاومت مشخصه بتن، عبارات زبانی بتن **غیر قابل قبول** است، **تقریباً قابل قبول** است و بتن **قابل قبول** است را بصورت فازی تقسیم بندی خواهیم نمود و توابع عضویت را برای آنها تعریف خواهیم کرد.

قبل از فازی سازی این متغیر ذکر چند نکته ضروری می باشد. همانگونه که در روابط کنترلی مشخص می باشد، نتایج آزمایشگاهی شامل دو پارامتر مهم و اساسی در بررسی پذیرش بتن می باشد که عبارت است از میانگین مقاومت نمونه ها ($\overline{x}_3$) و نیز کوچکترین مقاومت بدست آمده از آزمایش سه نمونه بتنی (x_{min}). لذا در فازی سازی این متغیر و تعریف توابع عضویت نیازمند استفاده از هر دو پارامتر هستیم، بدین معنی که فازی سازی متغیر نتایج آزمایشگاهی بگونه ای باید صورت گیرد که سیستم فازی مورد نظر دارای این توانایی باشد تا برای اظهار نظر در مورد چگونگی نتایج بدست آمده، از هر دو پارامتر میانگین و کوچکترین مقاومت نمونه ها به عنوان ورودیهای سیستم استفاده نماید و سپس با مقایسه آنها با مقاومت مشخصه در مورد نتایج آزمایشگاهی قضاوت نماید. برای رسیدن به این هدف ابتدا بر اساس مقادیر میانگین و کوچکترین مقاومت نمونه ها معیار واحدی را معرفی می نماییم و بر اساس این پارامتر به تعریف توابع عضویت می پردازیم.

فرض کنید در نتایج بدست آمده از آزمایش نمونه های بتنی در یک کارگاه بتن ریزی اختلاف میان مقاومت میانگین نمونه ها و مقاومت مشخصه ۱/۶ نیوتن بر میلیمتر مربع باشد و یا کوچکترین مقاومت نمونه ها از مقاومت مشخصه ۴/۲ نیوتن بر میلیمتر مربع کمتر باشد. در این صورت با توجه به ضوابط آیین نامه ای این بتن مورد پذیرش نیست، در حالیکه ممکن است مشخصات بتن آزمایش شده اختلاف چندانی با آنچه مورد نظر می باشد، نداشته باشد و بطور یقین یک مهندس با تجربه در چنین مواقعی به منظور تصمیم گیری خود را محدود به چنین نامساویهایی نمی نماید و با وجود اختلافهایی چنین اندک بتن اجرا شده را مردود اعلام نمی کند در حقیقت در چنین وضعیتی با کاهش اندکی از سطح مقبولیت این بتن را خواهد پذیرفت. با این توضیح مختصر متذکر می شویم که در هنگام کنترل و بررسی این ضوابط، افراد خبره تقریبهایی را نیز برای بازه های مشخص شده در نظر

می گیرند و سپس در مورد نتایج قضاوت می نمایند. بدین ترتیب این افراد بطور ناخود آگاه با در نظر گرفتن بازه هایی برای فواصل مشخص شده توسط آیین نامه در مقادیر مرزی از مجموعه های فازی برای مقادیر عددی مقاومت استفاده می نمایند. به این معنی که بطور مثال برای تعریف اختلاف میان میانگین مقاومت نمونه ها و مقاومت مشخصه به جای اینکه دقیقاً از عدد چهار استفاده نمایند، با در نظر گرفتن سطح مقبولیت بازه ای را برای کم بودن این اختلاف در نظر می گیرند و در حقیقت با این ذهنیت که اختلاف میان نتایج آزمایشگاهی و مقاومت مشخصه باید کم باشد به مقایسه و بررسی این نتایج می پردازند.

۲-۶-۱۴ سیستم فازی نتایج آزمایشگاهی

در طراحی سیستم فازی پذیرش بتن به منظور فازی سازی نتایج آزمایشگاهی و تعریف توابع عضویت و از طرفی در نظر گرفتن هر دو پارامتر میانگین و کوچکترین مقاومت نمونه ها از یک سیستم فازی مجزا استفاده شده است. در این سیستم فازی که ورودیهای آن مقادیر میانگین و کوچکترین مقاومت نمونه های آزمایش شده و نیز مقاومت مشخصه می باشد، با استفاده از یک پایگاه قواعد فازی به بررسی داده های بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی پرداخته و با استفاده از منطق فازی چگونگی کیفیت نتایج آزمایشگاهی را تعیین می نماییم. در حقیقت آنچه به عنوان خروجی این سیستم فازی حاصل خواهد شد، به عنوان متغیر ورودی سیستم فازی پذیرش بتن مورد استفاده قرار می گیرد.

در این سیستم از دو پارامتر بعنوان ورودیهای سیستم استفاده شده است که با توجه به روابط زیر تعریف می شوند :

$$A = \frac{\overline{x}_3 - 0.85 f_c}{f_c}$$

روابط بر حسب kg/cm^2 می باشند

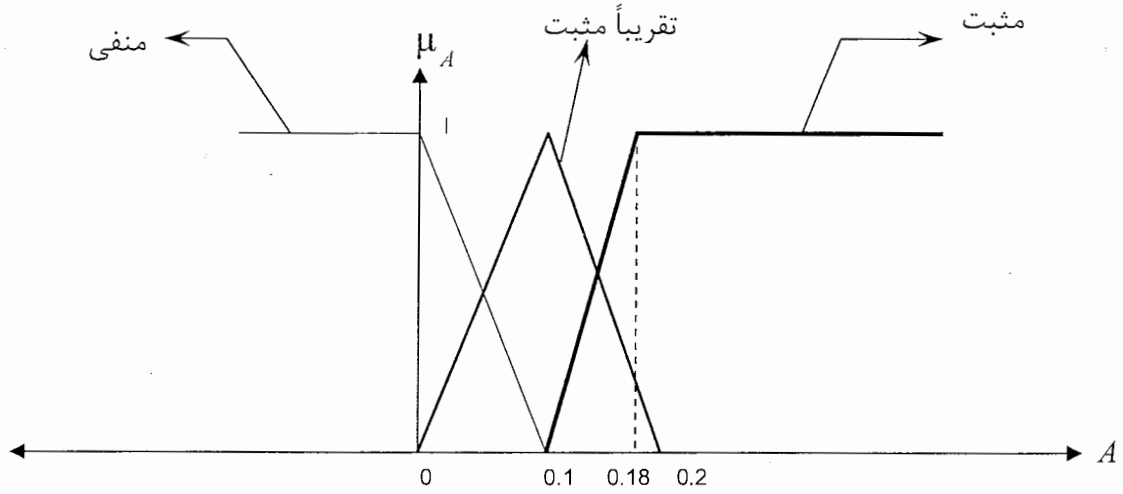
$$B = f_c - x_{min}$$

هدف از تعریف این پارامترها مدلسازی فازی نامساویهای موجود در ضوابط آیین نامه ای به منظور کنترل نتایج آزمایشگاهی می باشد. همانگونه که مشاهده می شود پارامتر B دارای توصیفی از جنس فاصله می باشد تا بتوان بوسیله آن نامساوی مربوط به مقایسه میان مقاومت مشخصه و کوچکترین مقاومت نمونه های آزمایشگاهی را مدلسازی نمود. همچنین پارامتر A به گونه ای تعریف شده است

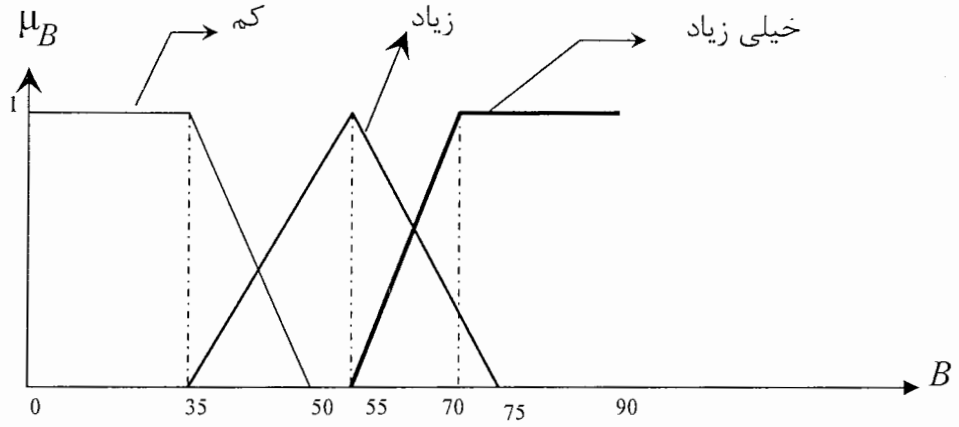
تا اولاً بتوان نامسایهای مربوط به میانگین مقاومت نمونه ها را بصورت فازی مدلسازی نمود (صورت کسر از جنس فاصله می باشد) و ثانیاً سیستم فازی دارای این قابلیت باشد که بتواند برای مقاومتهای مشخصه متفاوت مورد استفاده قرار گیرد (خاصیت بدون بعد بودن پارامتر).

ضریب ۰/۸۵ در تعریف پارامتر A ، نشان دهنده حد نهایی کاهش سطح مقبولیت کیفیت نتایج آزمایشگاهی می باشد. به این معنی که فرض شده است در صورتی نتایج حاصل از آزمایش نمونه های بتنی هرگز قابل پذیرش نیست که میانگین مقاومت نمونه های بتنی از ۰/۸۵ مقاومت مشخصه کمتر باشد. فلسفه استفاده از این عدد به عنوان حد نهایی کاهش سطح مقبولیت، در نظر گرفتن ضابطه مربوط به بررسی نتایج آزمایش مغزه گیری می باشد. همانگونه که در بند ۶-۶-۵ مطرح شده است، در صورت عدم ارضای نامساویهای مربوط به پذیرش بتن با در نظر گرفتن کاهشی در سطح مقبولیت به انجام آزمایش مغزه گیری می پردازند و در این حالت در صورتی که مقاومت مغزه ها از ۰/۸۵ مقاومت مشخصه بیشتر باشد، بتن را با کاهش سطح مقبولیت می پذیرند، در غیر اینصورت بتن مورد پذیرش نیست و باید اقدامات خاصی برای آن در نظر گرفته شود. بهمین دلیل ضریب ۰/۸۵ به عنوان حد نهایی کاهش سطح مقبولیت در نتایج آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفته است.

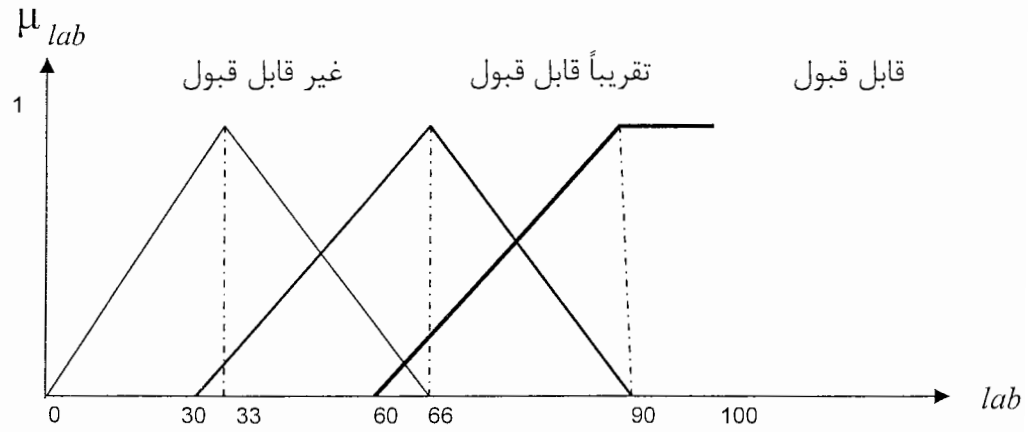
در این سیستم به منظور تعریف توابع عضویت برای دو متغیر ورودی، از قیدهای زبانی **منفی**، **تقریباً مثبت** و **مثبت** برای متغیر ورودی A و قیدهای زبانی **کم**، **زیاد** و **خیلی زیاد**، برای متغیر ورودی B استفاده شده است و بر اساس آن پایگاه قواعد فازی تعریف گردیده است. توابع عضویت این متغیرها در شکل ۱۴-۶-۲-۱ نشان داده شده است. خروجی این سیستم فازی عبارت است از کیفیت نتایج آزمایشگاهی که در پایگاه قواعد فازی سیستم کنترلی پذیرش بتن مورد استفاده قرار خواهد گرفت. همانگونه که قبلاً اشاره شد قیدهای زبانی این متغیر بصورت بتن **غیر قابل قبول**، **تقریباً قابل قبول** و **قابل قبول** معرفی می شوند. در تعریف توابع عضویت برای متغیر خروجی کیفیت نتایج آزمایشگاهی از سیستم ارزشگذاری استفاده شده است، بدین معنی که معیار اندازه گیری و تعریف هر کدام از قیدهای زبانی اعدادی در بازه $[0,100]$ می باشند. توابع عضویت تعریف شده برای این متغیر در شکل نشان داده شده است.



الف - توابع عضویت قیدهای زبانی متغیر ورودی A



ب - توابع عضویت قیدهای زبانی متغیر ورودی B



ج - توابع عضویت قیدهای زبانی متغیر خروجی lab

شکل ۱۴-۶-۲-۱ : نمودار توابع عضویت متغیرهای فازی ورودی و خروجی

همانگونه که در شکل مشاهده می کنید، توابع عضویت مورد استفاده برای متغیرهای ورودی و خروجی توابعی بصورت مثلثی می باشند. محدوده این توابع برای متغیرهای ورودی به گونه ای تعریف شده اند تا با توجه به پایگاه قواعد فازی شرایط و ضوابط آیین نامه ای را نیز ارضا نمایند. در این توابع عضویت در حقیقت میزان اختلاف میان نتایج آزمایشگاهی و مقاومت مشخصه بصورت فواصل فازی تعریف شده اند تا علاوه بر اینکه در شرایط مرزی تصمیم منطقی در مورد نتایج گرفته می شود، تأثیر هر دو مقدار میانگین و کوچکترین مقاومت نمونه های آزمایشگاهی در نوع تصمیم گیری در نظر گرفته شود.

فرض کنید در نتایج حاصل از آزمایش مقدار مقاومت میانگین نمونه ها معادل ۰/۸۵ مقاومت مشخصه و یا کمتر از آن باشد، در اینصورت با توجه به نوع تعریف توابع عضویت برای متغیر A همانگونه که در شکل مشاهد می شود، مقدار عضویت آن در قید زبانی منفی برابر یک می باشد و این در واقع همان حد نهایی کاهش سطح مقبولیت می باشد که در تعریف توابع عضویت در نظر گرفته شده است و در پایگاه قواعد فازی نیز به عنوان یک عامل محدود کننده در تعیین کیفیت نتایج آزمایشگاهی مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

$$\overline{x}_3 \le 0.85 f_c \quad \Rightarrow \quad A = \frac{\overline{x}_3 - 0.85 f_c}{f_c} \le 0$$

$$A \le 0 \quad \Rightarrow \quad \mu(\mathrm{A}) = 1$$

به عنوان مثال به منظور ارضای شرایط سطح مقبولیت می توان از قاعده فازی زیر استفاده نمود :

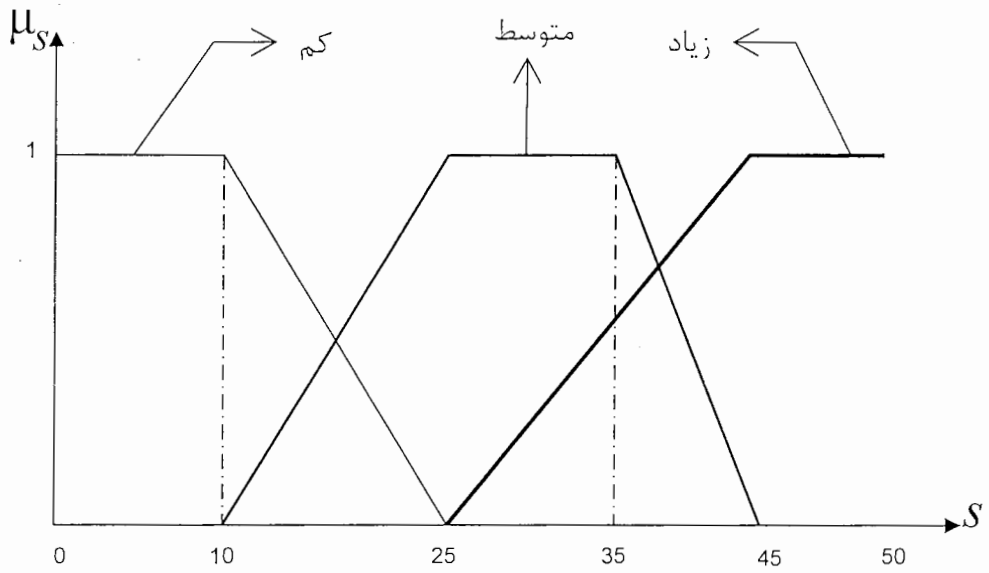
اگر A منفی باشد، **آنگاه** نتایج آزمایشگاهی غیر قابل قبول است.

با تعریف این قاعده فازی هر گاه مقدار مقاومت میانگین نمونه های بتنی از ۰/۸۵ مقاومت مشخصه کمتر باشد، نتایج آزمایشگاهی مورد قبول نمی باشد.

از سوی دیگر در نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های بتنی، پراکندگی داده های مربوط به مقاومت نمونه ها (سه نمونه مورد آزمایش) نیز از اهمیت به سزایی برخوردار است، به این معنی که یک مهندس با تجربه در صورتیکه نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه ها از پراکندگی منطقی برخوردار نباشد، احتمال خطا در انجام آزمایش را مورد بررسی قرار می دهد و سپس در مورد میزان مقبولیت قطعه بتنی اظهار نظر می نماید. به عبارت دیگر در صورتی که میانگین مقاومت نمونه های آزمایش شده و نیز کوچکترین مقاومت بدست آمده، ضوابط موجود در آیین نامه را ارضا نماید، اما داده های بدست آمده از آزمایش بر روی سه نمونه بتنی از اختلاف قابل ملاحظه ای برخوردار باشد (پراکندگی نمونه ها زیاد باشد) در اینصورت امکان اینکه نتایج بدست آمده غیر واقعی و با خطای فراوان همراه باشد، وجود دارد و مطمئناً در چنین شرایطی تصمیم گیری با توجه به نتایج بدست آمده امری نادرست و غیر منطقی می باشد.

با توجه به آنچه مطرح گردید و به منظور اینکه سیستم تصمیم گیری در مورد نتایج آزمایشگاهی از کیفیت بالایی برخوردار باشد و بتواند در چنین شرایطی نیز تصمیم منطقی و صحیح اتخاذ نماید، پارامتر پراکندگی داده ها نیز به عنوان ورودی سیستم کنترلی نتایج آزمایشگاهی مورد استفاده قرار می گیرد. بدین ترتیب در هنگام تصمیم گیری در مورد نتایج آزمایشگاهی علاوه بر میانگین داده ها و کوچکترین مقاومت نمونه های بتنی، کیفیت انجام آزمایش و صحت نتایج بدست آمده نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت و براساس آن تصمیم نهایی اتخاذ خواهد شد. به این منظور در سیستم فازی نتایج آزمایشگاهی پراکندگی داده های بدست آمده از آزمایش (واریانس داده ها) به صورت یک متغیر فازی تعریف می گردد و توابع عضویت مطلوب برای آن در نظر گرفته می شود.

در تعریف توابع عضویت مربوط به واریانس نتایج (سه نمونه مورد آزمایش) از سه قید زبانی **کم**، **متوسط** و زیاد استفاده می کنیم. شکل ۱۴-۶-۲-۲ چگونگی تعریف توابع عضویت واریانس نتایج بدست آمده (S) را نشان می دهد. همانگونه که مشاهده می شود در تعریف متغیر فازی واریانس نتایج نیز از توابع عضویت مثلثی (فازی ساز مثلثی) برای قیدهای زبانی **کم** و زیاد و تابع عضویت ذوزنقه ای برای قید زبانی متوسط استفاده شده است.



شکل ۱۴-۶-۲-۲ توابع عضویت قیدهای زبانی متغیر ورودی واریانس نتایج (S)

با توجه به متغیرهای فازی تعریف شده برای سیستم فازی نتایج آزمایشگاهی، این سیستم دارای سه ورودی و یک خروجی می باشد که به ترتیب عبارت اند از متغیرها ی A ، B و S به عنوان ورودی سیستم و متغیر lab به عنوان خروجی سیستم فازی نتایج آزمایشگاهی که خروجی آن به عنوان ورودی سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی مورد استفاده قرار می گیرد.

پس از تعریف توابع عضویت متغیرهای ورودی و خروجی و فازی سازی آنها به منظور کامل بودن پایگاه قواعد فازی در سیستم فازی نتایج آزمایشگاهی با توجه به تعداد قیدهای زبانی مورد استفاده در این سیستم از ۲۷ قاعده فازی استفاده شده است که در جدول ۱۴-۶-۲-۱ نشان داده شده است.

جدول ۱۴-۶-۲-۱ : پایگاه قواعد فازی نتایج آزمایشگاهی

	اگر			آنگاه	اگر			آنگاه	
	A and B and S			*LAB*	*A and B and S*			*LAB*	
۱	منفی	کم	کم	غ ق قبول	ت مثبت	زیاد	زیاد	غ ق قبول	۱۵
۲	منفی	کم	متوسط	غ ق قبول	ت مثبت	خ زیاد	کم	غ ق قبول	۱۶
۳	منفی	کم	زیاد	غ ق قبول	ت مثبت	خ زیاد	متوسط	غ ق قبول	۱۷
۴	منفی	زیاد	کم	غ ق قبول	ت مثبت	خ زیاد	زیاد	غ ق قبول	۱۸
۵	منفی	زیاد	متوسط	غ ق قبول	مثبت	کم	کم	قبول	۱۹
۶	منفی	زیاد	زیاد	غ ق قبول	مثبت	کم	متوسط	ت قبول	۲۰
۷	منفی	خ زیاد	کم	غ ق قبول	مثبت	کم	زیاد	غ ق قبول	۲۱
۸	منفی	خ زیاد	متوسط	غ ق قبول	مثبت	زیاد	کم	ت قبول	۲۲
۹	منفی	خ زیاد	زیاد	غ ق قبول	مثبت	زیاد	متوسط	ت قبول	۲۳
۱۰	ت مثبت	کم	کم	ت قبول	مثبت	زیاد	زیاد	غ ق قبول	۲۴
۱۱	ت مثبت	کم	متوسط	ت قبول	مثبت	خ زیاد	کم	ت قبول	۲۵
۱۲	ت مثبت	کم	زیاد	غ ق قبول	مثبت	خ زیاد	متوسط	غ ق قبول	۲۶
۱۳	ت مثبت	زیاد	کم	ت قبول	مثبت	خ زیاد	زیاد	غ ق قبول	۲۷
۱۴	ت مثبت	زیاد	متوسط	غ ق قبول					

همانگونه که در قوانین ۱ تا ۹ نشان داده شده است، در صورتی که A منفی باشد با وجود هرگونه شرایطی برای پارامتر B و پارامتر S ، نتیجه نهایی غیر قابل قبول بودن نتایج آزمایشگاهی می باشد. از سویی دیگر قواعد ۱۰و ۱۱ نشان دهنده این است که در صورتیکه میانگین مقاومت نمونه های آزمایشگاهی از ۰/۸۵ مقاومت مشخصه بیشتر باشد، اما از مقاومت مشخصه بیشتر نباشد (به محدوده های تعریف شده برای توابع عضویت پارامتر A توجه کنید.) و کمترین مقاومت نمونه ها نیز در فاصله

بعنوان مثال در مورد کیفیت اجرای قالب بندی و یا میزان تخصص و مهارت نیروی انسانی بتن ریز، متغیر عددی دقیقی را نمی توان برای مقایسه بکار برد تا از طریق آن به ارزیابی اجرای قالب بندی و نیروی متخصص پرداخت. البته پارامترهایی نظیر میزان سابقه کار و یا سطح تحصیلات و سن نیروها و کارگران بتن ریز ممکن است عاملی مؤثر در این پارامتر باشد و قابل اندازه گیری هم باشد، اما نمی توان بطور دقیق بیان کرد فردی با سن بیشتر و یا تحصیلات بیشتر لزوماً دارای مهارت بیشتری نسبت به فردی با سن کمتر و یا تحصیلات پایین تر است و در حقیقیت این عوامل پایدار نیستند و در حالات کلی صدق نمی کند.

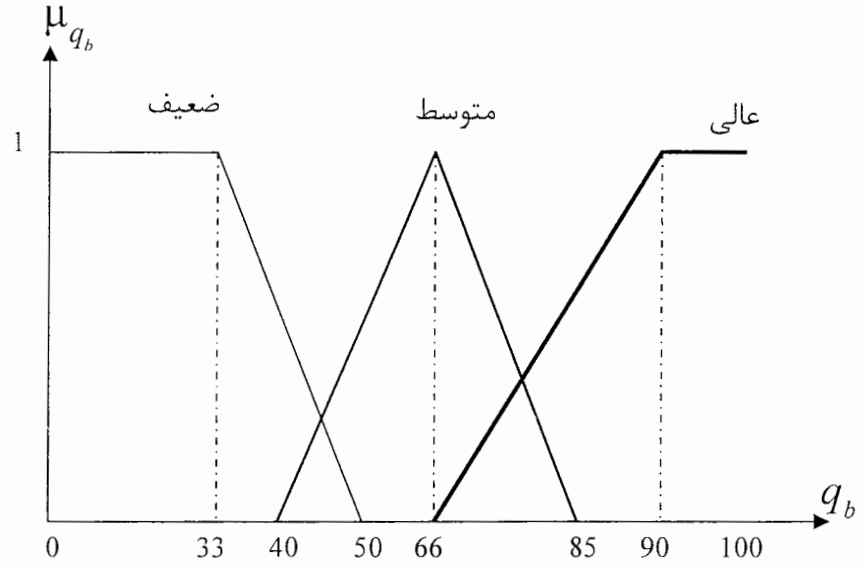
تعدادی از این عوامل نیز، پارامترهایی هستند که اندازه گیری آنها در شرایط کارگاهی به منظور ارزیابی کیفیت آن، امری سخت و دشوار و یا حتی غیر ممکن می باشد. به عنوان مثال، تراکم بتن توسط کارگران بتن ریز با استفاده از ویبراتور و یا عملیات ماله کشی و تسطیح بتن از جمله مواردی است که نمی توان دقیقاً در هنگام ریختن بتن اندازه گیری کرد و تنها می توان با بررسی ظاهری بتن به ذکر عباراتی نظیر خوب، بد اکتفا نمود و یا حتی متغیر عددی خاصی را که دقیقاً معیاری برای میزان ویبره کردن و آب انداختن بتن باشد و بتوان از طریق آن متغیرهای زبانی را درجه بندی کرد، وجود ندارد. (لازم به ذکر است که در ضوابط آیین نامه ای معیار زمان را برای میزان ویبره کردن و لرزاندن بتن با توجه به اسلامپ آن و نوع بتن مشخص نموده اند، اما با این وجود زمان نیز با توجه به تجربه کارگران و بررسیهای ظاهری معین می گردد که خود امری است با عدم قطعیت در تعیین دقیق زمان لازم.)

از سویی دیگر در صورتیکه برای بعضی از آنها نیز معیارهای اندازه گیری وجود داشته باشد، ترکیب این معیارهای اندازه گیری به منظور بدست آوردن یک معیار عددی واحد برای عملیات بتن ریزی و کیفیت دستگاه اجرایی امری دشوار و به عبارتی غیر ممکن می باشد.

با توجه به مطالب ارائه شده به منظور تعیین یک معیار عددی واحد و قابل اندازه گیری در تعریف توابع عضویت برای پارامتر کیفیت بتن ریزی از سیستم ارزشگذاری استفاده خواهد شد. در این سیستم با بررسی شرایط موجود در کارگاه بتن ریزی و مقایسه آن با حالت ایده آل برای بیان کیفیت عملیات بتن ریزی از مقادیر عددی در بازه های خاص به عنوان ارزش کیفی آن استفاده می شود و به جای آنکه در تعریف توابع عضویت عبارات زبانی مورد نظر نیازمند مطرح کردن جزئیات اجرایی شرایط

گرفتن ضریبی به عنوان درجه تأثیر، ارزش عددی نهایی را بدست خواهیم آورد. برای رسیدن بـه ایـن هدف بازه هایی بصورت [0,20] را در نظر گرفته و یک عدد در بازه معـین شـده بـه عنـوان ارزش آن پارامتر تعیین می کنیم و در نهایت با استفاده از جمع وزنی این اعداد بر اساس ضرایب تـأثیر تعریـف شده، عددی را در بازه [0,100] بدست خواهیم آورد، این عدد در واقـع همـان بیـان ارزشـی کیفیـت عملیات بتن ریزی می باشد که بر اساس توابع عضویت، درجه عضویت آن در هر یک از قیدهای زبانی مشخص می شود. لازم به ذکر است، مقداری که به عنوان ارزش کیفی به هـر یـک از عوامـل نسـبت داده می شود بر اساس تجربه، تخصص و مهارت افراد تصمیم گیرنده در مورد سازه بتنـی مـورد نظـر تأیین می شود، در حقیقت این اشخاص که قصد اظهار نظر در مورد مقبولیت و یا عدم مقبولیت قطعه بتنی را دارند، بر اساس بررسی و کنترل کلیه این عوامل در کارگاه مورد نظر عددی را به عنوان میزان کیفیت به آن نسبت می دهند.

نمودار توابع عضویت مربوط به قیدهای زبانی متغیر ورودی کیفیت عملیات بتن ریزی q_b در شکل ۱۴-۶-۳-۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود معیار تقسیم بندی و تعریف هر یـک از عبارات زبانی بر اساس اعدادی در بازه [0,100] می باشد.



شکل ۱۴-۶-۳-۱ : نمودار توابع عضویت متغیر ورودی کیفیت عملیات بتن ریزی

$$q_b = \sum_{i=1}^{4} w_i q_i \qquad w_1 = 1.5 \quad w_2 = 1 \quad w_3 = 2 \quad w_4 = 0.5$$

$$q_i \in [0,20]$$

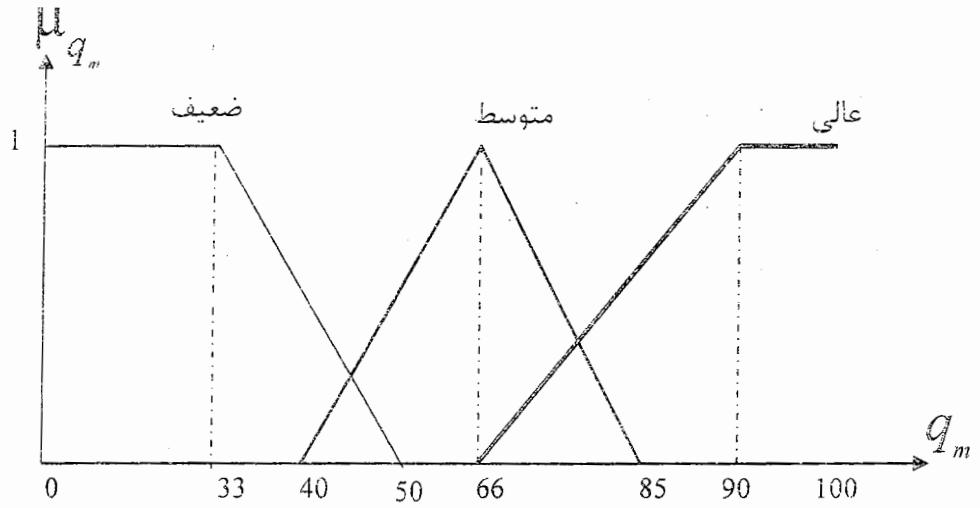
اعدادی که به عنوان ضرایب تأثیر برای هر یک از پارامترهای مؤثر بر کیفیت عملیات بتن ریـزی در نظر گرفته شده است، در حقیقت بیانگر درجه اهمیت هر کدام از این عوامل نسـبت بـه یکـدیگر مـی باشد و می توان هر عدد دیگری را نیز انتخاب نمود، اما باید توجه داشـت کـه در انتخـاب ایـن اعـداد میزان اهمیت آنها نسبت به یکدیگر رعایت شود. انتخاب این اعداد بر این فرض استوار است که از بین چهار عامل مؤثر عنوان شده در کیفیت بتن ریزی اهمیت میزان مهارت و تجربه کارگران بـتن ریـز از سایر عوامل بیشتر است و پس از آن رعایت نکات لازم قبل از بتن ریزی و سـپس انتخـاب روش بـتن ریزی و در نهایت کیفیت وسایل مورد استفاده دارای اهمیت می باشند. لازم بـه ذکـر اسـت کـه ایـن درجه بندی بصورت نسبی صورت گرفته است و به معنی کاهش اهمیت و اعتبار این پارامترها نیست، بلکه آنها را نسبت به هم مقایسه می نماید.

۱۴-۶-۴ کیفیت نگهداری و مراقبت از بتن :

مطابق آنچه در بخشهای گذشته عنوان گردید، کیفیت عمل آوردن و مراقبت از بتن اجـرا شـده از دیگر پارامترهای مهم و اساسی در بدست آوردن بتنی مطلوب و مطابق با انتظارات طراح می باشد، لذا در طراحی سیستم فازی پذیرش بتن از آن به عنوان یکی از متغیرهای ورودی استفاده خواهیم نمـود. همانگونه که در فرضیات طراحی مطرح گردید به منظور بیان کیفیت و نحوه اجـرای ایـن عملیـات از عبارات زبانی متداول در میان مهندسان و افراد صاحب نظر استفاده می شود که عبارت انـد از **ضعیف، متوسط و عالی**.

برای فازی سازی این متغیر همانند سایر متغیرهای دیگر و همچنین تعریف توابع عضویت، نیازمند معیار قابل اندازه گیری واحدی می باشیم که کلیه پارامترهای مـؤثر در ایـن متغیـر را دربـر بگیـرد و بتوان توسط آن کیفیت اجرای عملیات نگهداری و مراقبت از بتن را مورد ارزیابی و سنجش قرار داد.

اجرای روش انتخاب شده در درجه اول اهمیت است و پس از آن مدت زمان نگهداری و در نهایت انتخاب صحیح روش نگهداری حائز اهمیت می باشد.



شکل ۱۴-۶-۴-۱ : نمودار توابع عضویت متغیر ورودی کیفیت نگهداری و مراقبت از بتن

$$q_m = \sum_{i=1}^{3} w'_i q_i \qquad w'_1 = 1.25 \quad w'_2 = 2 \quad w'_3 = 1.75$$

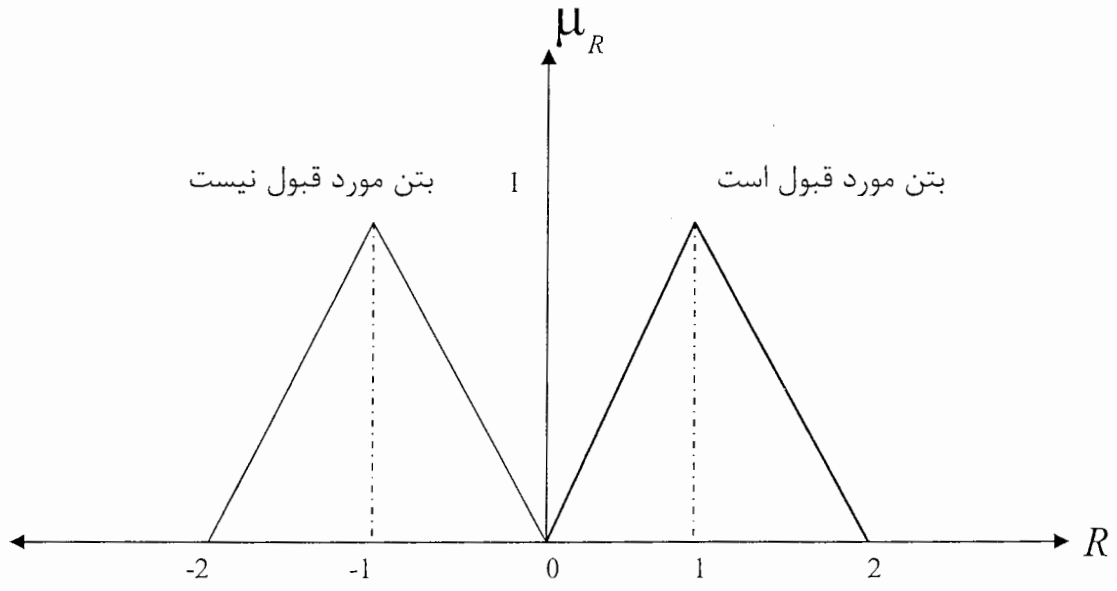
$$q_i \in [0,20]$$

۱۴-۶-۵ پذیرش بتن :

میزان مقبولیت بتن و تصمیم گیری نهایی در مورد پذیرش سازه بتنی هدف اصلی طراحی سیستم کنترل فازی مورد نظر می باشد. بنابراین آنچه در نهایت از سیستم به عنوان خروجی انتظار می رود پاسخ به این سؤال است که آیا بتن مورد نظر با توجه به کلیه عواملی که مورد بررسی قرار گرفته است مورد قبول می باشد یا خیر؟ پاسخی که سیستم به این سؤال می دهد به صورت عبارات بلی یا خیر خواهد بود، از سویی دیگر بر اساس اصول حاکم بر سیستم های با فازی ساز و غیر فازی ساز نتایج نهایی سیستم به صورت خروجیهای با مقادیر عددی خواهد بود، لذا خروجی سیستم متشکل از دو عدد می باشد که نشان دهنده پذیرش و یا عدم پذیرش بتن کارگاهی توصیف شده می باشد.

با توجه به اینکه خروجی سیستم بصورت پاسخی دقیق و مشخص در مورد سازه بتنی می باشد و دارای عدم قطعیت نیست، لذا توابع عضویتی که برای آن در نظر گرفته می شود از اهمیت زیادی برخوردار نمی باشد و تنها برای بیان کردن آن در قالب سیستم فازی مورد نظر بکار می روند، به عبارتی هر گونه معیاری را به دلخواه می توان برای تعریف این توابع در نظر گرفت، اما باید توجه داشت معیاری که به منظور بیان عبارات زبانی مورد استفاده قرار می گیرد، در تعبیر از خروجی سیستم نیز مدنظر قرار گیرد. به عنوان مثال اگر در تعبیر از خروجی سیستم، پذیرش بتن معادل با یک و عدم پذیرش آن معادل صفر در نظر گرفته شود، می توان توابع عضویت را بر اساس بازه ای از اعداد طوری تعریف کرد که بیشترین درجه عضویت قید زبانی بتن مورد قبول است، مربوط به عدد یک و همچنین بیشترین درجه عضویت قید زبانی بتن مورد قبول نیست، در عدد صفر قرار بگیرد.

در این سیستم از توابع عضویت مثلثی بصورتی که در شکل ۱۴-۶-۵-۱ نشان داده شده است، برای تعریف قیدهای زبانی استفاده شده است و با توجه به آن هر گاه خروجی سیستم برابر یک باشد به معنای آن است که بتن مورد قبول است و در صورتی که خروجی آن برابر ۱- باشد به معنای عدم پذیرش بتن توصیف شده می باشد .



شکل ۱۴-۶-۵-۱ : نمودار توابع عضویت متغیر خروجی پذیرش بتن

۷-۱۴ موتور استنتاج فازی سیستم :

نتیجه گیری از مجموعه قواعد در نظر گرفته شده در پایگاه قواعد بر اساس اصول حاکم بر سیستمهای فازی توسط موتور استنتاج انجام می پذیرد. در یک موتور استنتاج فازی، اصول منطق فازی برای ترکیب قواعد **اگر - آنگاه** در پایگاه قواعد فازی به صورت نگاشتی از مجموعه های فازی ورودی به مجموعه های فازی خروجی مورد استفاده قرار می گیرد. در انتخاب نوع موتور استنتاج فازی معیار اساسی این است که انتخاب از نقطه نظر شهودی دارای معنا باشد، به عنوان مثال اگر مجموعه قواعد بوسیله یک انسان خبره داده شده باشد که معتقد است این قواعد مستقل از یکدیگر هستند، آنگاه باید این قواعد بوسیله اجتماع با هم ترکیب شوند. از سوی دیگر انتخاب، باید فرمولی را نتیجه دهد که پیاده سازی محاسباتی آن ساده باشد. همانگونه که در معرفی موتور های استنتاج مطرح گردید، موتورهای استنتاج حاصلضرب و مینیمم، مهمترین موتورهای استنتاج مورد استفاده در سیستم های فازی و کنترل فازی هستند. مهمترین مزیت آنها در سادگی محاسباتشان می باشد، این مسئله بخصوص در مورد، موتور استنتاج حاصلضرب برقرار است، ضمن اینکه برای بسیاری از کاربردهای عملی علی الخصوص برای کنترل فازی با توجه به اینکه از خاصیت « فازی بودن » بیشتری نسبت به موتور استنتاج مینیمم برخوردار است، از این موتور استنتاج استفاده می شود.

با توجه به توضیحات ارائه شده، در سیستم فازی مورد نظر به سبب استفاده از دانش افراد خبره در پایگاه قواعد فازی و همچنین بالابردن خاصیت «فازی بودن» سیستم و نیز سادگی محاسبات مربوط به آن از **موتور استنتاج فازی حاصلضرب** استفاده شده است.

موتور استنتاج فازی حاصلضرب این سیستم دارای ویژگیهای زیر می باشد :

۱- استنتاج مبتنی بر قواعد جداگانه با ترکیب اجتماع

۲- استلزام حاصلضرب ممدانی

۳- عملگر ضرب جبری برای t – نرمها و عملگر max برای s – نرمها

$$\mu_{B'}(y) = \max_{l=1}^{M}\left[\sup_{x\in U}(\mu_{A'}(x)\prod_{i=1}^{n}\mu_{A_i^l}(x_i)\mu_{B^l}(y))\right]$$

مطابق این روش به منظور استنتاج فـازی، در تعبیـر عملگـر فـازی «و» در پایگـاه قواعـد فـازی از حاصلضرب درجات عضویت و در تعبیر «یا» از ماکزیمم درجات عضویت و نیز برای ترکیب قواعد فعال شده با توجه به ورودیهای سیستم از عملگر ماکزیمم در بدست آوردن سطح نهایی مربوط به خروجـی فازی استفاده شده است و در پایان سطح مربوط به تابع تعلق نهـایی متغیـر خروجـی در حـالتی کـه قواعد پایگاه فازی با توجه به ورودیهای سیستم فعال شده اند، بدست می آید.

۸-۱۴ غیر فازی ساز سیستم :

در مرحله غیر فازی سازی با توجه به سطحی که در مرحله استنتاج بدسـت آمـده اسـت، مقـدار حقیقی برای خروجی بدست می آوریم. در سیستم فازی مورد بحث به منظور غیر فازی کـردن نتـایج نهایی و بدست آوردن مقادیر عددی مورد نظر از متـداولترین غیـر فـازی سـازهای مـورد اسـتفاده در سیستم های فازی و کنترل فازی یعنی غیـر فـازی سـاز **mom** (میـانگین تمـام مقـادیری کـه دارای بیشترین درجه عضویت هستند) استفاده شده است، این روش ضمن اینکه از نظر شهودی توجیه پذیر می باشد از لحاظ محاسباتی نیز ساده است.

بدین ترتیب بر اساس سطح نهایی مربوط به تابع تعلق متغیر خروجی (پذیرش بـتن) کـه از طریـق استنتاج فازی ایجاد شده است، با استفاده از غیر فازی ساز mom تمام مقـادیری کـه دارای بیشـترین درجه عضویت هستند، بدست آمده و در نهایت میانگین آنها به صورت مقادیر عددی به عنوان خروجی سیستم فازی تعیین می شوند که در حقیقت همان پذیرش یا عدم پذیرش بتن کارگاهی با توجـه بـه شرایط حاکم بر آن می باشد.

۹-۱۴ قابلیت ارائه پیشنهاد توسط سیستم:

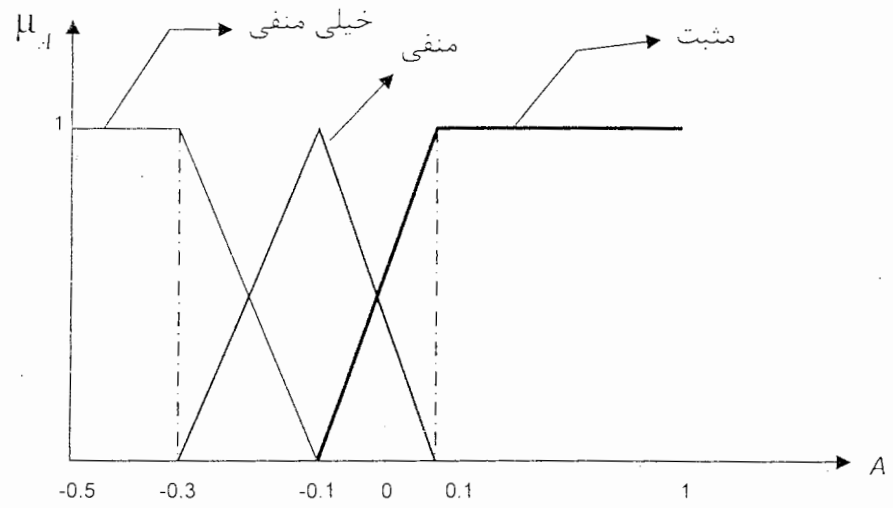
مطابق آنچه مطرح گردید، با فازی سازی پارامترهای ورودی و خروجی و نیز در نظر گرفتن پایگاه قواعد فازی مطلوب، می توان یک سیستم فازی را مدل سازی نمود که قادر است در مورد میزان مقبولیت بتن کارگاهی اظهارنظر نماید و با در نظر گرفتن کلیه عوامل مؤثر بر پذیرش و یا عدم پذیرش سازه بتنی بصورت فازی در مورد قطعه بتنی اجرا شده در کارگاه حکم نهایی را صادر نماید و در حقیقت این توانایی را دارا می باشد تا به عنوان یک سیستم هوشمند جایگزین انسانهای خبره در هنگام تصمیم گیری شود. همانگونه که عنوان گردید سیستم مدل سازی شده در نهایت حکم نهایی خود را بصورت پذیرش و یا رد بتن کارگاهی اعلام می نماید. بعبارت دیگر بر اساس خروجی این سیستم، یک قطعه بتنی اجرا شده در کارگاه با توجه به کلیه شرایط موجود، یا مورد قبول است و یا خیر و بدین ترتیب با در نظر گرفتن کلیه عوامل مؤثر که بسیاری از آنها دارای عدم قطعیت می باشند می توان حکم قطعی در مورد سازه بتنی را صادر نمود. این همان هدفی است که در این تحقیق مورد نظر بوده و مبنای طراحی این سیستم قرار گرفته است. بعبارت دیگر خروجی مورد انتظار از این سیستم رد یا قبول سازه بتنی می باشد (مقادیر عددی۱ برای قبول و۱- برای رد سازه بتنی).

به منظور هر چه کامل تر شدن سیستم فازی مورد نظر و افزایش قابلیتهای آن در امر تصمیم گیری برای این سیستم حالتی را در نظر خواهیم گرفت تا سیستم علاوه بر اینکه حکم نهایی و قطعی خود را در مورد قطعه بتنی صادر می نماید، این توانایی را نیز داشته باشد تا در صورت نیاز به اقدامات و تدابیر ویژه در مورد بتنهای با مقاومت کم، کاربر را نسبت به انجام آن آگاه نماید. به عبارت دیگر بر این اساس سیستم مورد نظر با بررسی نتایج بدست آمده از آزمایش نمونه های بتنی و همچنین در نظر گرفتن ضوابط موجود در آیین نامه بتن ایران (آبا) در مورد بررسی بتنهای با مقاومت کم (بند ۶-۶ آیین نامه)، بتن اجرا شده را از لحاظ میزان مقاومت مورد بررسی قرار می دهد و در صورتی که با توجه به شرایط و ضوابط موجود نیاز به انجام اقدامات خاص در مورد قطعه اجرا شده باشد، علاوه بر اینکه تصمیم نهایی خود را بصورت قطعی (رد یا پذیرش بتن) اعلام می نماید کاربر را نسبت به لزوم انجام تدابیر و اقدامات ویژه آگاه می نماید.

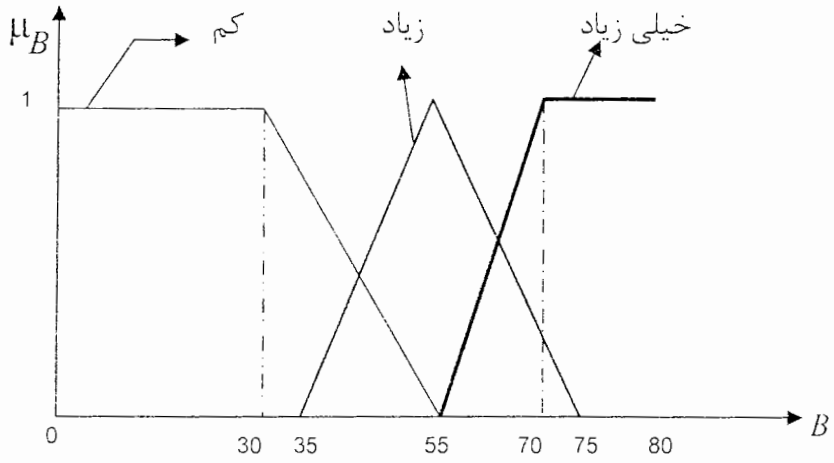
همانگونه که در بخش مربوط به بررسی ضوابط پذیرش بتن در آیین نامه بتن ایران (آبا) مطرح گردید، در صورتیکه مشخصات بتن مطابق بند ۶-۵-۲-۲ آیین نامه به هر حال غیر قبول باشد اقداماتی مطابق بند ۶-۶ الزامی است. بدین ترتیب برای آنکه سیستم مورد نظر این قابلیت را داشته باشد تا در مورد لزوم انجام تدابیر خاص اظهار نظر نماید، باید ضوابط مربوط به بند ۶-۵-۲-۲ را مورد بررسی قرار دهد و در صورت عدم رعایت این بند، کاربر را آگاه نماید. البته لازم به ذکر است که بررسی و کنترل بند ۶-۵-۲-۲ مطابق آنچه از ابتدای این تحقیق مدنظر بوده است به صورت مفاهیم فازی انجام می شود و در نهایت در مورد آن اظهار نظر مقتضی صورت می پذیرد.

به منظور هرچه کاملتر شدن سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی و افزایش قابلیتهای آن و رسیدن به این هدف که سیستم علاوه بر صدور حکم نهایی در مورد بتن کارگاهی، توانایی ارائه توصیه و پیشنهاد لازم را نیز در مورد بتن اجرا شده داشته باشد، از یک بلوک فازی مجزا در این سیستم استفاده شده است. براساس آنچه در مورد نحوه بررسی نتایج آزمایشگاهی در یک سیستم فازی عنوان گردید، در آن سیستم از دو پارامتر A و B به عنوان بخشی از ورودیهای سیستم استفاده گردید و در حقیقت کنترل و بررسی ضوابط آیین نامه توسط این دو پارامتر و تعریف آنها بصورت مقادیر فازی با توابع عضویت خاص، انجام گرفت. در ادامه نیز به منظور تشکیل بلوک فازی مد نظر از این دو پارامتر به عنوان ورودیهای سیستم استفاده می نماییم و توابع عضویت را برای آنها تعریف می نماییم و با استفاده از تشکیل پایگاه قواعد فازی مطلوب در نهایت خروجی مورد نظر که در واقع همان توصیه و یا پیشنهاد در مورد لزوم انجام اقدامات و تدابیر خاص با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایشگاه می باشد، را بدست می آوریم.

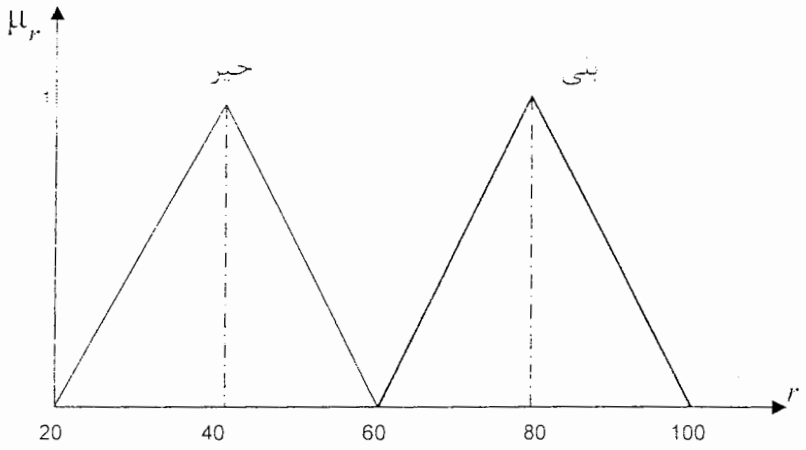
چگونگی تعریف توابع عضویت برای هر کدام از متغیرهای ورودی A و B در شکلهای ۱۴-۹-۱ الف و ب نشان داده شده است. همچنین خروجی این سیستم (*result*) که در حقیقت همان لزوم انجام اقدامات خاص در مورد بتن با مقاومت کم می باشد نیز در شکل ۱۴-۹-۱- ج نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می نمایید در تعریف توابع عضویت مربوط به متغیر ورودی A از سه قید زبانی **خیلی منفی**، **منفی** و **مثبت** و برای متغیر ورودی B از قیدهای زبانی **کم**، **زیاد** و **خیلی زیاد** استفاده شده است. از سویی دیگر در تعریف توابع عضویت مربوط به خروجی سیستم از قیدهای زبانی **بلی** و **خیر** استفاده شده است که بصورت مستقل از یکدیگر تعریف شده اند.



الف- توابع عضویت متغیر ورودی A



ب- توابع عضویت متغیر ورودی B



ج- توابع عضویت متغیر خروجی r

شکل ۱۴-۹-۱ نمودار توابع عضویت متغیرهای ورودی و خروجی سیستم فازی پیشنهاد (S)

لازم به ذکر است که هدف از ساخت این بلوک فازی بررسی نتایج آزمایشگاهی و مقایسه آن با ضوابط موجود در آیین نامه می باشد تا در صورتی که نیاز به انجام اقدامات خاص و تدابیر ویژه در مورد سازه بتنی باشد، این امر به صورت خروجی مشخصی (مقدار عددی صفر) به آگاهی کاربر رسانده شود تا در نهایت علاوه بر اینکه تصمیم نهایی در مورد پذیرش و یا عدم پذیرش قطعه بتنی انجام گرفته است، نسبت به لزوم انجام اقدامات تکمیلی نیز اطلاع و آگاهی کامل وجود داشته باشد.

به همین منظور این سیستم بگونه ای طراحی شده است تا با بررسی مجزای مقادیر ورودی A و B در بلوک فازی مطرح شده نسبت به لزوم انجام اقدامات ویژه تصمیم مقتضی را گرفته و سپس در صورت نیاز به انجام این اقدامات بصورت مستقیم خروجی صفر را نمایش دهد و در غیر این صورت سیستم بصورت خودکار عملیات مربوط به تجزیه و تحلیل کلیه سیستمهای فازی موجود را انجام داده و تصمیم نهایی را در مورد پذیرش و یا عدم پذیرش قطعه بتنی ارائه می دهد. به عبارت دیگر در این سیستم ازیک سو عوامل و پارامترهای مؤثر بر میزان مقبولیت سازه بتنی در بلوکهای فازی نتایج آزمایشگاهی و پذیرش بتن کارگاهی مورد بررسی قرار گرفته و حکم نهایی صادر می شود و از سوی دیگر لزوم انجام اقدامات ویژه در مورد بتن اجرا شده در بلوک فازی پیشنهاد، مورد ارزیابی قرار می گیرد و در صورت نیاز خروجی صفر به عنوان توصیه در مورد انجام اقدامات و تدابیر مربرط به بتن با مقاومت کم بدست می آید و در غیر این صورت (عدم نیاز به انجام اقدامات لازم) خروجی نهایی که قابل مشاهده می باشد همان تصمیم نهایی در مورد پذیرش و یا عدم پذیرش قطعه بتنی می باشد. (چگونگی انجام این عملیات و نحوه نمایش خروجی مورد نظر در بخش مربوط به شبیه سازی در فصل شانزدهم بطور کامل توضیح داده خواهد شد.)

با توجه به تعداد متغیرهای زبانی بکاررفته در این بلوک فازی و به منظور کامل بودن پایگاه قواعد فازی و همچنین رسیدن به هدف مورد نظر از ۹ قاعده فازی استفاده شده است که پایه و مبنای تشکیل این قواعد، بررسی ضوابطی است که در صورت عدم ارضای آن (به صورت فازی) قطعه بتنی در رده بتنهای با مقاومت کم قرار می گیرد و اقدامات و تدابیر خاصی باید در مورد آن اجرا گردد.

چگونگی تعریف این پایگاه قواعد فازی در جدول ۱۴-۹-۱ نشان داده شده است.

جدول ۱۴-۹-۱ پایگاه قواعد سیستم فازی پیشنهاد (S)

	اگر		آنگاه
	A and B		*result*
۱	خیلی منفی	کم	خیر
۲	خیلی منفی	زیاد	خیر
۳	خیلی منفی	خیلی زیاد	خیر
۴	منفی	کم	بلی
۵	منفی	زیاد	بلی
۶	منفی	خیلی زیاد	خیر
۷	مثبت	کم	خیر
۸	مثبت	زیاد	بلی
۹	مثبت	خیلی زیاد	خیر

لازم به ذکر است که در تعریف پایگاه قواعد فازی و همچنین استفاده از تعبیر «بلـی» و «خیـر» در این سیستم به عنوان خروجی، منظور از عبارت زبانی «بلی» این است که بر اساس نتایج بدست آمـده از آزمایش نمونه های بتنی و همچنین ضوابط موجود در آیین نامه بتن، سیستم فـازی پـذیرش بـتن کارگاهی لزوم انجام اقدامات و تدابیر خاص را پیشنهاد می کند و به عبارت دیگـر عـلاوه بـر اینکـه از تصمیم نهایی سیستم در مورد رد یا پذیرش بتن استفاده می شود، بلوک فازی مربوط به ارائه توصیه و پیشنهاد، لزوم اتخاذ تدابیر خاص را نیز در مورد بتن اجرا شده توصیه می نماید. از سوی دیگر عبـارت زبانی «خیر» در این پایگاه قواعد فازی به این معنی است که با توجه به نتایج بدسـت آمـده سیسـتم هیچگونه اظهار نظری در مورد لزوم اتخاذ تدابیر ویژه نمی نماید و این بدین معنی است که یـا نتـایج بدست آمده، بندهای مربوط به ضوابط پذیرش بتن را ارضا می نماید و یا نتایج به حدی نامطلوب و

غیر قابل قبول است که هرگز بر رده مورد نظر منطبق نمی باشد و دیگر نیـازی بـه انجـام اقـدامات و تدابیر خاص برای حصول اطمینان از ظرفیت باربری سازه نمی باشد.

به عنوان مثال قاعده های فازی شماره یک تا سه در جدول ۱۴-۹-۱ به این معنی است که اگـر A **خیلی منفی** باشد (به محدوده تعریف قید زبانی «خیلی منفی» در توابع عضویت توجه کنیـد.) دیگـر سیستم انجام اقدامات خاص را ضروری نمی داند و در واقع از نظر این سیستم نتایج بگونه ای است که هرگز نمی توان آن را مورد قبول دانست و بررسی بیشتر لزومـی نـدارد، از سـوی دیگـر قاعـده فـازی شماره هفت در همان جدول بیان می کند که اگر A مثبت و B کم باشد در اینصورت نیـز نیـازی بـه بررسی بیشتر در مورد سازه بتنی نمی باشد و در واقع نتایج بدست آمده حاکی از آن است که بتن بـر رده مورد نظر منطبق می باشد و ضرورتی برای انجام اقدامات خـاص بـه منظـور حصـول اطمینـان از ظرفیت باربری سازه وجود ندارد. همانگونه که مشاهده می شود در هر دو حالت ذکر شده (قواعد یـک تا سه و قاعده هفت) خروجی سیستم «خیر» می باشد، با این تفاوت که در هر کدام از این دو حالـت منظور خاصی مدنظر بوده است، به این معنی که در حالت اول «خیر» به معنی نامطلوب بودن بیش از حد نتایج و در حالت دوم به معنی رضایت بخش بودن نتایج آزمایشگاهی و ارضای ضوابط مربـوط بـه پذیرش بتن می باشد که در هر دو حالت نیازی به انجام اقدامات خاص برای حصول اطمینـان وجـود ندارد. قاعده شماره چهار در همین پایگاه قواعد فازی نیز به این نکته توجه دارد که اگر A **منفـی** و B کم باشد آنگاه نتیجه **بلی** است (به محدوده تعریف توابع عضویت توجـه نماییـد.) یعنـی در اینصـورت سیستم علاوه بر اینکه تصمیم نهایی خود را در مورد قطعه بتنی بـا توجـه بـه بررسـی کلیـه شـرایط موجود اعم از نتایج بدست آمده از آزمایش و نیز شرایط کارگاهی (بر اسـاس تجزیـه و تحلیـل توسـط سیستم فازی پذیرش بتن و نتایج آزمایشگاهی و ارائه خروجـی ۱ یـا ۱-) اعـلام مـی نمایـد، کـاربر را نسبت به اینکه نتایج آزمایشگاهی نمونه های بتنی ضوابط موجود در آیین نامـه را در مـورد رده بـتن ارضا نمی نماید، آگاه می سازد و لزوم انجام اقدامات خاص را نیز برای بتن مورد نظر پیشنهاد می کند. لازم به ذکر است که این تصمیم گیری بر اساس نتایج آزمایشگاهی می باشد و سیستم در این مـورد، شرایط کارگاهی را مدنظر قرار نداده و تنها ضوابط آیین نامه را مورد بررسی قرار می دهد.

در این بلوک فازی نیز مشابه سایر بلوکهای فازی ساخته شده در این سیستم از موتور استنتاج فازی حاصلضرب و غیر فازی ساز *mom* استفاده شده است.

فصل پانزدهم

معرفی نرم افزار مطلب

۱۵-۱ مقدمه :

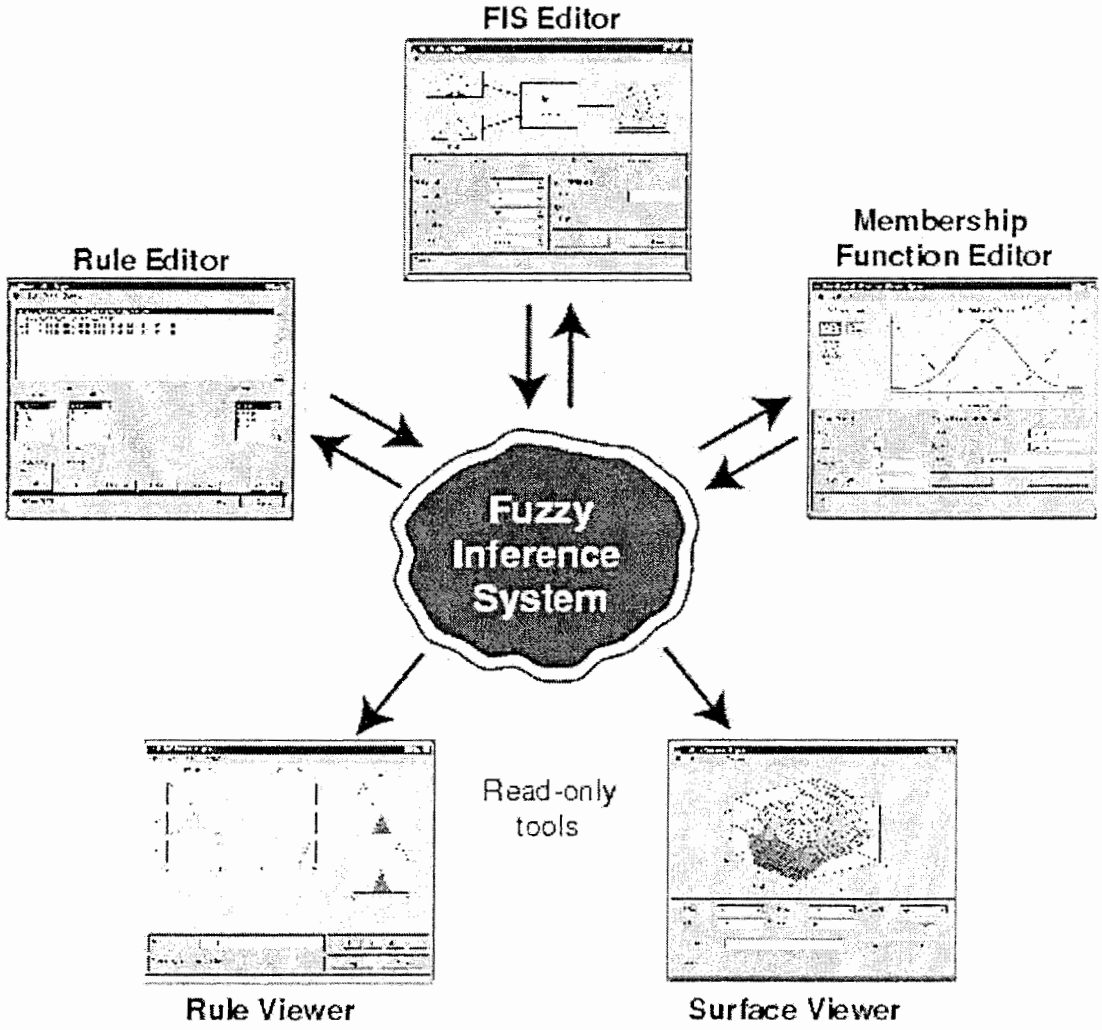
مطلب یکی از کاملترین و کاربردی ترین نرم افزارهایی است که در بسیاری از زمینه ها از جمله مسائل مهندسی مورد استفاده قرار می گیرد. توانایی این نرم افزار در محاسبات ریاضی، مدلسازی، شبیه سازی، آنالیز و پردازش داده ها و ... آن را به عنوان یک نرم افزار جامع در بسیاری از علوم مطرح ساخته است. قابلیتهای بالای این نرم افزار در حل مسائل پیچیده از لحاظ محاسبات و مجهز بودن به بسیاری از ابزار و امکانات در جهت مدل سازی و اجرای توابع غیر خطی بسیار پیچیده، همچنین زبان برنامه نویسی کامل و همه جانبه از ویژگیهای این نرم افزار می باشد. یکی از کاربردهای این نرم افزار، طراحی و مدلسازی سیستم های فازی بر اساس قوانین حاکم بر علم فازی و همچنین سیستم های استنتاج فازی می باشد. در ادامه این فصل به منظور آشنایی با نحوه عملکرد این نرم افزار در زمینه طراحی سیستم های فازی به شرح مختصری از بخش فازی این نرم افزار خواهیم پرداخت و مراحل گام به گام ساخت و مدلسازی یک سیستم فازی را با ذکر مثالی ساده مورد بررسی قرار خواهیم داد.

لازم به ذکر است این نرم افزار به چند طریق می تواند یک سیستم فازی را مدلسازی کند. بدین معنی که هم می توان با استفاده از جعبه ابزار منطقی و نوشتن برنامه به زبان فازی مطلب به ساخت یک مدل فازی پرداخت و همچنین می توان با استفاده از بخش گرافیکی فازی، این مدل را بوجود آورد. آنچه در این فصل به آن پرداخته می شود، ساخت یک مدل فازی با استفاده از بخش گرافیکی فازی مطلب می باشد و در ساخت مدل از روش طرح یک سیستم فازی با استفاده از فازی سازها و

غیر فازی سازها استفاده می گردد و از بحث در مورد سایر روشهای ساخت سیستمهای فازی مانند روش سوگنو صرفه نظر می شود، حال آنکه این نرم افزار توانایی ساخت چنین سیستمی را نیز دارا می باشد.

برای ساخت مدل فازی و معرفی گام به گام مراحل ایجاد سیستم مورد نظر در ادامه این فصل از نرم افزار MATLAB 6.5 استفاده شده است.

ساختار کلی مدلسازی یک سیستم فازی با استفاده از مطلب در شکل نشان داده شده است.



شکل ۱۵-۱-۱ : ساختار کلی مدلسازی یک سیستم فازی توسط نرم افزار مطلب

۲-۱۵ سیستم فازی تعیین رتبه یک رستوران :

فرض کنید شرکتی که وظیفه نظارت بر عملکرد رستورانها را بر عهده دارد، به منظور دادن رتبه و تعیین میزان سود مجاز آنها در پی نوشتن قوانینی برای دادن ستاره به این رستورانها می باشد. آنچه امروزه بعنوان میزان سود مجاز از سوی دستگاههای نظارتی برای رستورانها در نظر گرفته می شود، در حدود ۱۵٪ از میزان هزینه می باشد. در صورتیکه مطابق نظر و عقیده این شرکت کیفیت سرویس دهی و همچنین غذای ارائه شده در تعیین رتبه آن مجموعه و به تبع آن میزان سودی که باید برای آن در نظر گرفته شود از اهمیت به سزایی برخوردار است و این امری است که از لحاظ منطقی نیز کاملاً صحیح و ضروری می باشد. لذا این شرکت قصد دارد تأثیر این پارامترها را نیز در تصمیم گیری خویش لحاظ نماید. اما چگونگی تعریف این پارامترها و تأثیر دادن آنها مسئله ای است که نمی توان بصورت دقیق و با قطعیت در مورد آن اظهار نظر کرد. از طرفی تجربیات انسانهای خبره که سالیان زیادی را در رستورانها سپری کرده اند، می تواند کمک قابل ملاحظه ای را در تشخیص این پارامترها و میزان تأثیر آن درمقبولیت یک رستوران بنماید، اما این تجربیات و دانش انسانهای خبره به صورت متغیرهای زبانی و به صورت عامیانه بیان می شود. بهمین دلیل این شرکت تصمیم گرفته است تا از یک سیستم فازی برای رسیدن به هدف خویش استفاده نماید.

به منظور طراحی این سیستم از سه قانون طلایی به عنوان پایگاه قواعد فازی استفاده شده است که عبارت اند از :

۱- اگر سرویس دهی ضعیف یا غذا بدمزه باشد، **آنگاه** رتبه رستوران پایین است.

۲- اگر سرویس دهی خوب باشد، **آنگاه** رتبه رستوران متوسط است.

۳- اگر سرویس دهی عالی یا غذا خوشمزه باشد، **آنگاه** رتبه رستوران عالی است.

با توجه به قوانین و عبارات زبانی بکاربرده شده در آن، این شرکت برای طراحی سیستم فازی مورد نظر برای هر کدام از عبارات زبانی، توابع عضویت مطلوب را معرفی کرده و به ساخت یک سیستم فازی می پردازد.

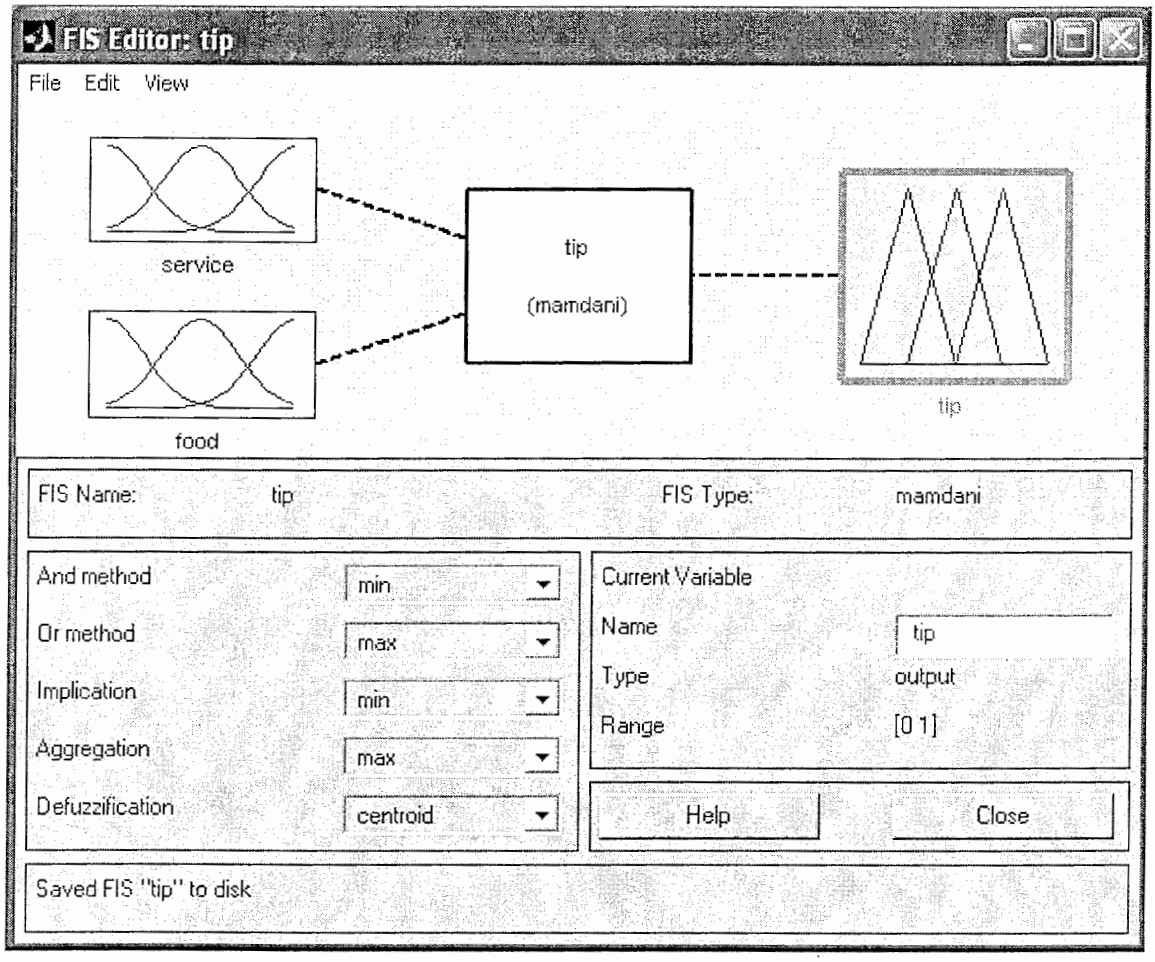
در طراحی سیستم فازی از استلزام ممدانی و موتور استنتاج مینیمم و نیز غیر فازی ساز گرانیگاه استفاده شده است. و متغیرهای فازی سرویس دهی (service) و کیفیت غذا (food) به عنوان

ورودی و میزان سود مجاز (tip) برای آنها به عنوان خروجی سیستم فازی در نظر گرفته شده است.

۱۵-۳ مدل سازی سیستم فازی در نرم افزار مطلب :

روش گام به گام

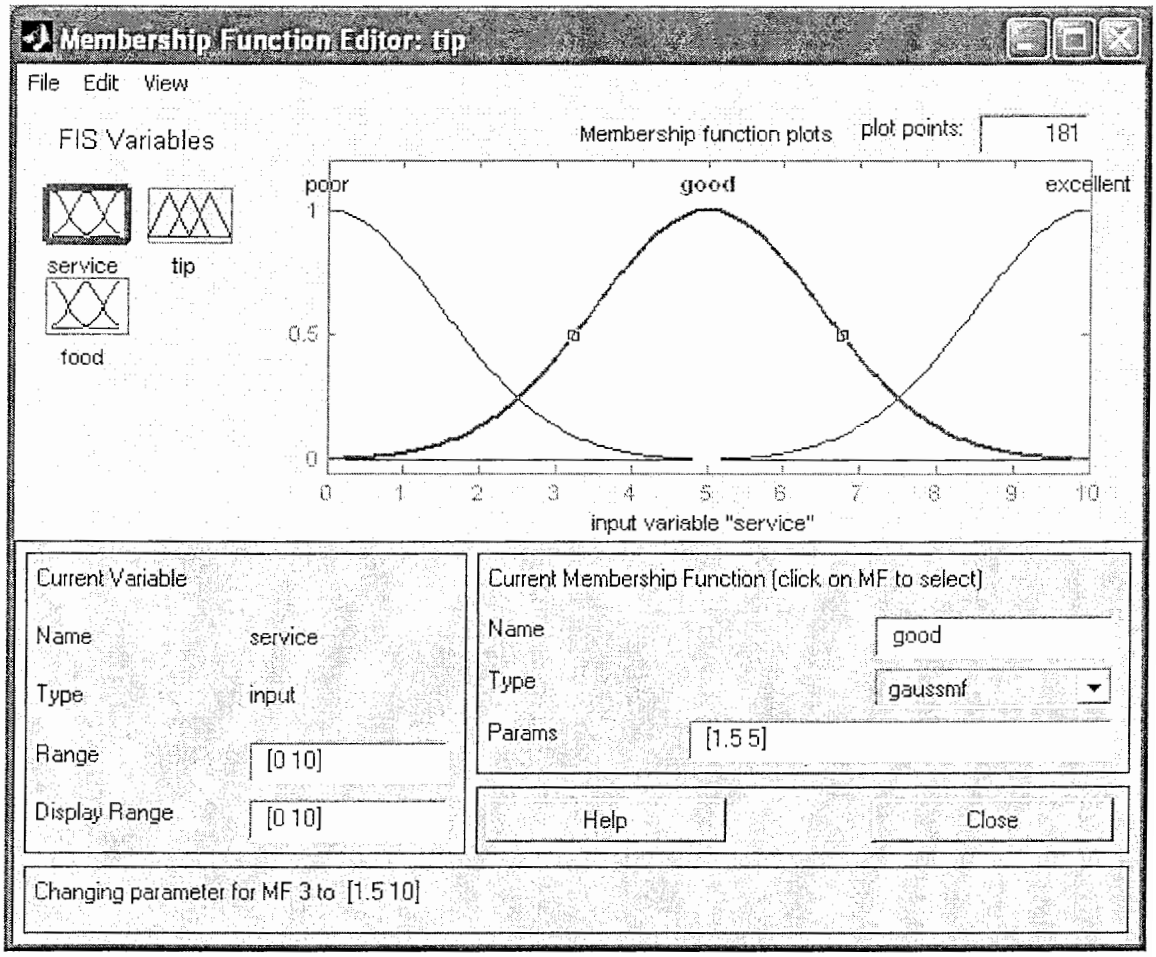
گام اول : با اجرای دستور Fuzzy (نوشتن این کلمه) در صفحه اصلی مطلب بخش گرافیکی مربوط به سیستم فازی « FIS Editor » را فرا می خوانیم. همانگونه که در شکل زیر نشان داده شده است در این صفحه کلیه اطلاعات اولیه مربوط به سیستم فازی اعم از تعداد ورودیها و خروجیها و همچنین نوع موتور استنتاج فازی و غیر فازی ساز را وارد می نماییم. به منظور ذخیره کردن این فایل با استفاده از منوی آبشاری File و اجرای دستور Export to disk این فایل را با نام دلخواه در آدرس مدنظر ذخیره می کنیم.



شکل ۱۵-۳-۱ : وارد کردن اطلاعات اولیه اعم از تعداد ورودی و خروجی و روش استنتاج

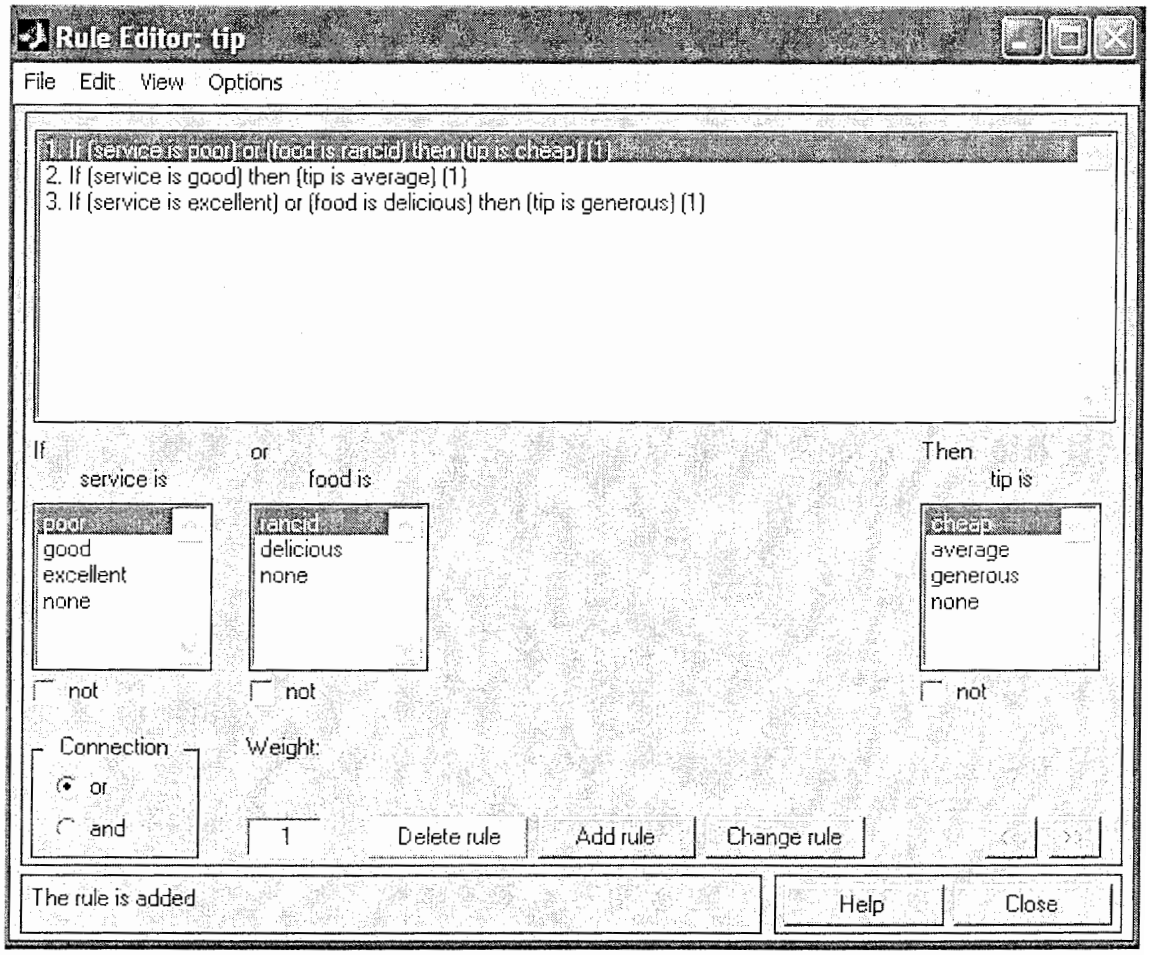
گام دوم : با دو بارکلیک کردن بر روی یکی از متغیرهای ورودی و یا خروجی، صفحه مربوط به تعریف توابع عضویت (Membership Function Editor) را فرا می خوانیم. همانگونه که در شکل نشان داده شده است، در این صفحه توابع عضویت مربوط به هر کدام از متغیرها را تعریف می کنیم. در این قسمت حالتهای مختلفی از توابع عضویت مانند توابع مثلثی، ذوزنقه ای، گوسی وجود دارد که بر اساس نوع سیستم فازی و ویژگیهای متغیرها می توان از هر یک از آنها استفاده کرد.

با توجه به پایگاه قواعد فازی تعریف شده، سه متغیر زبانی **ضعیف**، **خوب** و **عالی** برای سرویس و دو متغیر زبانی **خوشمزه** و **بد مزه** برای غذا و سه متغیر زبانی **پایین**، **متوسط** و **بالا** برای رتبه رستوران بیان گردیده است. همچنین از توابع گوسی، مثلثی و ذوزنقه ای به ترتیب برای متغیرهای سرویس، رتبه و غذا در تعریف توابع عضویت استفاده شده است.



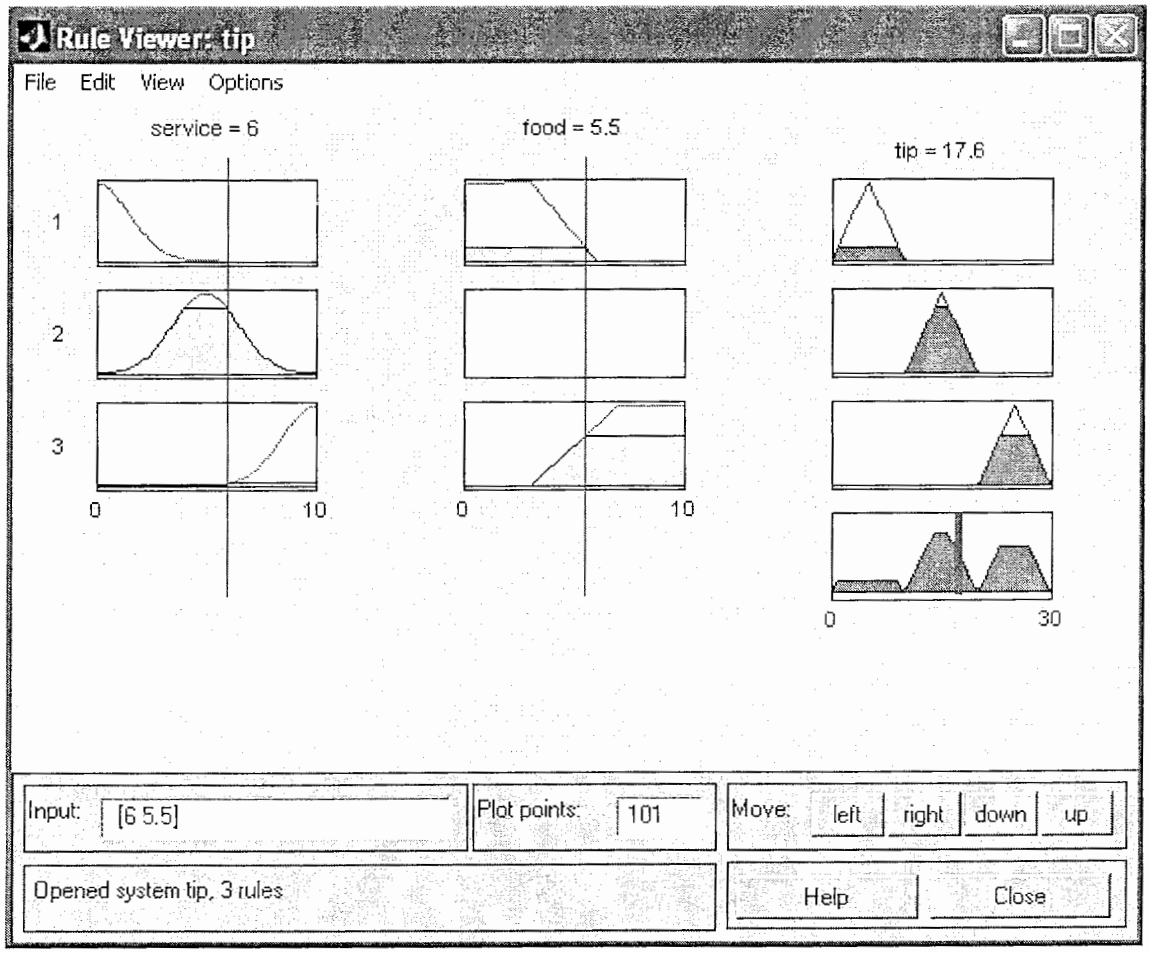
شکل ۱۵-۳-۲ : تعریف توابع عضویت برای هر یک از متغیرهای ورودی و خروجی

گام سوم : به منظور وارد کردن قواعد فازی به صفحه Fis Editor بازمی گردیم. با دوبارکلیک کردن بر روی واسطه میان ورودی و خروجی که در حقیقت همان پایگاه قواعد فازی می باشد، صفحه مربوط به تعریف قواعد فازی (Rule Editor) فعال می گردد. این صفحه بر اساس تعداد ورودیها و خروجیها و همچنین متغیرهای زبانی در نظر گرفته شده برای تعریف توابع عضویت، پایگاه قواعد فازی را تشکیل می دهد. در این صفحه می توان رابطه میان متغیرهای ورودی و خروجی را بر اساس واسطه های « و » و « یا » به منظور بیان قواعد فازی مورد نظر معین نمود. همچنین میزان اعتبار هر یک از قوانین تعریف شده که در حقیقت همان درجه اعتبار قاعده می باشد را با عددی بین صفر و یک مشخص کرد. شکل زیر چگونگی تعریف قواعد فازی سیستم مورد بحث را نشان می دهد.



شکل ۱۵-۳-۳ : تعریف پایگاه قواعد فازی بر اساس متغیرهای ورودی و خروجی

گام چهارم : پس از وارد کردن کلیه قوانین مورد نظر با برگشتن به صفحه FIS Editor طراحی سیستم به پایان می رسد. در این مرحله به منظور تحلیل و کنترل مدل ساخته شده با اجرای دستور Rule از منوی آبشاری View می توان بصورت گرافیکی چگونگی تجزیه و تحلیل سیستم را مشاهده نمود. همانگونه که در شکل نشان داده شده است با اجرای این دستور صفحه Rule Viewer فعال می شود. در این صفحه توابع عضویت تعریف شده برای متغیرهای زبانی مربوط به ورودیها و خروجیها به تعداد قواعد فازی نمایش داده شده است. با وارد کردن یک ورودی خاص در این بخش می توان نحوه استدلال و استنتاج را که بر اساس قوانین و اطلاعات اولیه داده شده از جمله نوع عملگرهای تعریف شده و نیز نوع غیر فازی ساز می باشد مشاهده نمود.



شکل ۱۵-۳-۴ : استنتاج سیستم فازی بر اساس ورودی و خروجی معین

همانگونه که در شکل نشان داده شده است با توجه به اینکه در این سیستم از استلزام ممدانی و موتور استنتاج مینیمم استفاده شده است، لذا با وارد کردن ورودی مورد نظر، این سیستم با مشخص کردن درجه عضویت این ورودیها در توابع تعلق و استفاده از عملگر max در تعبیر عبارت « یا » در پایگاه قواعد فازی و نیز در ترکیب سطوح بدست آوده از هر یک از قواعد فازی فعال شده، سطح نهایی مربوط به تابع تعلق متغیر خروجی را ایجاد می نماید و در نهایت بر اساس غیر فازی ساز گرانیگاه، مقدار عددی خروجی را بدست می آورد.

در صورتیکه میزان کیفیت سرویس دهی از لحاظ ارزشی معادل ۶ و میزان کیفیت غذا معادل ۵/۵ در نظر گرفته شود، میزان سود مجاز این رستوران با توجه به قوانین طلایی که از دانش افراد خبره بدست آمده است معادل ۱۷/۶ خواهد بود. بدین ترتیب با مدل سازی این سیستم بصورت فازی، تأثیر کیفیت غذا و سرویس دهی نیز در رتبه و میزان سود مجاز یک رستوران در نظر گرفته می شود.

لازم به ذکر است که با اجرای دستور View surface از منوی آبشاری View می توان سطحی را که مقدار متغیر خروجی بر حسب مقدار ورودیها تشکیل می دهد، مورد بررسی قرار داد و در حقیقت تأثیر هر یک از ورودیها را بصورت انفرادی و یا تأثیر ترکیبی ورودیها را بر خروجی مشاهده نمود.

۱۵-۴ ویژگیهای نرم افزار مطلب در بخش فازی :

مطابق آنچه در قسمت قبل مطرح گردید، توسط نرم افزار مطلب می توان به سادگی سیستم فازی را مدل سازی و تجزیه و تحلیل نمود و نتایج را بصورت گرافیکی و ملموس مشاهده کرد. بخش فازی مطلب این امکان را فراهم می سازد تا بتوان سیستم های فازی با قوانین بسیار پیچیده و با ورودی و خروجیهای متعدد را که هر کدام خود می توانند قسمتی از یک مدل فازی دیگر و یا بخشی از یک سیستم در حالت کلی باشند را به آسانی و در مدت زمان اندک مورد تجزیه و تحلیل قرار داد و نتایج را بدست آورد و سیستم فازی مدل شده را در صورت عدم ارضای شرایط دلخواه ویرایش و بازسازی نمود و با تغییر دادن هر کدام از قسمتهای این سیستم نتایج را به سرعت ارزیابی کرد.

علاوه بر بخش گرافیکی، این نرم افزار دارای بلوکهای فازی در بخش سیمولینک (simulink) می باشد و می توان براحتی سیستمهای فازی را بعنوان قسمتی از یک مدل در هر زمینه دلخواه، مورد استفاده قرار داد. از طرفی نرم افزار مطلب قابلیت نوشتن برنامه را برای ساخت یک مدل فازی فراهم

می نماید تا در صورتیکه قابلیتهای بخش گرافیکی فازی برای ارضای شرایط مورد نظر کافی نباشد و یا علاقمند به استفاده از موتورهای استنتاج یا توابع عضویت با فرمولها و روابط ریاضی خاصی هستیم که در بخش گرافیکی موجود نیست و در مورد مسئله مورد بحث شخصاً تعریف کرده ایم، با نوشتن برنامه به زبان مطلب و استفاده از دستورات فازی بتوان هر گونه تغییرات لازم را ایجاد نمود.

از دیگر ویژگیهای این نرم افزار در بخش فازی این است که این بخش قابلیت ایجاد قواعد بصورت خودکار را نیز دارا می باشد و می توان تنها با وارد کردن اطلاعات اولیه و تعریف مقادیر زبانی تشکیل قواعد را به نرم افزار واگذار کرد. در این حالت سیستم با در نظر گرفتن کلیه ترکیبات ممکن از مقادیر زبانی قواعد را می سازد.

نرم افزار مطلب، با توجه به اینکه امکان ساختن مدلهایی بصورت شبکه های عصبی را نیز دارا می باشد، می توان از این نرم افزار برای ساختن مدلهایی بصورت ترکیبی از شبکه های عصبی و سیستم های فازی بهره گرفت و در حقیقت یک سیستم بصورت نوروفازی را مدل سازی نمود. در این روش علاوه بر استفاده از قواعد فازی در تجزیه و تحلیل سیستم از داده هایی بصورت ورودی و خروجی نیز می توان در ساخت مدل کمک گرفت.

فصل شانزدهم

مدلسازی سیستم با استفاده از نرم افزار مطلب

۱۶-۱ مقدمه :

به منظور تجزیه و تحلیل سیستم فازی پذیرش بتن در این پروژه از بخش مربوط به سیستم های فازی و نیز بخش سیمولینک نرم افزار مطلب استفاده گردیده است. در فصلهای گذشته فرضیات در نظر گرفته شده برای طراحی سیستم فازی و همچنین مشخصات این سیستم اعم از فازی سازها، پایگاه قواعد فازی، موتور استنتاج فازی و نیز غیر فازی مورد استفاده در سیستم بطور کامل شرح داده شد، همچنین چگونگی ساخت یک مدل فازی با استفاده از نرم افزار مطلب با ذکر مثال مورد بررسی قرار گرفت.

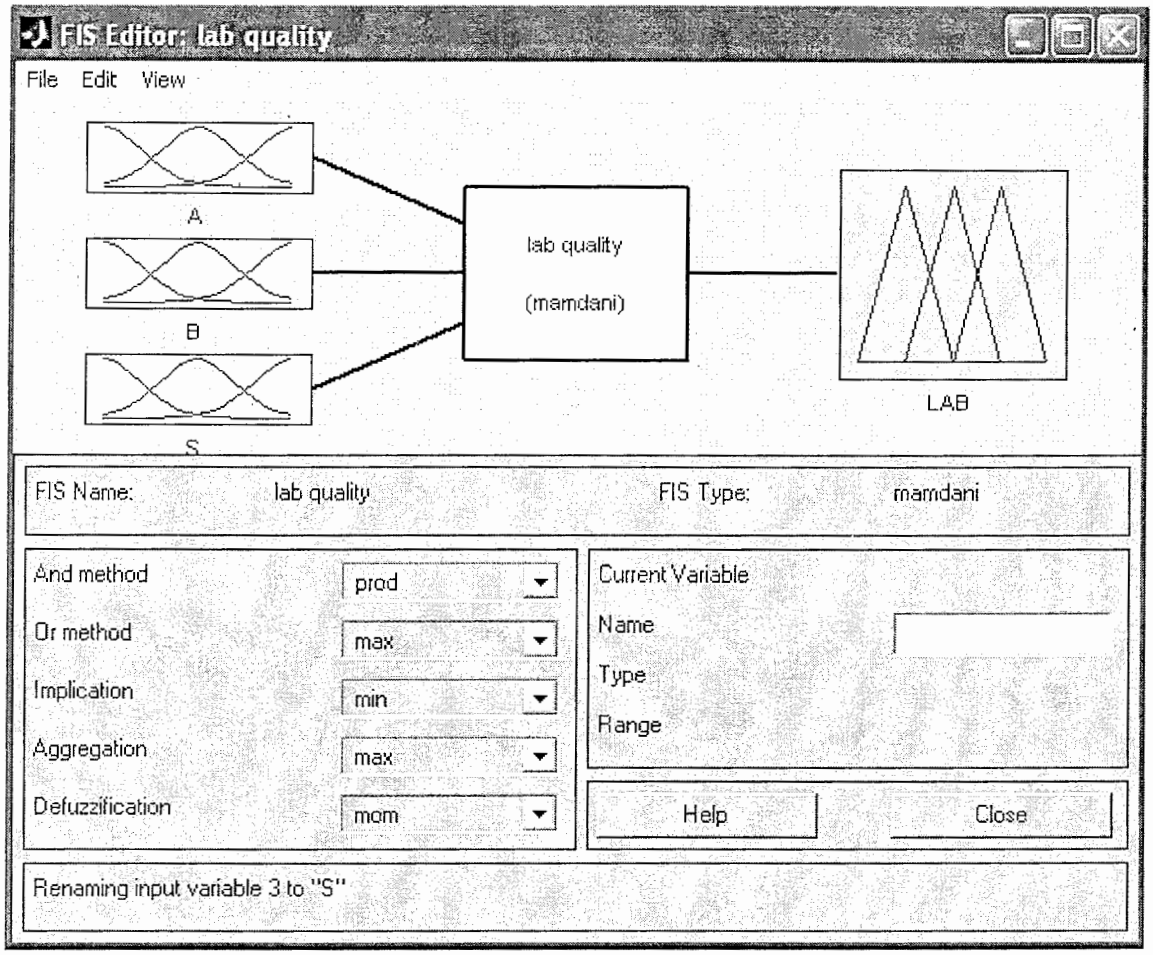
در این بخش بر اساس فرضیات مطرح شده و نیز مشخصات سیستم فازی پذیرش بتن به مدلسازی این سیستم توسط نرم افزار مطلب خواهیم پرداخت و مراحل این مدلسازی را بصورت گام به گام عنوان خواهیم نمود. و در نهایت پس از مدلسازی سیستم، با توصیف شرایط مربوط به یک بتن ریزی چگونگی تصمیم گیری توسط این سیستم را در مورد پذیرش و یا عدم پذیرش بتن کارگاهی مورد بررسی قرار می دهیم. لازم به ذکر است که در مدلسازی سیستم پذیرش بتن در این پروژه از نرم افزار مطلب مدل **Matlab 6.5** استفاده شده است.

۱۶-۲ ایجاد بلوک فازی نتایج آزمایشگاهی :

همانگونه که در فرضیات طراحی عنوان گردید، به منظور فازی سازی متغیر ورودی نتایج آزمایشگاهی از یک سیستم فازی مجزا استفاده می نماییم و خروجی این سیستم را به عنوان ورودی سیستم فازی پذیرش بتن، در نظر می گیریم. سیستم فازی مربوط به نتایج آزمایشگاهی از سه ورودی و یک خروجی تشکیل شده است که ورودیهای آن پارامترهای A ، B وS و خروجی آن میزان مقبولیت نتایج آزمایشگاهی (lab) می باشد. این سیستم با استفاده از برنامه ای به زبان مطلب و ایجاد یک Mfile برای بلوک فازی مورد نظر، ساخته می شود. در ادامه این بخش آنچه به عنوان بلوک فازی بصورت گرافیکی قابل مشاهده می باشد، بصورت گام به گام مطرح خواهد گردید.

۱۶-۲-۱ تعریف اطلاعات اولیه سیستم :

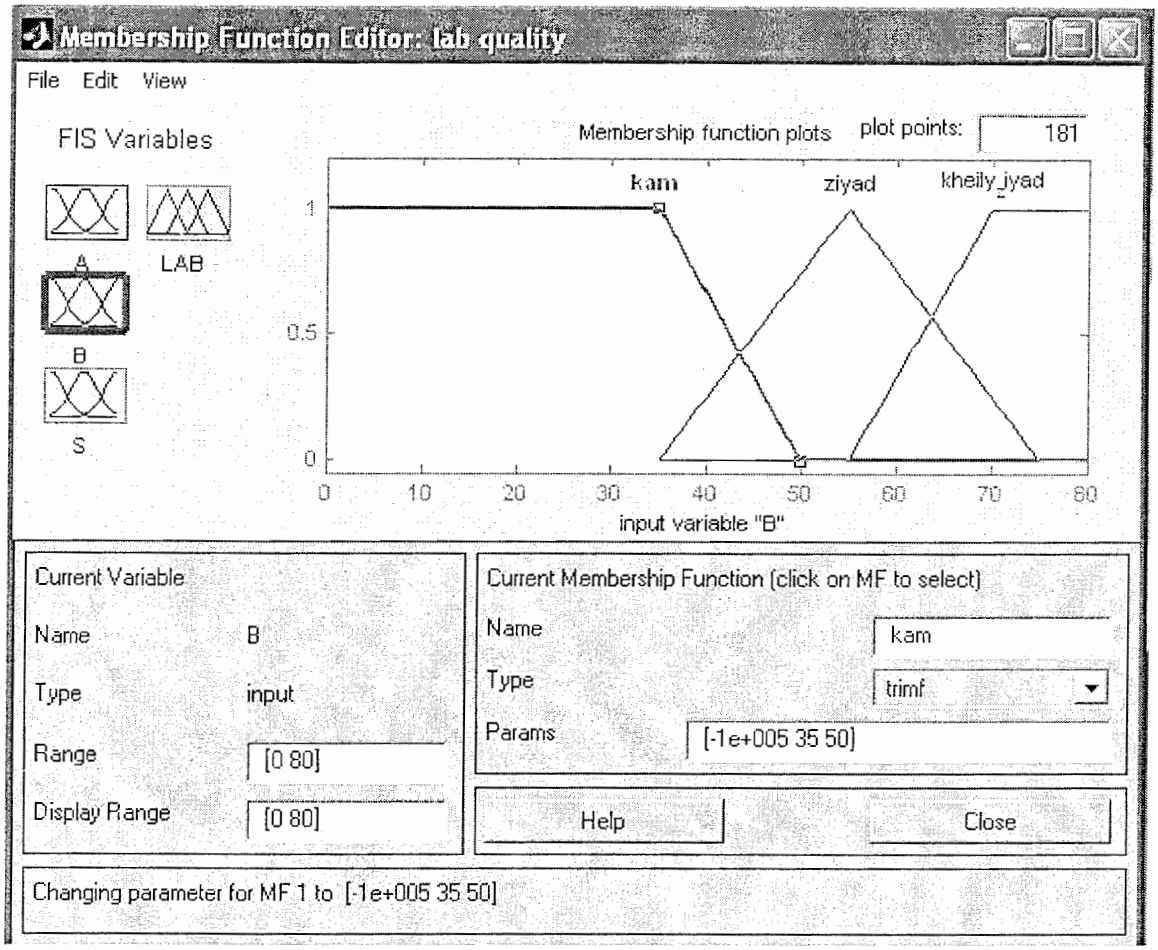
در این بخش اطلاعات اولیه سیستم اعم از تعداد متغیرهای ورودی و خروجی، نوع موتور استنتاج فازی و غیر فازی ساز مورد استفاده، تعریف می گردند. همانگونه که در فرضیات طراحی عنوان گردید، در این سیستم از موتور استنتاج فازی حاصلضرب و غیر فازی ساز میانگین مراکز استفاده شده است. مطابق این روش به منظور استنتاج فازی، در تعبیر عملگر فازی «و» (And method) در پایگاه قواعد فازی از حاصلضرب درجات عضویت و در تعبیر«یا» (Or method) از ماکزیمم درجات عضویت و در روش استلزام (Implication) از استلزام مینیمم ممدانی و همچنین به منظور ترکیب قواعد فعال شده (Aggregation) با توجه به ورودیهای سیستم از عملگر ماکزیمم در بدست آوردن سطح نهایی مربوط به خروجی فازی و در نهایت غیرفازی ساز (Defuzzification) میانگین مراکز (mom) استفاده می شود. شکل ۱۶-۲-۱ چگونگی تعریف اطلاعات اولیه را به صورت گرافیکی نشان می دهد.



شکل ۱۶-۲-۱ تعریف اطلاعات اولیه سیستم فازی کیفیت نتایج آزمایشگاهی

۱۶-۲-۲ تعریف توابع عضویت :

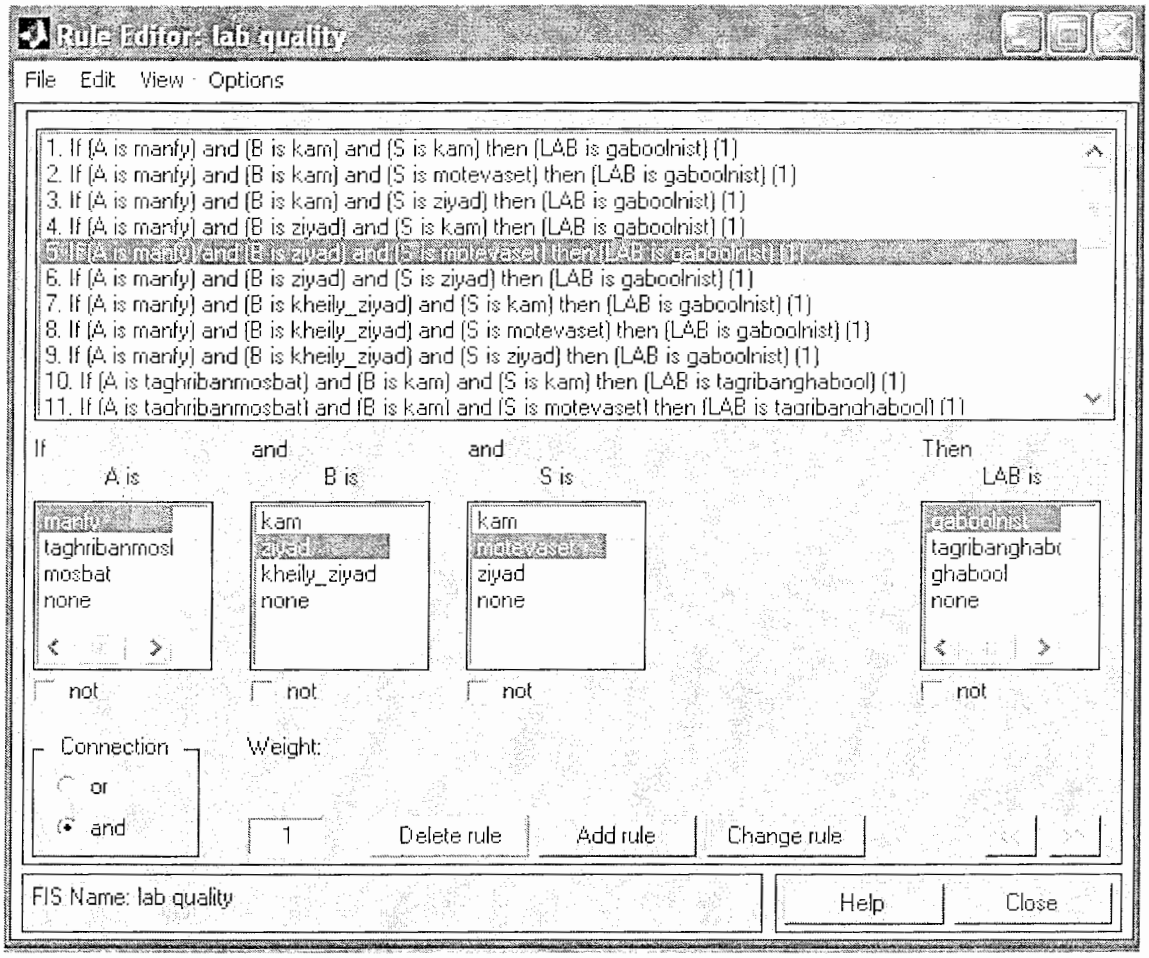
در این بخش توابع عضویت هر یک از متغیرهای ورودی و خروجی مربوط به سیستم فازی کیفیت نتایج آزمایشگاهی تعریف می گردند. مطابق آنچه در فرضیات طراحی عنوان گردید، در این سیستم برای تعریف توابع عضویت از توابع مثلثی (فازی ساز مثلثی) استفاده شده است که چگونگی تعریف آنها و دامنه هر کدام از این توابع در فصل فرضیات طراحی به طور کامل در شکل ۱۴-۶-۲-۱ نشان داده شده است. به عنوان مثال چگونگی تعریف توابع عضویت مربوط به متغیر ورودی پارامتر B در شکل ۱۶-۲-۲ نشان داده شده است. مطابق آنچه در شکل نشان داده شده است در تعریف توابع عضویت متغیر ورودی B از سه متغیر زبانی کم، زیاد و خیلی زیاد استفاده شده است.



شکل ۱۶-۲-۲ تعریف توابع عضویت قیدهای زبانی برای متغیر ورودی B

۱۶-۲-۳ تعریف پایگاه قواعد فازی :

در این قسمت، پایگاه قواعد فازی که به منظور تجزیه و تحلیل سیستم مورد نیاز می باشد و در فصل فرضیات طراحی به صورت جدول ۱۴-۶-۲-۱ نشان داده شده است، برای سیستم فازی کیفیت نتایج آزمایشگاهی تعریف می گردد. چگونگی تعریف این قواعد فازی در شکل ۱۶-۲-۳ نشان داده شده است. مطابق شکل با توجه به تعداد قیدهای زبانی متغیرهای ورودی، پایگاه قواعد فازی از ۲۷ قاعده تشکیل شده است که نشان دهنده کامل بودن پایگاه قواعد فازی می باشد.



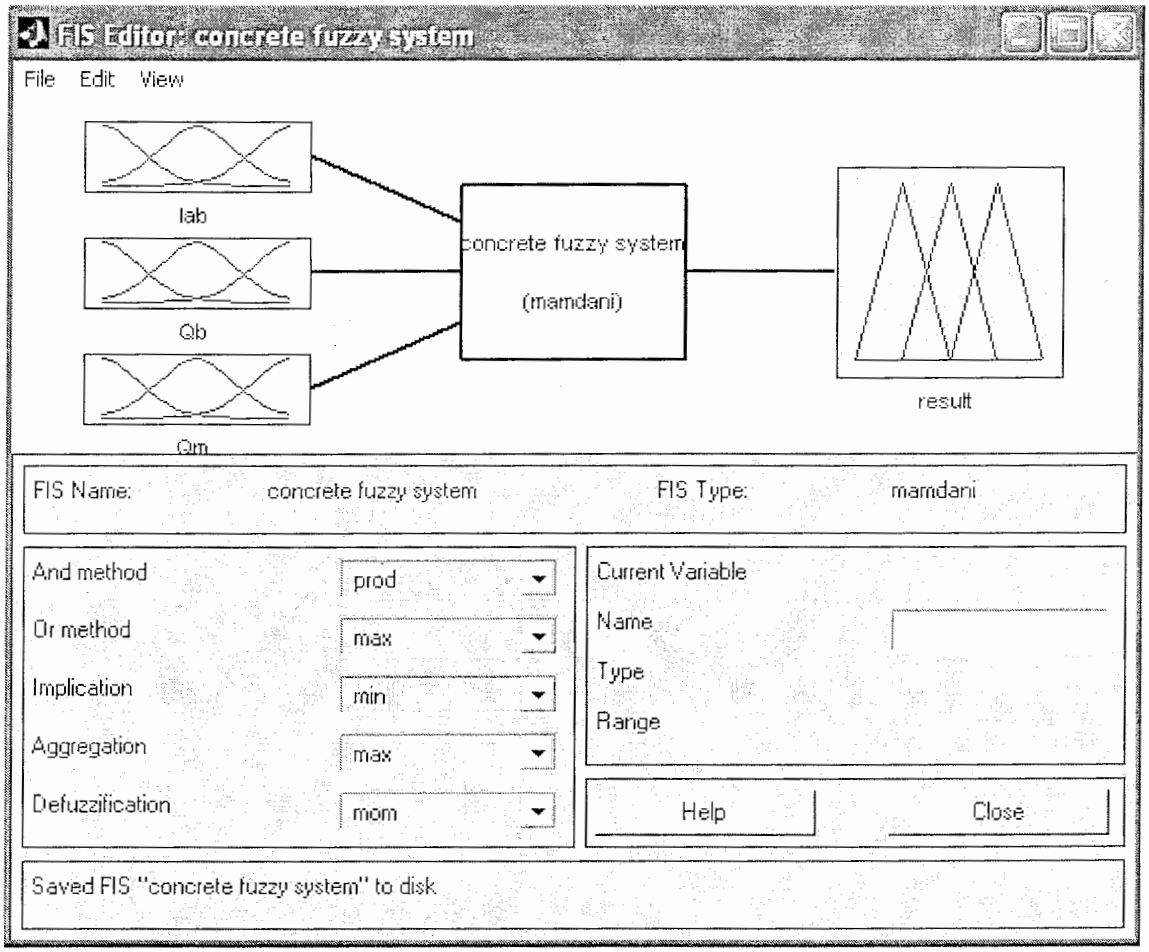
شکل ۱۶-۲-۳ تعریف پایگاه قواعد فازی سیستم فازی کیفیت نتایج آزایشگاهی

۱۶-۳ ایجاد بلوک فازی سیستم پذیرش بتن :

با توجه به آنچه در فرضیات طراحی مطرح گردید، به منظور تعیین میزان مقبولیت بتن کارگاهی، از یک سیستم فازی استفاده می نماییم. این سیستم دارای سه ورودی و یک خروجی می باشد. ورودیهای این سیستم کیفیت نتایج آزمایشگاهی (lab)، کیفیت عملیات بتن ریزی (Q_b)، کیفیت نحوه نگهداری از بتن اجراشده (Q_m) و خروجی آن نتیجه نهایی تصمیم گیری (result) در مورد پذیرش و یا عدم پذیرش بتن کارگاهی می باشد. در مدلسازی این سیستم نیز، با استفاده از زبان برنامه نویسی مطلب و ساخت یک Mfile ، بلوک فازی مورد نظر ایجاد می شود. در ادامه این بخش آنچه به صورت گرافیکی در مدلسازی سیستم قابل مشاهده می باشد، مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱۶-۳-۱ تعریف اطلاعات اولیه سیستم :

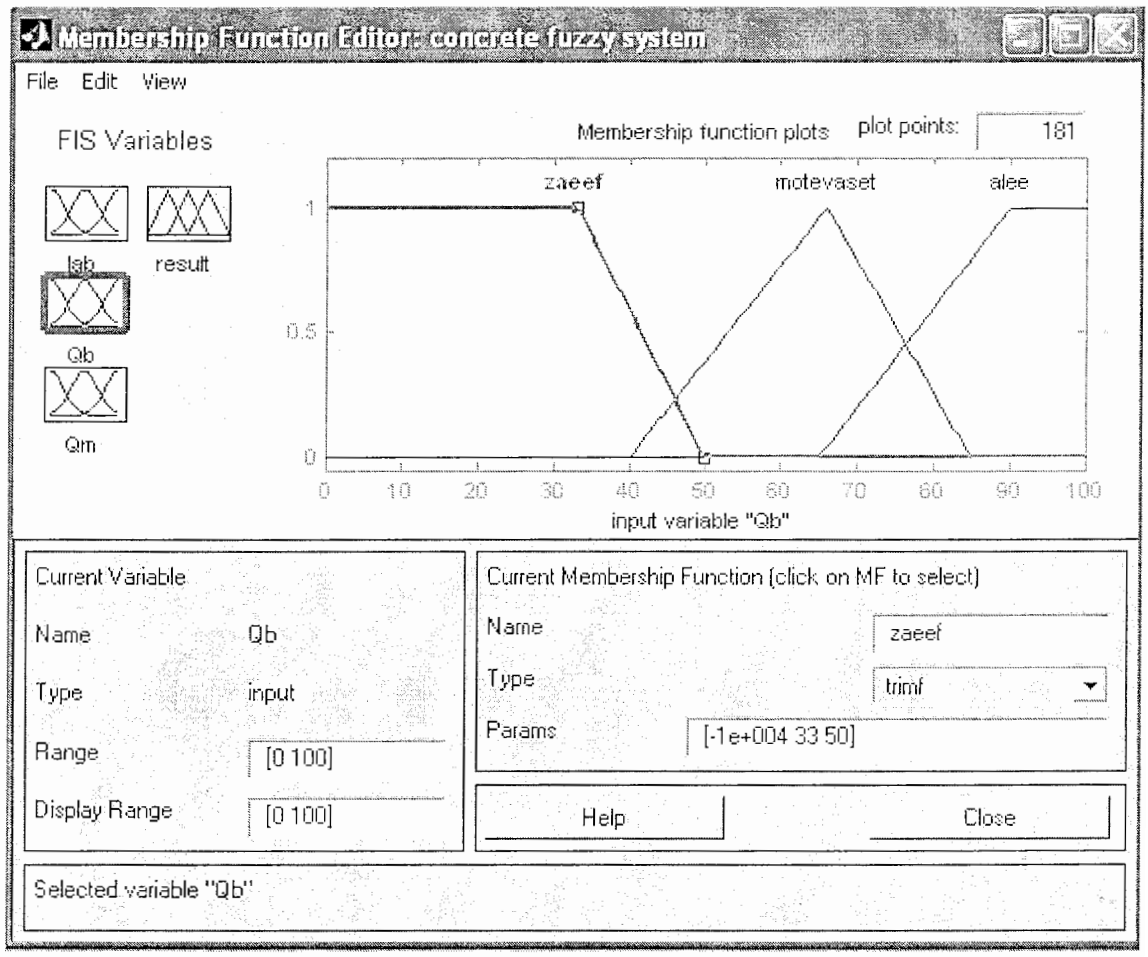
مشابه آنچه در قسمت مربوط به تعریف اطلاعات اولیه نتایج آزمایشگاهی عنوان گردید، در این بخش نیز اطلاعات اولیه سیستم فازی پذیرش بتن، به صورت گرافیکی تعریف می گردد. لازم به ذکر است که ورودی مربوط به کیفیت نتایج آزمایشگاهی در حقیقت همان خروجی سیستم فازی نتایج آزمایشگاهی (lab) می باشد. در این سیستم نیز از موتور استنتاج حاصلضرب و غیر فازی ساز میانگین مراکز استفاده شده است. چگونگی تعریف این اطلاعات اولیه در شکل ۱۶-۳-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۶-۳-۱ تعریف اطلاعات اولیه سیستم فازی پذیرش بتن

۱۶-۳-۲ تعریف توابع عضویت :

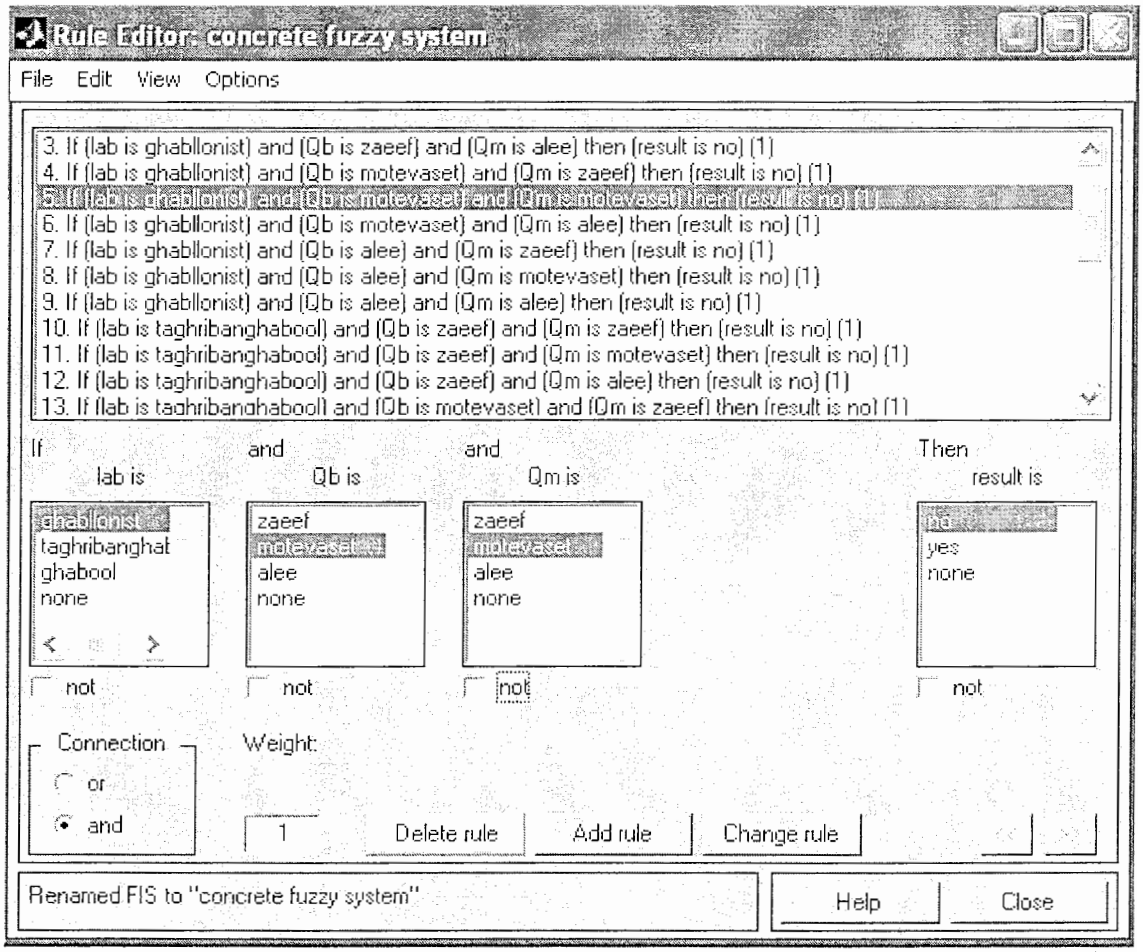
با توجه به قیدهای زبانی در نظر گرفته شده برای هر کدام از متغیرهای ورودی و خروجی سیستم فازی پذیرش بتن، توابع عضویت آنها در بخش فرضیات طراحی تعریف گردید. مطابق آنچه در اشکال ۱۴-۶-۳-۱ ، ۱۴-۶-۴-۱ و ۱۴-۶-۵-۱ نشان داده شده است، برای تعریف توابع عضویت از فازی سازهای مثلثی استفاده شده است و بر اساس آن هر یک از قیدهای زبانی مربوط به متغیرهای ورودی و خروجی سیستم تعبیر گردیده است. شکل ۱۶-۳-۲ چگونگی تعریف توابع عضویت را برای متغیر ورودی کیفیت بتن ریزی نشان می دهد.



شکل ۱۶-۳-۲ تعریف توابع عضویت قیدهای زبانی برای متغیر ورودی کیفیت بتن ریزی

۱۶-۳-۳ تعریف پایگاه قواعد فازی :

پایگاه قواعد سیستم فازی پذیرش بتن با استفاده از نتایج بدست آمده از نظر سنجی در بخش فرضیات طراحی (جدول ۱۴-۵-۱) ارائه گردید. در این قسمت چگونگی تعریف این پایگاه قواعد در سیستم مورد نظر در شکل ۱۶-۳-۳ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود، با توجه به تعداد قیدهای زبانی متغیرهای ورودی، پایگاه قواعد فازی بصورت کامل در این سیستم معرفی می شوند و همچنین درجه اعتبار هر کدام از قواعد نیز در این قسمت معرفی می شود. لازم به ذکر است که کلیه قواعد فازی در نظر گرفته شده در این سیستم دارای درجه اعتبار یک می باشند.



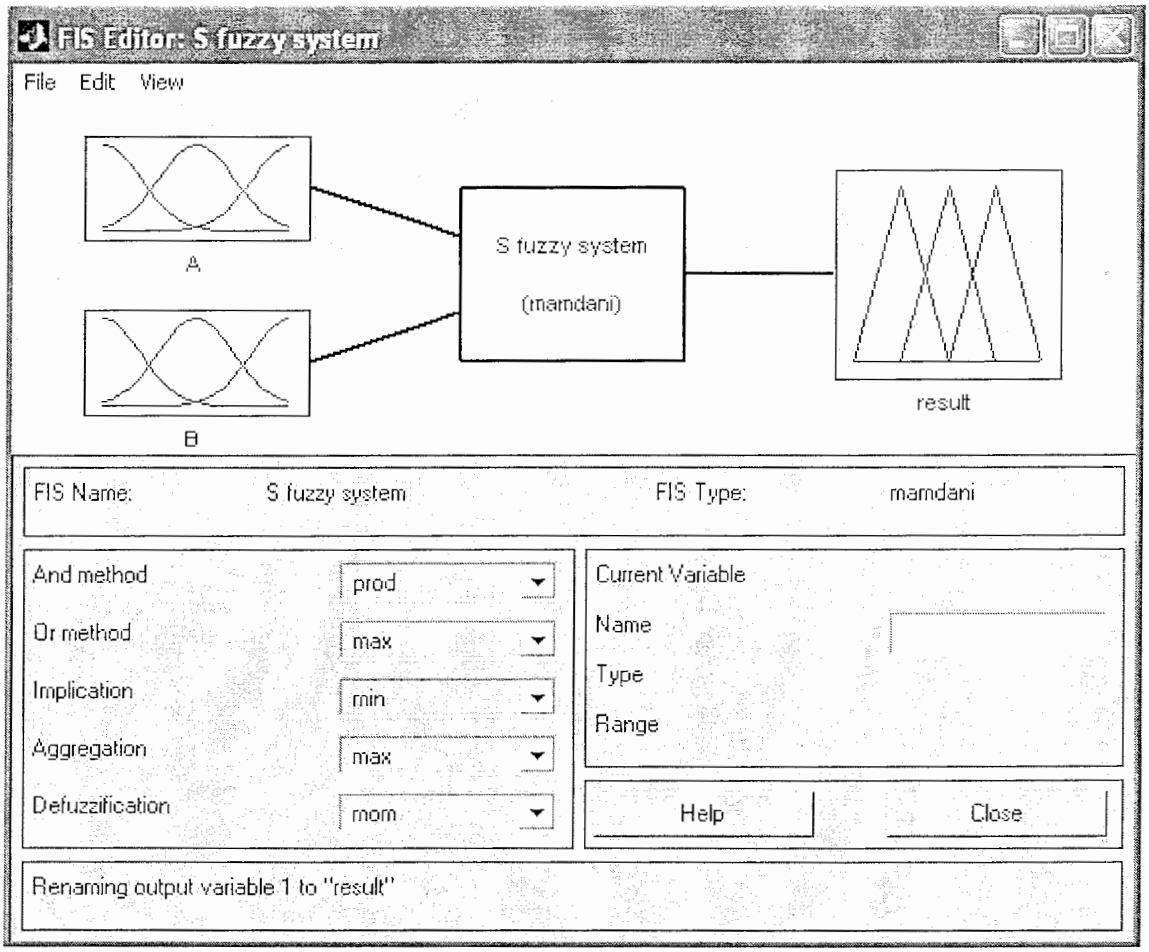
شکل ۱۶-۳-۳ تعریف پایگاه قواعد فازی سیستم فازی پذیرش بتن

۱۶-۴ ایجاد بلوک فازی سیستم پیشنهاد (S)

همانگونه که در بخشهای گذشته مطرح گردید، به منظور بالابردن قابلیتها و تواناییهای سیستم مورد نظر و نیز افزایش سطح هوشمندی این سیستم توسط بلوک فازی پیشنهاد (S) مدلی ساخته شد تا بتوان از طریق آن در صورت نیاز کاربر را نسبت به انجام اقدامات ویژه و تدابیر خاص در مورد بتن اجرا شده آگاه نمود. این مدل فازی عبارت است از یک سیستم فازی با دو ورودی و یک خروجی که ورودیهای آن متغیرهای A و B و خروجی آن r می باشد (شکل ۱۴-۹-۱).

۱۶-۴-۱ تعریف اطلاعات اولیه سیستم :

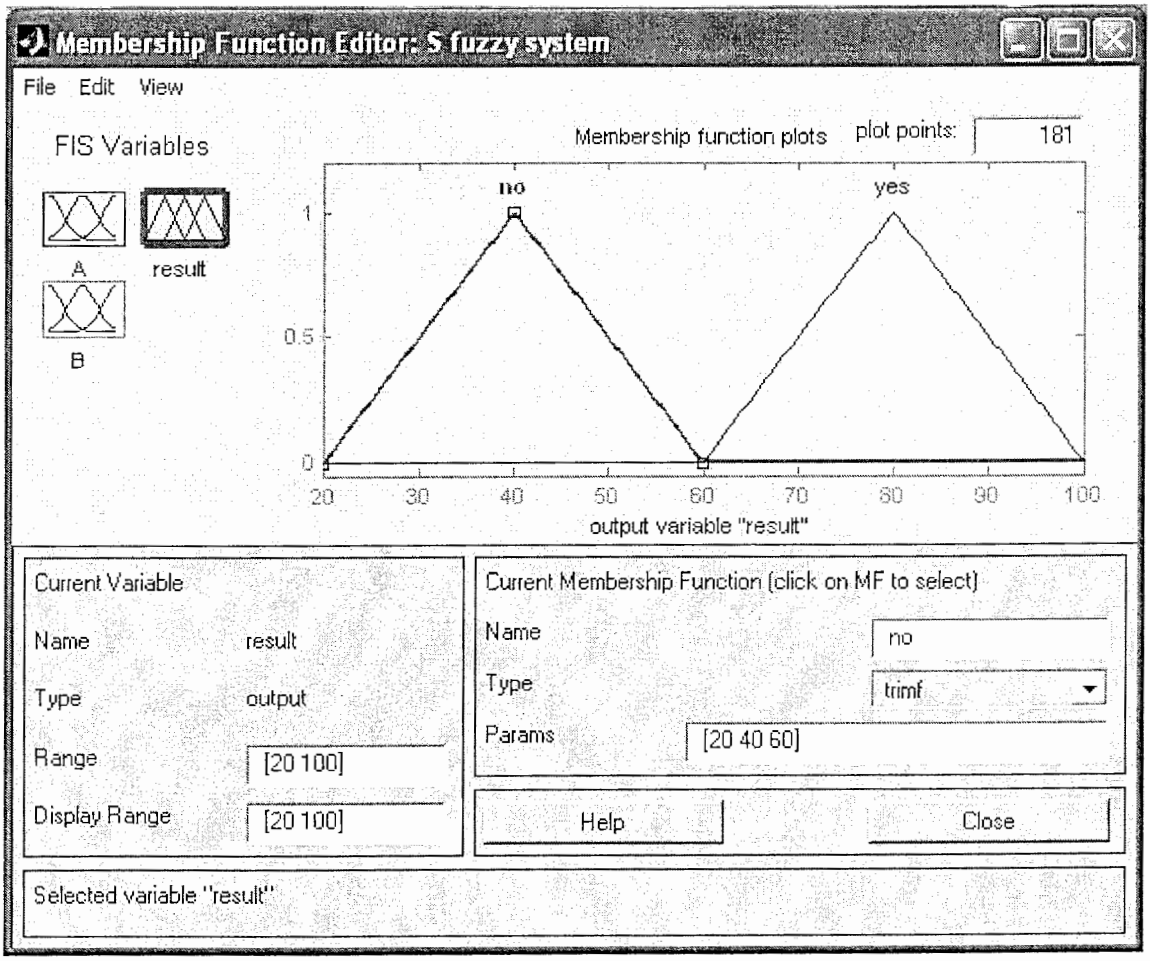
اطلاعات اولیه بلوک فازی که شامل وارد ساختن تعداد متغیرهای ورودی و خروجی، تعریف نوع موتور استنتاج فازی و همچنین غیر فازی ساز مورد استفاده در این سیستم می باشد، مطابق شکل ۱۶-۴-۱ تعریف می شود.



شکل ۱۶-۴-۱ تعریف اطلاعات اولیه سیستم فازی پیشنهاد (S)

۱۶-۴-۲ تعریف توابع عضویت :

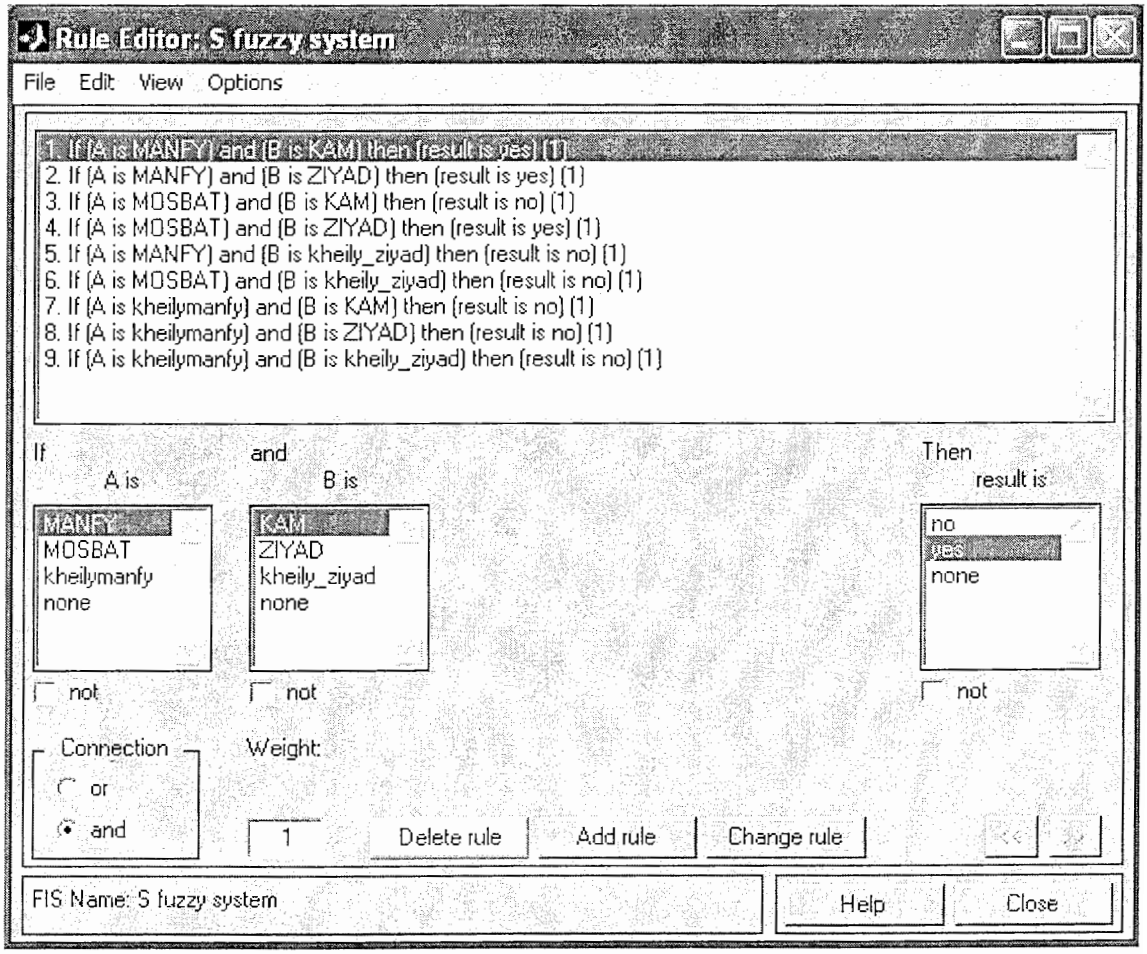
در این بخش توابع عضویتی را که برای هر کدام از متغیرهای ورودی و خروجی سیستم تعریف کرده ایم برای ساخت مدل فازی در نرم افزار مطلب بصورتی که در شکل ۱۶-۴-۲ نشان داده شده است تعریف می نماییم. در این شکل به عنوان نمونه چگونگی تعریف توابع عضویت برای متغیر خروجی r نشان داده شده است. مطابق این شکل در تعریف این توابع عضویت از فازی سازهای مثلثی استفاده شده است.



شکل ۱۶-۴-۲ تعریف توابع عضویت برای متغیر خروجی r

۱۶-۴-۳ تعریف پایگاه قواعد فازی :

آنچه به عنوان پایگاه قواعد فازی در این سیستم مورد استفاده قرار مـی گیـرد در جـدول ۱۴-۹-۱ نشان داده شده است. همانگونه که عنوان گردید در این سیستم با توجه بـه تعـداد متغیرهـای زبـانی مورد استفاده برای هر کدام از متغیرهای ورودی و به منظور کامل بودن پایگاه قواعد فـازی و ارضـای کلیه حالتهای مورد نظر از ۹ قاعده فازی استفاده شده اسـت. شـکل ۱۶-۴-۳ چگـونگی تعریـف ایـن پایگاه قواعد فازی را برای ساخت مدل فازی مورد نظر نشان می دهد.



شکل ۱۶-۴-۳ تعریف پایگاه قواعد فازی سیستم فازی پیشنهاد (S)

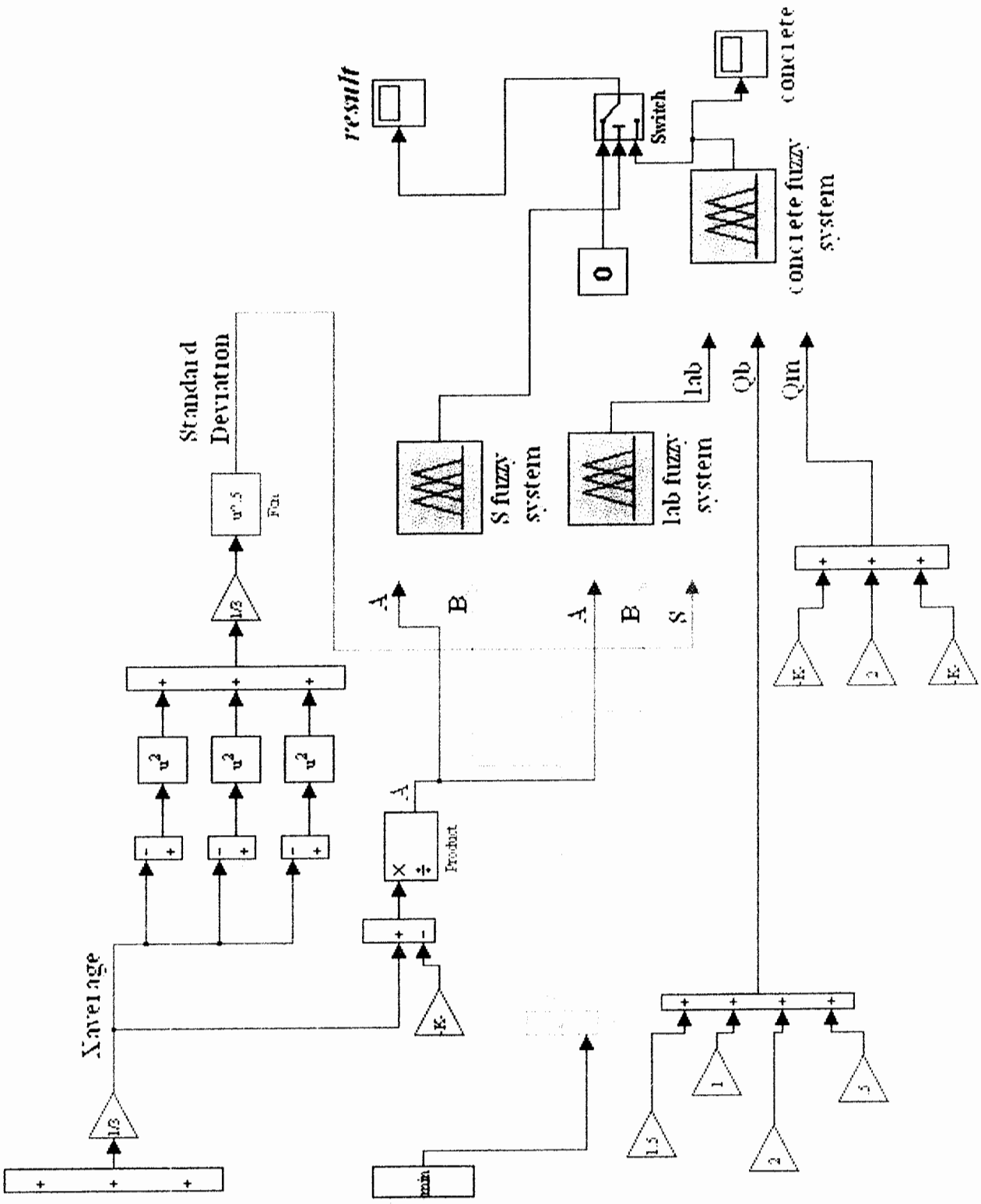
بدین ترتیب مطابق آنچه ارائه شد، با ایجاد بلوکهای فازی و ساخت Mfile در محیط مطلب و نیز همانگونه که بصورت گرافیکی نشان داده شد، با تعریف کلیه اطلاعات لازم برای ساخت یک مدل فازی در بخش فازی نرم افزار مطلب، مدلسازی سیستم فازی پذیرش بتن انجام می پذیرد. پس از مدلسازی این سیستم در بخش فازی، به منظور مرتبط ساختن سه سیستم فازی تعریف شده در قسمت قبل به نحوی که بتوان از خروجی سیستم فازی کیفیت نتایج آزمایشگاهی بـه عنـوان ورودی سیسـتم فـازی پذیرش بتن استفاده نمود و همچنین بتوان چگونگی ارائه پیشنهاد توسط سیستم فازی پیشـنهاد (S) را با استفاده از ارائه خروجی صفر برای آن مدل سازی نمود و نیز فـراهم نمـودن محیطـی بـرای وارد کردن مقادیر عددی مربوط به یک شرایط خاص کارگاهی و مشاهده نتیجه نهایی تصمیم گیری توسط این سیستم، با استفاده از بخش شبیه سازی (simulink) مطلب، سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی را شبیه سازی می نماییم.

۱۶-۵ شبیه سازی سیستم فازی پذیرش بتن :

آنچه تا کنون به عنوان مراحل ساخت و طراحی یک سیستم فازی مطـرح گردیـد، ایجـاد بلوکهـای فازی مورد نیاز برای تجزیه و تحلیل داده های ورودی سیستم و بدسـت آوردن خروجـی نهـایی کـه همان پذیرش و یا رد بتن کارگاهی می باشد، بوده است. بدین معنا که با ساخت مدلهای فازی مطـرح شده بر اساس فرضیات طراحی می توان بر اساس اطلاعات اولیه که به سیستم داده می شود و مفاهیم و اصول حاکم بر منطق فازی، کلیه پارامترها و عوامل مؤثر را مورد بررسـی قـرار داد و در مـورد بـتن کارگاهی اظهار نظر نمود. در واقع نتیجه نهایی فراهم آمده است و می توان بـا وارد نمـودن اطلاعـات اولیه مورد نیاز هر کدام از بلوکهای فازی موجود به آنچه مدنظر می باشد دسـت پیـدا کـرد. از سـوی دیگر با توجه به اینکه آنچه به عنوان نتیجه نهایی از سیستم انتظار می رود حاصل از تجزیه و تحلیـل انجام شده درسه بلوک فازی مجزا می باشد، لذا برای بدست آوردن نتیجه نهایی نیازمند آن هستیم تا ابتدا بصورت مجزا داده های مورد نیاز هر کدام از بلوکهای فازی را وارد نموده و سپس نتیجه ای که از آن بدست می آید را استخراج نموده و پس از آن این نتیجه را مجدداً به عنوان ورودی سیسـتم دیگـر مورد استفاده قرار دهیم و در نهایت تصمیم نهایی مورد نیاز را از سیستم بدست آوریـم. بـا توجـه بـه آنچه گفته شـد مشـاهده مـی شـود کـه چنـین سیسـتمی علیـرغم آنکـه دارای تواناییهـای فراوانـی

است، اما به علت آنکه برای بدست آوردن نتیجه نهایی باید به صورت مجزا نتایج هر کدام از بلوکهای فازی را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد، لذا مقداری از میزان خودکار بودن سیستم کاسته می شود. به همین دلیل به منظور فراهم نمودن محیطی که کلیه عملیات بصورت خودکار در آن انجام پذیرد و ارتباط میان بلوکهای فازی مورد استفاده در آن بدون دخالت کاربر امکان پذیر باشد و همچنین بتوان به آسانی تنها با وارد نمودن اطلاعات اولیه بصورت مستقیم نتیجه نهایی را مشاهده نمود از بخش شبیه سازی مطلب (Simulink) استفاده می نماییم و توسط این محیط و امکانات موجود درآن شرایطی را فراهم می کنیم تا کلیه عملیاتهای مورد نیاز برای بدست آوردن نتیجه نهایی بصورت کاملاً خودکار صورت بگیرد تا بدین ترتیب سیستم بصورت کاملاً هوشمند تنها با در اختیار داشتن اطلاعات اولیه قادر به تصمیم گیری در مورد سازه بتنی و میزان مقبولیت آن باشد.

ساختار کلی سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی در شکل ۱۶-۵-۱ نشان داده شده است. همانگونه که در شکل نشان داده شده است در این سیستم تنها اطلاعات اولیه مورد نیاز سیستم که عبارت است از نتایج بدست آمده از آزمایش نمونه های کارگاهی (سه نمونه مورد آزمایش) و مقادیر عددی ارزشگذاری به هر یک از پارامترهای مؤثر بر کیفیت بتن ریزی و نگهداری (اعدادی در بازه $[0,20]$) به عنوان ورودی به سیستم داده می شود و سیستم بصورت خودکار کلیه عملیاتهای لازم را هوشمندانه انجام می دهد و سرانجام نتیجه نهایی که عبارت است از رد یا قبول سازه (خروجی ۱ یا ۱-) و نیز ارائه پیشنهاد لازم در صورت نیاز (خروجی صفر) را به عنوان خروجی سیستم ارائه می دهد. در ادامه بحث به منظور فهم دقیق تر فرایندهای صورت گرفته در سیستم، نحوه عملکرد سیستم را بصورت مختصر مورد بررسی قرار می دهیم.



شکل ۱۶-۵-۱ ساختار کلی سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی

۱۶-۶ نحوه عملکرد سیستم :

همانگونه که مطرح گردید به منظور بالابردن قابلیتهای سیستم در انجام محاسبات و همچنین ارتباط میان بلوکهای فازی مورد استفاده در سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی از محیط شبیه سازی نرم افزار مطلب (Simulik) استفاده شده است. شکل ۱۶-۵-۱ ساختار کلی این سیستم را نشان می دهد. با در اختیار داشتن این ساختار می توان به آسانی کلیه مراحل محاسبات و تجزیه و تحلیل سیستم فازی پذیرش بتن را مشاهده نمود. در ادامه بحث نحوه عملکرد این سیستم را مورد بررسی قرار می دهیم.

با توجه به آنچه در فرضیات طراحی مطرح گردید سیستم فازی از سه سیستم فازی مجزا تشکیل شده است که هر کدام از این سیستمها بر اساس ورودیهایی که برای آن در نظر گرفته شده است به تجزیه و تحلیل اطلاعات پرداخته و بر اساس اصول و مفاهیم حاکم بر منطق و سیستمهای فازی نتیجه گیری نهایی را صورت می دهند. برای فهم بیشتر نحوه عملکرد سیستم، ورودیها و خروجی هر کدام از این سیستمهای فازی را بصورت خلاصه مورد بررسی قرار می دهیم:

سیستم فازی نتایج آزمایشگاهی (lab fuzzy system) :

الف- ورودیها :

۱- پارامتر A ۲- پارامتر B ۳- واریانس داده های آزمایشگاهی S

ب- خروجی :

۱- میزان کیفیت نتایج آزمایشگاهی *lab*

$$A = \frac{\overline{x}_3 - 0.85 f_c}{f_c}$$

$$B = f_c - x_{min} \qquad S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \overline{x})^2}{n}} \qquad i = 1,2,3$$

$x_i \leftarrow$ نتایج آزمایش نمونه های بتنی $x_{min} \leftarrow$ کوچکترین مقاومت نمونه های بتنی

$\overline{x}_3 \leftarrow$ میانگین مقاومت نمونه های بتنی $f_c \leftarrow$ مقاومت مشخصه

سیستم فازی پذیرش بتن (concrete fuzzy system) :

الف- ورودیها :

۱- میزان کیفیت نتایج آزمایشگاهی (lab) ۲- میزان کیفیت بتن ریزی (Qb)

۳- میزان کیفیت نگهداری بتن (Qm)

ب- خروجی :

۱- پذیرش یا رد بتن کارگاهی ($result$)

$$q_b = \sum_{i=1}^{4} w_i q_i \qquad w_1 = 1.5 \quad w_2 = 1 \quad w_3 = 2 \quad w_4 = 0.5$$

$$q_m = \sum_{i=1}^{3} w'_i q_i \qquad w'_1 = 1.25 \quad w'_2 = 2 \quad w'_3 = 1.75$$

$$q_i \in [0,20]$$

سیستم فازی پیشنهاد (S fuzzy system) :

الف- ورودیها :

۱- پارامتر A ۲- پارامتر B

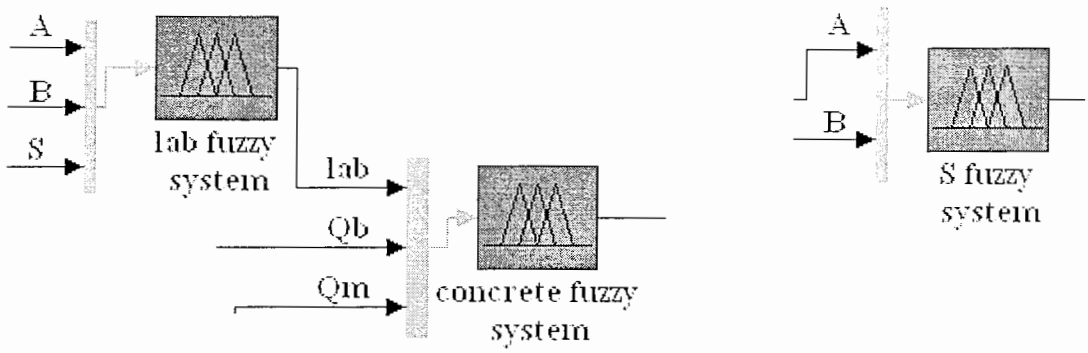
ب- خروجی :

۱- لزوم انجام اقدامات ویژه برای حصول اطمینان از ظرفیت باربری ($result$)

مطابق آنچه در شکل نشان داده شده است هر یک از ورودیهای سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی توسط بلوکهای محاسباتی موجود در بخش شبیه سازی مطلب بر اساس داده های تعریف شده برای این سیستم، بدست آمده است. به عبارت دیگر آنچه توسط کاربر به عنوان ورودی به سیستم داده می شود تنها عبارت است از : نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های بتنی (مقاومت سه نمونه بتنی مورد آزمایش)، مقاومت مشخصه بتن و همچنین مقادیر ارزشگذاری شده بر هر یک از پارامتر های مؤثر بر کیفیت بتن ریزی و نحوه نگهداری. پس از وارد کردن این داده ها سیستم بصورت خودکار کلیه محاسبات لازم را برای بدست آوردن پارامترهای A، B،S و همچنین مقادیر نهایی ارزشگذاری شده کیفیت بتن ریزی و نگهداری بتن (Qm،Qb) انجام می دهد و نتایج را

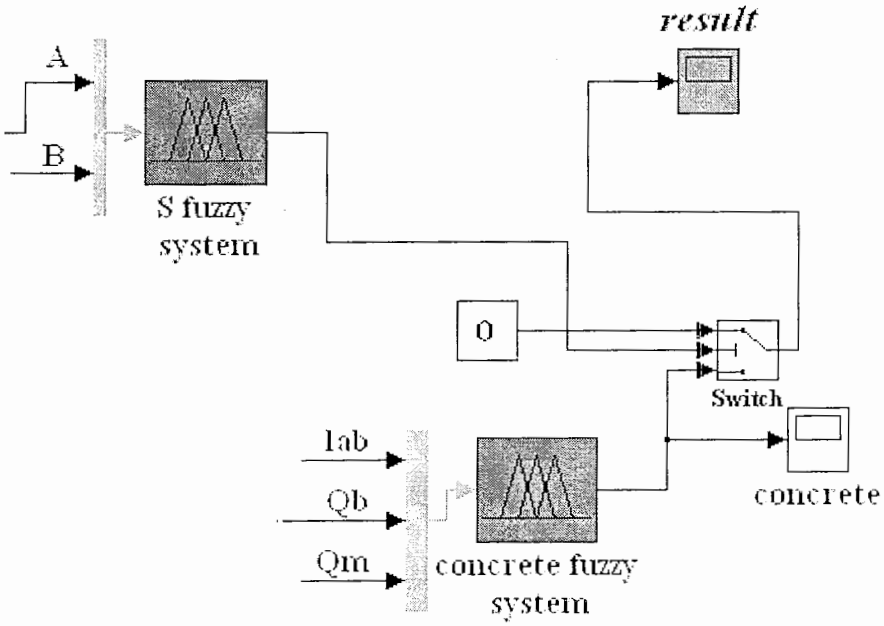
به عنوان ورودیهای لازم برای سیستمهای فازی موجود در سیستم فازی پذیرش بتن مورد استفاده قرار می دهد. برای رسیدن به این هدف همانگونه که در شکل نشان داده شده است، ساختار شبیه سازی شده بر اساس سه مقدار مقاومت نمونه های آزمایشگاهی با استفاده از بلوکهای محاسباتی موجود در محیط شبیه سازی مطلب، مقادیر میانگین (Xaverage)، واریانس داده ها (variance) و همچنین کوچکترین مقاومت نمونه ها را بدست می آورد. بر اساس نتایج بدست آمده و نیز داده ورودی مقاومت مشخصه بتن، پارامترهای A و B را مطابق تعریف محاسبه می نماید. پس از آن با توجه به داده های ورودی ارزشگذاری شده برای کیفیت بتن ریزی و نگهداری بتن کارگاهی و همچنین مقادیر وزنی تعریف شده برای این سیستم مقدار نهایی هر کدام از این دو پارامتر را بدست می آورد (مقادیر بین صفر تا صد).

با بدست آمدن ورودیهای مورد نیاز برای هر کدام از سیستمهای فازی موجود در سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی، مرحله تجزیه و تحلیل سیستم آغاز می شود. همانگونه که در شکل نشان داده شده است مدل شبیه سازی شده توسط سه بلوک فازی که برای آن تعریف شده است بر پایه اصول حاکم بر منطق و سیستمهای فازی به تجزیه و تحلیل سیستم می پردازد و در نهایت خروجی مطلوب را ارائه می دهد.



شکل ۱۶-۶-۱ نحوه استفاده از ورودیهای محاسبه شده در سیستم فازی

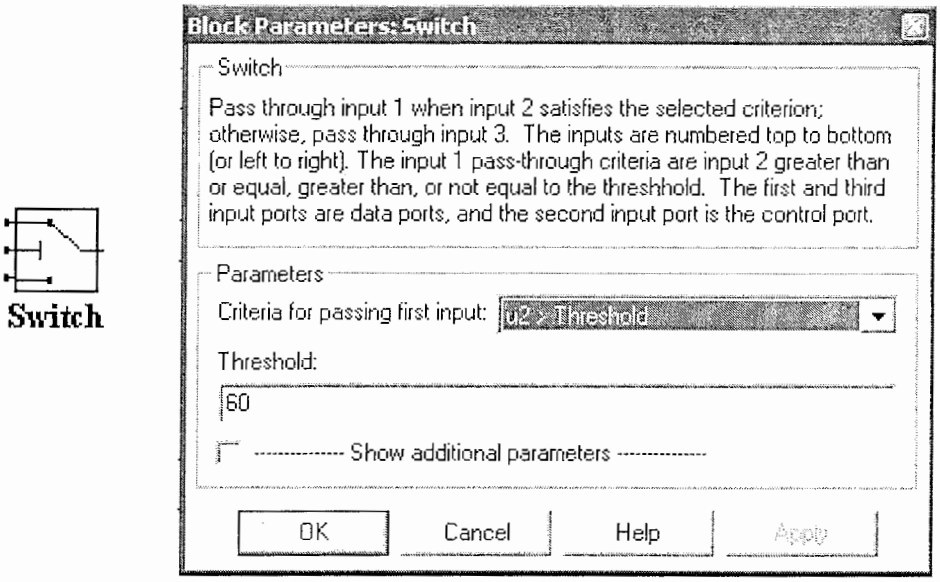
همانگونه که در شکل ۱۶-۶-۱ نشان داده شده است مدل شبیه سازی شده پس از محاسبه ورودیهای مورد نیاز از آنها در بلوکهای فازی تعریف شده استفاده می نماید. بر اساس این ساختار و مطابق آنچه در فرضیات طراحی مطرح گردید آنچه بصورت خروجی سیستم فازی نتایج آزمایشگاهی (*lab*) ایجاد می شود به عنوان ورودی سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین در سیستم فازی پیشنهاد، (*S*)، پس از تجزیه و تحلیل فازی بر اساس ورودیهای *A* و *B*، نتیجه بدست آمده عبارت است از اینکه آیا بتن کارگاهی با توجه به ضوابط موجود در آیین نامه که بر اساس نتایج آزمایشگاهی می باشد، نیاز به انجام اقدامات خاص برای حصول اطمینان از ظرفیت باربری آن دارد یا خیر. در صورت نیاز به تدابیر ویژه این سیستم با ارائه خروجی صفر کاربر را آگاه می سازد. (شکل ۱۶-۶-۲)



شکل ۱۶-۶-۲ خروجی سیستم فازی (پذیرش یا رد بتن کارگاهی و ارائه پیشنهاد)

برای آنکه سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی بتواند در صورت نیاز به تدابیر خاص کاربر را آگاه نماید، همانگونه که عنوان شد از خروجی صفر استفاده می نماید، بدین ترتیب که پس از بدست آوردن خروجیهای مربوط به سیستم فازی پیشنهاد (S) و پذیرش بتن (concrete fuzzy system)

آنها را در بلوک *Switch* به همراه ورودی اول (عدد صفر) با یکدیگر مقایسه می نماید. نحوه عملکرد این بلوک بدینگونه است که با توجه به داده های ورودی، ورودی دوم (خروجی سیستم فازی پیشنهاد) را با ورودی سوم (خروجی سیستم فازی پذیرش بتن) مقایسه می نماید و سپس بر اساس شرطی که برای آن تعریف شده است در صورت ارضای آن شرط مقدار خروجی نهایی را ورودی اول در نظر می گیرد و در غیر اینصورت ورودی سوم را به عنوان خروجی نهایی ارائه می دهد.



شکل ۱۶-۶-۳ عملکرد بلوک *Switch*

همانگونه که در شکل ۱۶-۶-۳ نشان داده شده است، آنچه به عنوان شرط ارضا کننده برای این بلوک در نظر گرفته شده است U2>60 می باشد. به عبارت دیگر در صورتیکه مقدار ورودی دوم بزرگتر از ۶۰ باشد، این بلوک ورودی اول (عدد صفر) را به عنوان خروجی نهایی ارائه می دهد و در غیر اینصورت خروجی نهایی معادل با ورودی سوم (عدد ۱ یا ۱-) می باشد.

با توجه به چگونگی تعریف توابع عضویت خروجی سیستم فازی پیشنهاد (شکل ۱۴-۹-۱- ج) در صورتیکه بر اساس تجزیه و تحلیل این سیستم لزوم انجام تدابیر خاص برای حصول اطمینان از ظرفیت باربری بتن تشخیص داده شود یا به عبارتی خروجی آن معادل با متغیر زبانی «بلی» باشد در اینصورت عددی که به عنوان خروجی بیان می شود در بازه [60,100] قرار خواهد گرفت، لذا این

خروجی شرطی را که برای بلوک Switch در نظر گرفته ایم را ارضا می نماید و بنابراین خروجی نهایی برابر با صفر خواهد بود و در غیر اینصورت (عدم لزوم انجام اقدامات خاص) خروجی نهایی برابر با مقداری است که بر اساس تجزیه و تحلیل سیستم فازی پذیرش بتن بدست آمده است. (۱یا ۱-)

بدین ترتیب سیستم فازی پذیرش بتن می تواند بطور همزمان و مستقل از یکدیگر از یک سو بر اساس کلیه شرایط موجود اعم از نتایج آزمایشگاهی و شرایط کارگاهی در مورد میزان مقبولیت قطعه بتنی اظهارنظر نماید و از سوی دیگر بر اساس نتایج آزمایشگاهی در صورت نیاز کاربر را نسبت به انجام اقدامات و تدابیر خاص در مورد سازه بتنی آگاه نماید.

لازم به ذکر است که برای استفاده از سیستم فازی شبیه سازی شده، ابتدا باید بلوکهای فازی مدلسازی شده را برای آن تعریف نماییم، بدین معنی که در بلوکهای فازی نشان داده شده در شکل ۱۶-۵-۱ (با کلیک کردن بر روی آنها) آنچه را که در بخش فازی مطلب مدل سازی نموده ایم با همان نام ذخیره شده برای محیط شبیه سازی مطلب مشخص می کنیم و سپس با وارد نمودن اطلاعات اولیه که شامل نتایج آزمایشگاهی (سه نمونه مورد آزمایش)، مقاومت مشخصه بتن و همچنین مقادیر ارزشگذاری شده برای پارامترهای کیفیت بتن ریزی و نگهداری از بتن می باشد، سیستم را با اجرای دستور Run فعال می نماییم، سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی با استفاده از داده های ورودی بر اساس اصول حاکم بر سیستمهای فازی بصورت هوشمند و خودکار به محاسبه داده های مورد نیاز و سرانجام تجزیه و تحلیل شرایط موجود پرداخته و در مورد مقبولیت و یا عدم مقبولیت قطعه بتنی اجرا شده اظهار نظر می نماید.

فصل هفدهم

تجزیه و تحلیل سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی

۱۷-۱ مقدمه :

پس از مدلسازی و شبیه سازی سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی در فصلهای گذشته در این فصل به منظور آشنایی بیشتر با نحوه عملکرد سیستم و بیان قابلیتها و تواناییهای منطق فازی در موقعیتهای تصمیم گیری در مورد مقبولیت سازه بتنی و همچنین تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده، ابتدا مثالهایی را برای ارزیابی صحت نتایج بدست آمده از سیستم مطرح خواهیم نمود. مثالهای عنوان شده بگونه ای طرح گردیده اند که عملکرد سیستم شبیه سازی شده را بطور کامل و از هر جهت کنترل نمایند. تعدادی از این نمونه ها موقعیتهایی است که تصمیم نهایی در مورد سازه بتنی کاملاً واضح و آشکار است و بر اساس منطق کلاسیک و ضوابط آیین نامه به آسانی قابل دستیابی است. با مطرح کردن این موارد نحوه عملکرد سیستم را در شرایط معمولی کنترل می نماییم. پس از اطمینان از صحت عملکرد سیستم در شرایط عادی، مثالهایی را عنوان می کنیم که در آن ویژگیهای سازه بتنی بگونه ای است که بر اساس ضوابط پذیرش بتن در آیین نامه، شخص تصمیم گیرنده را در شرایط مرزی قرار می دهد و صدور حکم قطعی در این موقعیت را منوط به نظر مهندس خبره ای می داند که بر اساس تجارب و بررسی شرایط موجود تصمیم مقتضی را اتخاذ می نماید. بدین ترتیب عملکرد سیستم را در شرایط عدم قطعیت نیز بررسی نموده و نتایج بدست آمده توسط سیستم را تجزیه و تحلیل می نماییم. در نهایت به منظور استفاده از سیستم طراحی شده در شرایط عملی و کاربردی، نمونه هایی از قطعات بتنی که در کارگاههای ساختمانی اجرا شده اند را توسط سیستم ارزیابی نموده

و نتایج بدست آمده را در مورد پذیرش و یا رد بتن کارگاهی با آنچه در کارگاه بصورت عملی در مورد مقبولیت سازه بتنی بدست آمده است، مقایسه می نماییم.

۱۷-۲ بررسی نحوه عملکرد سیستم :

همانگونه که مطرح گردید به منظور کنترل و بررسی نتایج بدست آمده از سیستم شبیه سازی شده، ابتدا مثالهایی ساده از موقعیتهای تصمیم گیری در مورد مقبولیت سازه بتنی را مطرح می نماییم و اطلاعات لازم را برای استفاده از سیستم شبیه سازی شده در اختیار سیستم قرار داده و نتایج نهایی را بدست می آوریم، از سوی دیگر بر اساس ضوابط آیین نامه نظر مهندسی را نیز در مورد پذیرش و یا رد سازه بتنی مورد نظر مطرح خواهیم نمود و آنچه به عنوان تصمیم نهایی در مورد قطعه بتنی توسط سیستم بیان شده است را با واکنشی که بطور منطقی توسط مهندس خبره صورت می پذیرد مقایسه نموده و صحت عملکرد سیستم را مورد بررسی و ارزیابی قرار می دهیم.

۱۷-۲-۱ بررسی عملکرد سیستم در شرایط معمولی :

مثال ۱ : فرض کنید در یک کارگاه اجرای سازه های بتنی، یک قطعه بتنی در حال ساخت و اجرا است. مطابق آنچه امروزه در کارگاههای بتن ریزی انجام می پذیرد به منظور کنترل کیفیت سازه بتنی اجرا شده بر اساس ضوابط آیین نامه، نمونه هایی از مخلوط بتنی در حال اجرا گرفته شده و در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار می گیرد. پس از بدست آمدن نتایج آزمایشگاهی، دستگاه نظارتی که مسئولیت نظارت بر پروژه را بر عهده دارد در مورد مقبولیت سازه بتنی اجرا شده تصمیم گیری می نماید. مشخصات بتن مورد نظر و همچنین نتایج آزمایشگاهی بدست آمده از آزمایش بر روی سه نمونه گرفته شده از مخلوط بتنی در حال اجرا بصورت زیر می باشد:

$$f_c = 250 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad x_1 = 280 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad x_2 = 250 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad x_3 = 270 \ {}^{kg}/_{cm^2}$$

$x_1, x_2, x_3 \leftarrow$ مقاومت نمونه های بتنی مورد آزمایش در آزمایشگاه

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های بتنی و مقاومت مشخصه بتن، آنچه واضح و مبرهن است این است که چنین مخلوط بتنی بر اساس ضوابط موجود در آیین نامه کاملاً مورد قبول می باشد زیرا با توجه به بند ۶-۵-۲-۱- ب از آیین نامه بتن ایران، مشخصات بتن بر رده مورد نظر منطبق می باشد و قابل قبول تلقی می گردد.

$\overline{x}_3 = 266.67 \quad {kg}/{cm^2} \qquad x_{\min} = 250 \quad {kg}/{cm^2}$

$\overline{x}_3 \geq f_c + 15 \qquad x_{\min} \geq f_c - 40$

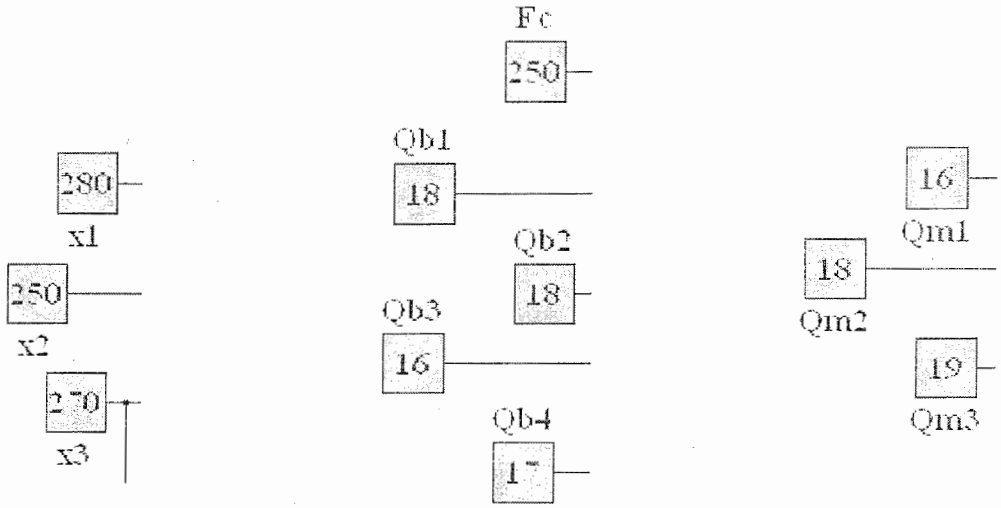
به منظور ارزیابی عملکرد سیستم، مشخصات بتن و اطلاعات مورد نیاز سیستم را برای آن تعریف می کنیم و خروجی سیستم را مورد بررسی قرار می دهیم. لازم به ذکر است که در این مورد به منظور ارزیابی صحت عملکرد سیستم در مورد نتایج آزمایشگاهی در شرایط عادی، فرض می نماییم که کیفیت بتن ریزی و نگهداری از سازه بتنی کاملاً مطلوب می باشد، بنابراین مقادیر ارزشی که برای شرایط کارگاهی بتن در نظر می گیریم بصورت زیر می باشد:

$q_{b1} = 18 \quad q_{b2} = 18 \quad q_{b3} = 16 \quad q_{b4} = 17$

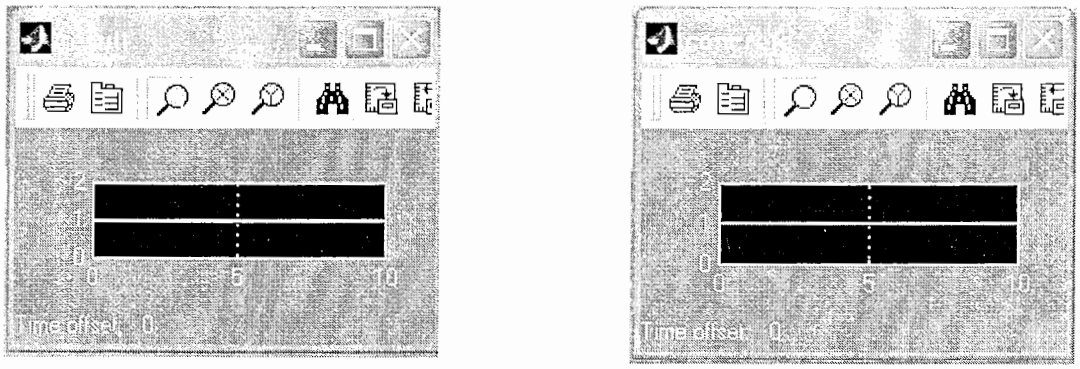
$q_{m1} = 16 \quad q_{m2} = 18 \quad q_{m3} = 19$

پس از تعیین مشخصات بتن کارگاهی اعم از نتایج آزمایشگاهی و شرایط کارگاهی، سیستم فازی پذیرش بتن را فعال می نماییم و خروجی آن را بدست می آوریم. شکل ۱۷-۲-۱ داده های ورودی و خروجی سیستم را نشان می دهد.

همانگونه که در شکل نشان داده شده است سیستم شبیه سازی شده نیز بر اساس ورودیهای تعریف شده و بر پایه اصول حاکم بر سیستمهای فازی اطلاعات را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و مقدار عددی ۱ (پذیرش سازه بتنی) را به عنوان خروجی سیستم نشان داده است. بنابراین با توجه به خروجی بدست آمده در این حالت و نحوه عملکرد سیستم در چنین شرایطی می توان گفت که سیستم شبیه سازی شده این قابلیت را دارد که به عنوان یک سیستم هوشمند در موقعیت تصمیم گیری بر اساس ضوابط آیین نامه ای در مورد میزان مقبولیت سازه بتنی تصمیم صحیح را اتخاذ نماید.



الف- تعریف اطلاعات و مشخصات بتن کارگاهی به عنوان ورودی سیستم



ب- نتایج بدست آمده از اجرای سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی

شکل ۱۷-۲-۱ نحوه عملکرد سیستم و اتخاذ تصمیم در مورد پذیرش سازه بتنی

لازم به ذکر است که به منظور فهم بیشتر نحوه عملکرد سیستم، آنچه در شکل به عنوان خروجی سیستم ارائه شده است، عبارت است از نتیجه نهایی سیستم فازی پیشنهاد (result) و خروجی سیستم فازی پذیرش بتن (concrete). همانگونه که مشاهده می شود بر اساس ورودیهای تعریف شده و تجزیه و تحلیل سیستم فازی پیشنهاد، نتایج آزمایشگاهی بگونه ای است که نیازی به انجام اقدامات خاص برای حصول اطمینان از ظرفیت باربری قطعه بتنی وجود ندارد، بنابراین با توجه به نحوه عملکرد بلوک Switch آنچه به عنوان خروجی در سیستم فازی پیشنهاد ایجاد می شود همان نتیجه

ای است که در سیستم پذیرش بتن بر اساس بررسی کلیه پارامترهای مؤثر حاصل می شود، که همان مقدار عددی ۱ به عنوان پذیرش سازه بتنی است.

به منظور بررسی دقیق تر سیستم در شرایط عادی در جدول ۱۷-۲-۱ مثالهای مختلفی از مشخصات یک بتن کارگاهی و نتایج بدست آمده توسط سیستم نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود، سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی در موقعیتهای مطرح شده، می تواند به صورتی کاملاً صحیح و منطقی، به عنوان یک سیستم هوشمند، تصمیمی منطبق بر نظر یک مهندس خبره را در مورد پذیرش سازه بتنی اتخاذ نماید.

جدول ۱۷-۲-۱ نحوه عملکرد سیستم در موقعیتهای مختلف تصمیم گیری (شرایط عادی)

	Fc (Kg/cm^2)	*X1* (Kg/cm^2)	*X2* (Kg/cm^2)	*X3* (Kg/cm^2)	*Concrete* (*Output*)	*Result* (*Output*)
۱	۲۵۰	۲۵۵	۲۶۰	۲۶۵	۱	۱
۲	۲۵۰	۲۰۰	۲۲۰	۲۹۰	-۱	۰
۳	۳۰۰	۲۹۰	۳۲۰	۳۳۰	۱	۱
۴	۳۰۰	۲۴۰	۲۵۰	۲۶۵	-۱	۰
۵	۳۰۰	۲۱۰	۲۲۰	۲۳۰	-۱	-۱

آنچه در جدول ۱۷-۲-۱ نشان داده شده است، مقادیر مختلفی از نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های گرفته شده از مخلوط بتنی می باشد. با توجه به اینکه هدف از عنوان این مقادیر، بررسی و تجزیه و تحلیل سیستم در شرایط عادی (موقعیتی که در آن با توجه به ضوابط آیین نامه معیار تصمیم گیری در مورد پذیرش بتن، نتایج آزمایشگاهی است و شرایط کارگاهی در آن دخالتی ندارد.) می باشد، لذا فرض گردیده است که شرایط آزمایشگاهی در موقعیتهای مطرح شده در حد مطلوب و ایده ال است، بنابراین مقادیر ارزشگذاری بر شرایط کارگاهی، مقادیر تعریف شده در مثال ۱ در نظر گرفته شده اند. در ادامه بحث نتایج بدست آمده در موقعیتهای مطرح شده را مورد بررسی قرار می دهیم.

موقعیت اول : نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های بتنی و مقاومت مشخصه بتن، در موقعیت مطرح شده بگونه ای است که شرایط بند ۶-۵-۲-۱- الف از ضوابط پذیرش بتن در آیین نامه بتن (آبا) را ارضا می نماید. (مقاومت هیچکدام از نمونه های بتنی کمتر از مقاومت مشخصه نمی باشد.) بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده و همچنین ضوابط کنترلی آیین نامه، آنچه به عنوان تصمیم نهایی از دستگاه مسئول مورد انتظار می باشد، پذیرش بتن کارگاهی است. از سوی دیگر سیستم فازی پذیرش بتن نیز قطعه بتنی اجرا شده در چنین حالتی را مورد قبول می داند. همانگونه که در جدول نشان داده شده است آنچه به عنوان خروجی نهایی از سیستم بدست می آید، مقدار عددی ۱ در بلوک فازی پذیرش بتن (concrete) می باشد. همچنین خروجی عددی ۱ در بخش بلوک فازی پیشنهاد (result) نشان دهنده آن است که با توجه به نتایج آزمایشگاهی نیازی به انجام اقدامات خاص برای حصول اطمینان از ظرفیت باربری سازه نمی باشد. بنابراین درچنین شرایطی سیستم شبیه سازی شده قادر است همانند یک انسان خبره و بر اساس ضوابط و مقررات موجود در مورد میزان مقبولیت بتن کارگاهی بصورت صحیح و منطقی اظهار نظر نماید.

موقعیت دوم : در این حالت نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های بتنی علاوه بر اینکه هیچ یک از ضوابط موجود در مورد پذیرش بتن را در آیین نامه بتن (آبا) ارضا نمی نماید و دارای تفاوتهای بسیار زیادی نیز می باشد، همانگونه که مشاهده می شود مقاومتهای بدست آمده از آزمایش نیز دارای پراکندگی بالایی است، بنابراین یک مهندس خبره در چنین شرایطی قطعه بتنی را هرگز مورد قبول نمی داند و تدابیر و اقدامات ویژه ای را برای حصول اطمینان اتخاذ خواهد نمود. لازم به ذکر است، حتی اگر فرض کنیم بالا بودن پراکندگی نتایج آزمایش به علت عدم یکنواختی مخلوط بتنی نیست و دلیل آن خطا در انجام آزمایش می باشد (علیرغم اینکه خطا در انجام آزمایش نیز می تواند باعث عدم پذیرش بتن گردد) و بر این اساس نمونه ای را که دارای مقاومت متفاوتی با سایر نمونه ها می باشد (X3=290) حذف نماییم، باز هم آنچه حاصل می شود، ضوابط آیین نامه را ارضا نمی کند، بنابراین در چنین شرایطی عدم پذیرش بتن توسط دستگاه مسئول امری منطقی و صحیح می باشد.

$\overline{X} = 236.5 \leq f_c + 15 \quad {kg}/{cm^2}$ $\qquad S = 38.5 \qquad f_c - x_{min} = 50 \succ 40 \quad {kg}/{cm^2}$

$\overline{X}_{1,2} = 210 \prec f_c + 15 \quad {kg}/{cm^2}$

سیستم فازی پذیرش بتن نیز به عنوان یک سیستم هوشمند بتن مورد نظر را مورد قبول نمی داند و انجام اقدامات و تدابیر خاص را برای حصول اطمینان پیشنهاد می نماید. همانگونه که در جدول نشان داده شده است، سیستم شبیه سازی شده بر اساس اطلاعات تعریف شده و تجزیه و تحلیل منطبق با اصول حاکم بر سیستمهای فازی، مقدار عددی صفر را به عنوان لزوم انجام اقدامات خاص بیان می کند، لازم به ذکر است که آنچه به عنوان خروجی بلوک فازی پذیرش بتن بدست آمده است (مقدار عددی ۱-) بیان می کند که بتن مورد بحث علیرغم مطلوب بودن شرایط کارگاهی به سبب بالابودن پراکندگی نتایج آزمایش مورد پذیرش نمی باشد.

موقعیت سوم : یکی از ویژگیهای منطق فازی مطابق آنچه در معرفی این تئوری مطرح گردید، توانایی تصمیم گیری صحیح و منطقی در شرایطی است که اصول و روابط حاکم بر منطق کلاسیک به سبب عدم در نظر گرفتن شرایط مرزی به خوبی از عهده آن بر نمی آید و ممکن است خسارات جبران ناپذیری را فراهم آورد. به روابط زیر توجه کنید:

$\overline{X} = 313.5 \leq f_c + 15 \quad {kg}/{cm^2} \qquad f_c - x_{min} = 10 \leq 40 \quad {kg}/{cm^2}$

بر اساس نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های بتنی و روابط فوق در صورتی که پذیرش و یا عدم پذیرش قطعه بتنی بر اساس روابط کلاسیک تعریف شده در آیین نامه صورت گیرد، بتن اجرا شده به سبب عدم ارضای نامساوی مربوط با میانگین داده ها مورد قبول نمی باشد، در صورتیکه یک مهندس خبره و با تجربه با وجود مطلوب بودن شرایط کارگاهی و همچنین برقرار بودن رابطه کنترلی کوچکترین مقاومت نمونه ها تنها به دلیل اینکه میانگین داده ها در حد بسیار اندک، نامساوی مورد نظر را ارضا نمی کند، قطعه بتنی مورد نظر را رد نمی نماید. همانگونه که در جدول نشان داده شده است سیستم فازی پذیرش بتن نیز منطبق بر نظر یک مهندس خبره و با تجربه در چنین موقعیتی بر اساس اصول حاکم بر منطق فازی کلیه شرایط موجود را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و سپس مقدار عددی ۱ را به عنوان پذیرش سازه بتنی ارائه می دهد و از طرفی لزوم انجام اقدامات خاص برای حصول اطمینان از ظرفیت باربری سازه را نیز ضروری نمی داند.

موقعیت چهارم : نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های بتنی در این حالت همانگونه که در روابط زیر نشان داده شده است، هیچکدام از بندهای آیین نامه را در مورد پذیرش سازه بتنی ارضا نمی نماید و در چنین شرایطی بر اساس ضوابط موجود نمی توان بتن اجرا شده را مورد قبول دانست و برای حصول اطمینان از ظرفیت باربری سازه انجام اقدامات و تدابیر ویژه الزامی می باشد.

$$\overline{X} = 251.5 \le f_c \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad f_c - x_{min} = 60 \ge 40 \ {}^{kg}/_{cm^2}$$

$$\overline{X} = 251.5 \le 0.85 f_c \ {}^{kg}/_{cm^2}$$

همانگونه که در جدول مشاهده می شود سیستم فازی نیز بر اساس تجزیه و تحلیل اطلاعات موجود آنچه به عنوان تصمیم نهایی در مورد میزان مقبولیت سازه بتنی ارائه می دهد، مقدار عددی صفر در خروجی سیستم پیشنهاد می باشد که نشان دهنده لزوم انجام اقدامات خاص در مورد قطعه بتنی است. از سوی دیگر خروجی بلوک فازی پذیرش بتن نیز (concrete) در مورد پذیرش سازه بتنی مقدار عددی ۱- به عنوان عدم پذیرش بتن اجرا شده می باشد. به عبارت دیگر با توجه به پایگاه قواعد فازی تعریف شده برای این بلوک و همچنین اختلاف بسیار زیاد نتایج بدست آمده از آزمایش با روابط کنترلی موجود در آیین نامه علیرغم مطلوب بودن شرایط کارگاهی این سیستم سازه بتنی را مورد قبول نمی داند. لازم به ذکر است که آنچه در نهایت می توان به عنوان تصمیم نهایی سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی در مورد مقبولیت سازه بتنی در نظر گرفت مقدار خروجی بدست آمده از در بخش result می باشد، زیرا همانگونه که مطرح شد با توجه به نحوه عملکرد بلوک switch سیستم بگونه ای شبیه سازی شده است که با مقایسه میان خروجیهای بلوک فازی پیشنهاد و پذیرش بتن در نهایت خروجی مطلوب را به عنوان تصمیم نهایی (result) ارائه می دهد. آنچه در این بخش به عنوان خروجی سیستم پذیرش بتن (concrete) مورد بحث قرار می گیرد، تنها به دلیل بررسی و درک بیشتر مفاهیم مطرح شده و آگاهی کاربر از کلیه جوانب و ویژگیهای بتن مورد نظر می باشد.

موقعیت پنجم : در این حالت نیز نتایج آزمایشگاهی بگونه ای است که علاوه بر اینکه روابط کنترلی آیین نامه را ارضا نمی کند، دارای اختلاف بسیار زیادی با مقادیر مورد نظر می باشد. به عبارت دیگر نتایج بدست آمده آنچنان نامطلوب است که هرگز نمی توان بتنی با این مشخصات را مورد قبول دانست و از سوی دیگر با توجه به کیفیت پایین مخلوط بتنی نیازی به انجام اقدامات خاص برای

حصول اطمینان نیز نمی باشد و باید در چنین شرایطی اقدامات مقتضی به منظور بالابردن کیفیت قطعه بتنی و افزایش ظرفیت باربری آن صورت گیرد.

$$\overline{X} = 220 \leq\leq f_c \quad {kg}/{cm^2} \qquad f_c - x_{min} = 90 \geq\geq 40 \quad {kg}/{cm^2}$$

سیستم فازی پذیرش بتن نیز در چنین شرایطی با بررسی کلیه جوانب و تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشگاهی بر اساس اصول حاکم بر منطق فازی، بتنی با ویژگیها و مشخصات تعریف شده را نمی پذیرد و مقدار عددی ۱- را به عنوان عدم پذیرش سازه بتنی ارائه می دهد. همانگونه که در جدول نشان داده شده است با توجه به شرایط بتن مورد نظر (نامطلوب بودن کیفیت مخلوط بتنی) که بصورت واضح و آشکار عدم کفایت مشخصات بتن اجرا شده را نشان می دهد، سیستم شبیه سازی شده، انجام اقدامات خاص برای اطمینان از ظرفیت باربری سازه را ضروری نمی داند و با توجه به نحوه عملکرد بلوک switch در این سیستم، نتیجه نهایی بدست آمده از بلوک فازی پذیرش بتن (concrete) را که همان عدم پذیرش بتن اجرا شده (concrete = -1) می باشد، به عنوان تصمیم نهایی در مورد میزان مقبولیت سازه بتنی ارائه می دهد.

۱۷-۲-۲ بررسی عملکرد سیستم بر اساس شرایط کارگاهی :

در بحث مربوط به ارزیابی عملکرد سیستم در شرایط معمولی، نحوه تصمیم گیری سیستم را در موقعیتهایی که با توجه به نتایج آزمایشگاهی تعیین میزان مقبولیت سازه بتنی کاملاً واضح و آشکار است، مورد بررسی و ارزیابی قرار دادیم و با مطرح نمودن نمونه هایی از موقعیتهای تصمیم گیری، صحت عملکرد سیستم را کنترل نمودیم. همانگونه که نشان داده شد سیستم شبیه سازی شده می تواند در چنین شرایطی همانند یک مهندس خبره و با تجربه بر اساس نتایج آزمایشگاهی و شرایط مطلوب کارگاهی در مورد پذیرش و یا عدم پذیرش قطعه بتنی بطور صحیح و منطقی تصمیم گیری نماید. پس از اطمینان از صحت عملکرد سیستم در شرایط عادی، در این قسمت به منظور کنترل عملکرد سیستم در شرایطی که نمی توان به آسانی بر اساس ضوابط آیین نامه و استفاده از روابط کنترلی منطبق بر منطق کلاسیک در مورد کیفیت بتن اجرا شده اظهار نظر نمود، نمونه هایی از موقعیتهای تصمیم گیری را مطرح می نماییم که در آن صدور حکم قطعی در مورد سازه بتنی منوط به بررسی عواملی غیر از نتایج آزمایشگاهی می باشد. به عبارت دیگر نحوه واکنش و عکس العمل

سیستم را در حالتی بررسی می نماییم که یک مهندس خبره برای تصمیم گیری در مورد میزان مقبولیت سازه بتنی بر اساس تجربه و مهارت خویش علاوه بر نتایج آزمایشگاهی، شرایط کارگاهی را نیز در هنگام تصمیم گیری در نظر می گیرد.

در هنگام تصمیم گیری در مورد مقبولیت و یا عدم مقبولیت بتن کارگاهی شرایطی پیش می آید که نمی توان تنها بر اساس نتایج آزمایشگاهی در مورد کیفیت سازه بتنی قضاوت نمود و برای رسیدن به نتیجه ای صحیح و منطقی و جلوگیری از ایجاد خسارات جبران ناپذیر علاوه بر نتایج آزمایشگاهی نیازمند بررسی و کنترل عوامل و پارامترهای دیگری نیز هستیم، به عنوان مثال در هنگامی که بر اساس ضوابط کنترلی موجود در آیین نامه نتایج آزمایشگاهی بگونه ای است که تصمیم نهایی در مورد بتن کارگاهی در این آیین نامه بر عهده دستگاه ناظر بر پروژه گذاشته می شود، در چنین شرایطی دستگاه مسئول برای صدور حکم نهایی شرایط کارگاهی را نیز مورد ارزیابی قرار می دهد و سپس در مورد سازه بتنی تصمیم گیری می نماید. از سوی دیگر علیرغم آنکه در آیین نامه بتن ضوابط کنترلی خاصی برای بررسی شرایط کارگاهی در هنگام تصمیم گیری در نظر گرفته نشده است، اما همانگونه که در فصلهای گذشته مطرح گردید، تصمیم گیری در مورد میزان مقبولیت سازه بتنی بدون در نظر گرفتن شرایط کارگاهی امری کاملاً غیرمنطقی و ناصحیح می باشد. در ادامه بحث به منظور بررسی تواناییها و قابلیتهای سیستم فازی شبیه سازی شده در شرایط عدم قطعیت و همچنین کنترل صحت عملکرد آن در هنگام تصمیم گیری، مثالهایی از موقعیتهای تصمیم گیری را مطرح نموده و به ارزیابی و تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده توسط سیستم خواهیم پرداخت.

جدولهای ۱۷-۲-۲ و ۱۷-۲-۳ مثالهایی از موقعیتهای تصمیم گیری در مورد بتن کارگاهی و نحوه عملکرد سیستم را نشان می دهد. در هر یک از این موقعیتها نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های گرفته شده از مخلوط بتنی در هنگام بتن ریزی و همچنین شرایط کارگاهی با در نظر گرفتن مقادیر ارزشگذاری بر کیفیت عملیات بتن ریزی و نگهداری سازه بتنی به صورت اطلاعات ورودی سیستم تعریف گردیده و خروجی سیستم مشخص شده است. در ادامه بحث نتایج بدست آمده در هر یک از موقعیتهای مطرح شده را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می دهیم.

جدول ۱۷-۲-۲ نحوه عملکرد سیستم بر اساس شرایط کارگاهی

	Fc (Kg/cm^2)	*X1* (Kg/cm^2)	*X2* (Kg/cm^2)	*X3* (Kg/cm^2)	*Concrete* (*Output*)	*Result* (*Output*)
۱	۲۵۰	۲۴۵	۲۵۰	۲۶۰	-۱	-۱
۲	۳۰۰	۲۹۵	۳۰۰	۳۱۰	۱	۱
۳	۳۰۰	۳۱۵	۳۲۰	۳۳۰	-۱	-۱
۴	۲۵۰	۲۱۰	۲۱۵	۲۲۵	۱	۱
۵	۳۰۰	۲۵۵	۲۷۰	۲۷۵	۱	۰
۶	۲۵۰	۲۰۵	۲۱۵	۲۲۵	-۱	۰

جدول ۱۷-۲-۳ شرایط کارگاهی سازه بتنی در موقعیتهای تصمیم گیری

	q_{b_1}	q_{b_2}	q_{b_3}	q_{b_4}	q_{m_1}	q_{m_2}	q_{m_3}
۱	۱۰	۱۱	۸	۱۳	۱۲	۱۴	۱۰
۲	۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۷	۱۸	۱۹
۳	۹	۱۱	۸	۱۱	۷	۱۰	۵
۴	۱۸	۱۷	۱۹	۱۶	۱۷	۱۹	۱۸
۵	۱۸	۱۶	۱۷	۱۹	۱۸	۱۷	۱۹
۶	۱۲	۸	۱۱	۱۳	۱۴	۱۵	۱۳

شرایط کارگاهی : ارزشگذاری به کیفیت مقادیر زیر :

q_{b_1}← کیفیت رعایت نکات لازم قبل از بتن ریزی q_{b_2}← انتخاب صحیح نوع روش بتن ریزی

q_{b_3}← مهارت نیروی انسانی در بتن ریزی q_{b_4}← کیفیت وسایل و دستگاههای مورد استفاده

q_{m_1}← انتخاب صحیح روش نگهداری q_{m_2}← کیفیت اجرای روش نگهداری

q_{m_3}← مدت زمان نگهداری از سازه بتنی

موقعیت اول : فرض کنید در یک کارگاه بتن ریزی پس از نمونه برداری از مخلوط بتنی آنها را در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار داده اند، نتایج بدست آمده از آزمایش در جدول ۱۷-۲-۲ و در ردیف اول نشان داده شده است. دستگاه نظارت و تصمیم گیرنده در مورد میزان مقبولیت سازه بتنی نتایج بدست آمده را با ضوابط موجود در آیین نامه مقایسه می نماید تا بر اساس مقررات موجود در مورد پذیرش بتن کارگاهی اظهارنظر نماید. به روابط زیر توجه کنید:

$$f_c \prec \bar{X} = 251.5 \prec f_c + 15 \quad {}^{kg}/_{cm^2} \qquad f_c - x_{min} = 5 \leq 40 \quad {}^{kg}/_{cm^2}$$

بر اساس ضوابط پذیرش بتن کارگاهی در آیین نامه بتن ایران (آبا) در صورتیکه مقاومت نمونه های بتنی مورد آزمایش در آزمایشگاه بر اساس شرایط بند ۶-۵-۲-۲ غیر قابل قبول نباشد ولی مطابق شرایط بند ۶-۵-۲-۱- ب قابل قبول هم به شمار نیاید، تصمیم نهایی در مورد بتن اجرا شده بر عهده مهندس با تجربه و صاحب نظر در این مورد گذاشته می شود. همانگونه که در روابط فوق نشان داده شده است، نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های بتنی بگونه ای است که از یک سو بر اساس بند ۶-۵-۲-۲ ضوابط پذیرش بتن در آیین نامه غیر قابل قبول نیست (شرط کوچکترین مقاومت نمونه ها را ارضا می کند، اما شرط مربوط به میانگین مقاومت نمونه ها را ارضا نمی نماید) و از سوی دیگر مطابق شرایط بند ۶-۵-۲-۱- ب قابل قبول هم به شمار نمی آید (میانگین مقاومت نمونه ها از مقاومت مشخصه کمتر نیست). بنابراین با توجه به ضوابط آیین نامه تصمیم نهایی در چنین شرایطی بر عهده مهندس طراح و ناظر بر پروژه می باشد. به عبارت دیگر مهندس صاحب نظر در این شرایط با بررسی شرایط کارگاهی و کیفیت مراحل اجرا و یا نگهداری سازه بتنی و بر اساس تجربه و مهارتی که در طول سالیان دراز کسب نموده است، در مورد میزان مقبولیت بتن کارگاهی تصمیم نهایی را صادر می نماید. عملکرد سیستم فازی پذیرش بتن نیز دقیقاً مشابه واکنشی است که یک مهندس با تجربه از خود نشان می دهد. به عبارت دیگر سیستم با بررسی کیفیت شرایط کارگاهی از طریق مقادیر ارزشگذاری شده، تصمیم نهایی را در مورد پذیرش و یا رد سازه بتنی اتخاذ می نماید. همانگونه که در جدول ۱۷-۲-۳ ردیف اول نشان داده شده است، مقادیر ارزشگذاری بر کیفیت پارامترهای عنوان شده حکایت از آن دارد که شرایط کارگاهی یا به عبارت دیگر کیفیت عملیات بتن ریزی و نگهداری از سازه بتنی بسیار نامطلوب است. در چنین شرایطی پذیرفتن بتن

کارگاهی با توجه به اهمیت پارامترهای مطرح شده امری نادرست و غیر منطقی خواهد بود و لذا یک مهندس خبره و با تجربه، بتنی با این ویژگیها و مشخصات را نخواهد پذیرفت. سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی نیز براساس اطلاعات تعریف شده در این موقعیت تصمیم گیری، منطبق بر نظر یک مهندس با تجربه، بتن کارگاهی را مورد قبول نمی داند و آنچه به عنوان خروجی ارائه می دهد، مقدار عددی ۱- (عدم پذیرش سازه بتنی) است. لازم به ذکر است که در این حالت نیز سیستم با تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشگاهی در بلوک پیشنهاد (S)، انجام اقدامات خاص را برای حصول اطمینان ضروری نمی داند و بنابراین با توجه به عملکرد بلوک switch آنچه به عنوان خروجی ارائه می دهد نتیجه ای است که در بلوک فازی پذیرش بتن (concrete) بدست آمده است که معادل است با مقدار عددی ۱- (عدم پذیرش بتن کارگاهی).

result = -1 concrete = -1

مطابق آنچه گفته شد، مشاهده می شود که سیستم فازی شبیه سازی شده این قابلیت و توانایی را دارد که در شرایط عدم قطعیت بصورتی کاملاً صحیح و منطقی تصمیم گیری نماید و بر اساس پایگاه قواعد فازی و اصول حاکم بر سیستمهای فازی با بررسی کلیه جوانب و عوامل مؤثر که امکان بیان آنها در قالب روابط کلاسیک منطقی وجود ندارد، به تجزیه و تحلیل پرداخته و سپس حکم نهایی را صادر نماید.

موقعیت دوم : در این حالت نیز نتایج آزمایشگاهی مشابه موقعیت یک، بگونه ای است که بر اساس مقررات آیین نامه در بخش ضوابط پذیرش بتن، سازه بتنی اجرا شده از یک سو غیر قابل قبول نیست و از طرف دیگر قابل قبول هم به شمار نمی آید.

$$f_c \prec \bar{X} = 301.5 \prec f_c + 15 \quad {}^{kg}/_{cm^2} \qquad f_c - x_{\min} = 5 \leq 40 \quad {}^{kg}/_{cm^2}$$

در چنین شرایطی مطابق آنچه که در موقعیت یک مطرح گردید، تصمیم گیری نهایی منوط به بررسی بیشتر و کنترل سایر پارامترهای مؤثر می باشد. در جدول ۱۷-۲-۳ ردیف دوم، مشخصات و ویژگیهای شرایط کارگاهی در مورد قطعه بتنی بصورت مقادیر ارزشی تعریف شده است. با توجه به مقادیری که توسط کاربر برای هر یک از پارامترهای مؤثر به منظور بیان کیفیت آنها مشخص شده است، شرایط کارگاهی از کیفیت مطلوب و مناسبی برخوردار می باشد. آنچه بصورت منطقی از یک مهندس خبره و با تجربه در این موقعیت تصمیم گیری انتظار می رود آن است که با توجه به نتایج

آزمایشگاهی بدست آمده و همچنین مطلوب بودن شرایط کارگاهی، حکم به مقبولیت بتن کارگاهی داده و آن را بپذیرد. سیستم شبیه سازی شده نیز در این موقعیت بصورت صحیح و منطقی بر پایه تجزیه و تحلیلی منطبق با واکنش شخص خبره، قطعه بتنی اجرا شده را پذیرفته و مقدار عددی ۱ را به عنوان مقبولیت سازه بتنی بدست آورده است. همانگونه که در جدول ۱۷-۲-۲ نشان داده شده است با توجه به اینکه نتایج آزمایشگاهی از حد مطلوبی برخوردار بوده است و بر اساس ضوابط آیین نامه قطعه بتنی در رده بتنهای با مقاومت کم قرار نگرفته است، لذا لزوم انجام اقدامات خاص توسط سیستم توصیه نشده است.

result = 1 concrete = 1

موقعیت سوم : نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های بتنی در این موقعیت حکایت از آن دارد که مخلوط بتنی از کیفیت مطلوبی برخوردار است و مقاومت بدست آمده از نمونه های مورد آزمایش کلیه ضوابط کنترلی مربوط به پذیرش بتن را بر اساس آیین نامه ارضا می نماید.

$$x_{1,2,3} \geq f_c \qquad \overline{X} = 321.6 \geq f_c + 15 \quad {}^{kg}/_{cm^2} \qquad f_c - x_{\min} = -15 \leq\leq 40 \quad {}^{kg}/_{cm^2}$$

در صورتیکه تصمیم گیری تنها بر اساس ضوابط کنترلی مربوط به نتایج آزمایشگاهی صورت گیرد و مبنای پذیرش بتن در چنین شرایطی روابط منطقی کلاسیک باشد، مطابق آنچه بدست آمده است بتن اجرا شده مورد قبول خواهد بود. اما همانگونه که در فصلهای گذشته مطرح شد (عوامل مؤثر بر بتن کارگاهی) تصمیم گیری در مورد سازه بتنی بدون در نظر گرفتن شرایط کارگاهی و نحوه اجرای عملیات بتن ریزی و یا نگهداری امری کاملاً غیرمنطقی و ناصحیح می باشد. به عبارت دیگر نمی توان تنها به علت آنکه نتایج آزمایشگاهی از کیفیت مناسبی برخوردار است کلیه پارامترهای مؤثر دیگر را نادیده گرفت و آنها را مورد بررسی قرار نداد. کیفیت مطلوب یک مخلوط بتنی به عنوان یک شرط لازم برای پذیرش بتن الزامی است اما کافی نیست، زیرا یک مخلوط بتنی با کیفیت عالی نیز ممکن است به علت بی دقتی در اجرا و یا نگهداری متحمل خسارات جبران ناپذیر و نقطه ضعفهای فراوان گردد که باعث کاهش ظرفیت باربری سازه و از بین رفتن تواناییها و قابلیتهای مورد انتظار شود.

با توجه به آنچه مطرح گردید، یک مهندس با تجربه هرگز تنها به نتایج آزمایشگاهی اکتفا ننموده و سازه بتنی را بدون بررسی سایر پارامتر های مؤثر رد یا قبول نمی نماید. (امری که متأسفانه امروزه کمتر به آن توجه می شود.) همانگونه که در جدول ۱۷-۲-۳ نشان داده شده است شرایط کارگاهی

سازه بتنی مورد نظر از کیفیت بسیار نامطلوبی برخوردار است و مقادیر ارزشی تعریف شده برای پارامترهای مؤثر نشان می دهد که در اجرا و نگهداری قطعه بتنی نکات لازم و ضروری رعایت نشده است و سازه بتنی بدون هیچگونه کنترل و مراقبتی رها گردیده است. آنچه مسلم است در چنین شرایطی هرگز نمی توان بتن اجرا شده را مورد قبول دانست و صرفاً بدلیل مطلوب بودن نتایج آزمایشگاهی مخلوط بتنی از نامطلوب بودن شرایط کارگاهی صرفه نظر کرد.

به عنوان مثال فرض کنید، در هنگام اجرای عملیات بتن ریزی، روشی مناسب با توجه به شرایط سازه برای انجام عملیات انتخاب نشود (Qb2=11) و یا نیروهای بتن ریز از مهارت حداقل نیز به سختی برخوردار باشد و بدون توجه به حفظ یکپارچگی و یکنواختی، مخلوط بتنی را در قالب جای دهند (Qb3=8) و از سوی دیگر با توجه به نوع سازه و شرایط آب و هوایی موجود که ممکن است نگهداری از قطعه بتنی از اهمیت بالایی برخوردار باشد، مدت زمان نگهداری و مراقبت از سازه در حد صفر باشد (Qm1=5) و سایر پارامترهای عنوان شده نیز با توجه به مقادیر ارزشی تعریف شده در موقعیت سه، در شرایطی بسیار نامطلوب به سر ببرند. در چنین موقعیتی از تصمیم گیری مطمئناً یک مهندس خبره که با کسب تجربه در طول سالیان دراز اهمیت موارد مطرح شده را درک می کند، علیرغم مطلوب بودن نتایج آزمایشگاهی، سازه بتنی با این ویژگیها و مشخصات را نخواهد پذیرفت.

سیستم فازی پذیرش بتن نیز با توجه به اطلاعات تعریف شده در چنین شرایطی و بر اساس اصول حاکم بر سیستمهای فازی بر مبنای پایگاه قواعد فازی که اساس آن دانش و تجربیات انسان خبره است، مشخصات بتن کارگاهی را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و مقدار عددی ۱- را به عنوان عدم پذیرش قطعه بتنی اجرا شده ارائه می دهد. همانگونه که در جدول ۱۷-۲-۲ مشاهده می شود سیستم شبیه سازی شده بر اساس بررسی کلیه شرایط موجود (نتایج آزمایشگاهی و شرایط کارگاهی) در بلوک فازی پذیرش بتن حکم به عدم مقبولیت سازه بتنی می دهد (cocncrete = -1) از سوی دیگر با توجه به اینکه نتایج آزمایشگاهی در حالتی مطلوب و ایده ال می باشد و ضوابط آیین نامه را ارضا می نماید، لذا بلوک فازی پیشنهاد نیز بر اساس نتایج آزمایشگاهی سازه را منطبق بر رده مورد نظر تشخیص داده و لزوم اقدامات خاص برای حصول اطمینان ضروری نمی داند و با توجه به عملکرد بلوک switch مقدار عددی ۱- را به عنوان خروجی نهایی ایجاد می کند (result = -1). لازم به ذکر است که عدم ضروری نبودن اقدامات خاص تنها بر اساس نتایج آزمایشگاهی است و بدون در نظر

گرفتن شرایط کارگاهی می باشد، بدین معنا که در این حالت سیستم با بررسی نتایج آزمایشگاهی به کاربر اعلام می کند که نتایج آزمایشگاهی منطبق بر ضوابط آیین نامه است و بر این اساس بتن در رده مورد نظر می باشد، اما عدم مقبولیت سازه بتنی به علت نامطلوب بودن شرایط کارگاهی است.

موقعیت چهارم : در این حالت نتایج آزمایشگاهی بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های بتنی حکایت از آن دارد که با توجه به مقاومت مشخصه بتن ضوابط و مقررات آیین نامه در مورد پذیرش بتن ارضا نمی شود:

$$\overline{X} = 216.7 \prec f_c + 15 \quad {}^{kg}/_{cm^2} \qquad f_c - x_{\min} = 40 \le 40 \quad {}^{kg}/_{cm^2}$$

$$\overline{X} \ge 0.85 f_c \quad {}^{kg}/_{cm^2}$$

با بررسی و کنترل روابط موجود در آیین نامه همانگونه که مشاهده می شود ازیک سو با توجه به رابط کنترلی مربوط به کوچکترین مقاومت نمونه ها نتایج در حالت مرزی قرار می گیرد و از سوی دیگر رابطه مربوط به میانگین مقاومت نمونه ها ارضا نمی گردد. در چنین شرایطی در صورتیکه بخواهیم مبتنی بر روابط منطقی کلاسیک آیین نامه نتیجه گیری نماییم، آنچه به عنوان میزان پذیرش سازه بتنی نتیجه می شود عدم پذیرش بتن اجرا شده خواهد بود، اما آیا در عمل و در کارگاههای بتن ریزی بتنی با چنین شرایط و مشخصات را رد می کنند و بدون بررسی سایر عوامل حکم به مورد قبول نبودن سازه بتنی می دهند؟ آنچه واضح و روشن است این است که یک مهندس با تجربه و خبره در چنین شرایطی به سرعت و تنها با توجه به عدم برقراری بخشی از روابط کنترلی موجود در آیین نامه تصمیم گیری نمی نماید و به منظور جلوگیری از خسارات احتمالی کلیه جوانب را مورد بررسی قرار داده و سپس حکم نهایی را صادر می نماید.

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های بتنی مشاهده می شود که میانگین مقاومت نمونه ها در حدود ۸۸٪ مقاومت مورد نیاز را تأمین نموده است و از سوی دیگر کوچکترین مقاومت نمونه ها نیز در مقایسه با مقاومت مشخصه در حالت مرزی قرار دارد، در این حالت یک مهندس بی تجربه که آشنایی نسبتاً کمی با رفتار یک قطعه بتنی و نحوه کسب مقاومت آن دارد و تنها بر اساس قوانین و روابط منطقی کلاسیک تصمیم گیری می نماید، ممکن است نتواند به آسانی تصمیم گیری نماید و حتی در صدور حکم نهایی دچار اشتباه شود، لذا در چنین شرایطی بی شک

استفاده از تجربه و مهارت یک مهندس خبره کمک فراوانی به گرفتن نتیجه ای صحیح و منطقی و دور از اشتباهات احتمالی خواهد نمود. واکنش و عکس العمل یک مهندس خبره در موقعیتهای تصمیم گیری نظیر موقعیت مطرح شده به این صورت است که وی با بررسی شرایط کارگاهی اعم از کیفیت بتن ریزی و همچنین نگهداری از سازه بتنی بر اساس دانش و تجربه ای که در طول سالیان دراز کسب نموده است و آشنایی کامل با رفتار یک قطعه بتنی به تجزیه و تحلیل شرایط موجود پرداخته و سپس حکم نهایی را صادر خواهد نمود. با توجه به اینکه نتایج آزمایشگاهی تقریباً مقاومت مورد نیاز را فراهم نموده است (۸۸٪ مقاومت) و همچنین با آگاهی از این مسئله که در طراحی و تعیین ظرفیت باربری سازه ضرایب اطمینان بالایی در نظر گرفته می شود و به علت بدی کیفیت اجرا در عمل تنها از ۵۰ تا ۶۰ درصد توان باربری بتن استفاده می شود، در صورتیکه شرایط کارگاهی از کیفیت بالایی برخوردار باشد و کلیه نکات لازم در هنگام اجرا و نگهداری رعایت شود، مسلماً پذیرفتن چنین بتنی با مشخصات مطرح شده توسط یک مهندس خبره و با تجربه امری غیرمنطقی نخواهد بود و این در حالی است که یک مهندس بی تجربه ممکن است بدلیل عدم مهارت کافی نتواند تصمیمی صحیح و منطقی اتخاذ نماید.

شرایط کارگاهی بتن مورد نظر در جدول ۱۷-۲-۳ بصورت مقادیر ارزشی تعریف شده نشان داده شده است. با توجه به مقادیر تعریف شده می توان نتیجه گرفت که شرایط کارگاهی از کیفیت بسیار خوب و ایده الی برخوردار بوده و کلیه نکات لازم در هنگام اجرا و نگهداری به نحو مطلوبی رعایت گردیده است. سیستم فازی شبیه سازی شده نیز بر اساس اصول حاکم بر سیستمهای فازی و تواناییهای منطق فازی در استفاده از دانش خبره و قالب بندی آن در الگوهای ریاضی و منطقی همانگونه که در جدول ۱۷-۲-۲ نشان داده شده است، با ارائه مقدار عددی ۱ به عنوان خروجی نهایی، (result =1) سازه بتنی را مورد قبول دانسته و آن را پذیرفته است. از سوی دیگر سیستم با بررسی نتایج آزمایشگاهی انجام اقدامات خاص را برای حصول اطمینان از ظرفیت باربری سازه ضروری نمی داند و سازه بتنی را با بطور قطعی مورد قبول می داند.

بدین ترتیب همانگونه که مشاهده می شود سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی این قابلیت را دارد که همانند یک انسان خبره بصورتی کاملاً هوشمند در مورد سازه بتنی اظهارنظر نماید و جایگزین یک مهندس با تجربه شود. بدین معنا که با شبیه سازی عکس العمل و واکنش یک مهندس

خبره در موقعیتهای تصمیم گیری، می توان تنها با در اختیـار داشـتن اطلاعـات مـورد نیـاز سیسـتم تصمیمی صحیح و منطقی و مبتنی بر دانش، مهارت و تجربه را اتخاذ نمود.

موقعیت پنجم : شرایط و موقعیت تصمیم گیری در این حالت نیز مشابه حالت قبل بگونه ای است که تصمیم گیری نهایی در مورد سازه بتنی منوط به در اختیار داشتن دانش ومهارت انسان خبره می باشد. بدین معنا که با توجه به نتایج آزمایشگاهی بدست آمده از آزمایش بـر روی نمونـه هـای بتنـی ضوابط پذیرش بتن موجود در آیین نامه ارضا نمی گردد و صدور حکم قطعـی نیازمنـد بررسـی سـایر عوامل مؤثر و در نظرگرفتن کیفیت شرایط کارگاهی می باشد.

$$\overline{X} = 266.7 \prec f_c + 15 \quad {}^{kg}/_{cm^2} \qquad f_c - x_{\min} = 45 \succ 40 \quad {}^{kg}/_{cm^2}$$

$$\overline{X} \le 0.85 f_c \quad {}^{kg}/_{cm^2}$$

شرایط کارگاهی تعریف شده برای بتن مورد نظر بر اساس مقادیر ارزشی تعیین شده بـرای شـرایط کارگاهی همانند حالت قبل حکایت از ایده ال بودن کیفیت عملیات بـتن ریـزی و نگهـداری از سـازه بتنی را دارد و در این حالت نیز با توجه به اینکه مقاومت مورد نیاز تا حدودی تأمین شده است (۸۹٪) و شرایط کارگاهی نیز در حالت ایده ال به سر می برد، لذا همانند حالت قبل پذیرفتن بتن اجـرا شـده امری منطقی و صحیح می باشد و همانگونه که مشاهده می شود سیستم شبیه سـازی شـده نیـز بـر اساس تجزیه و تحلیل شرایط موجود اعم از نتایج آزمایشگاهی و شرایط کارگاهی قطعه بتنی اجرا شده را پذیرفته و مقدار عددی ۱ را به عنوان خروجی بلوک فازی پـذیرش بـتن (concrete =1) ارائـه داده است. از سوی دیگر سیستم با بررسی نتایج آزمایشگاهی بدست آمده و کنترل ضوابط پذیرش بـتن در آیین نامه (بصورت فازی) بتن اجرا شده را بر اساس نتایج آزمایشگاهی بر رده مورد نظر منطبـق نمـی داند و لزوم انجام تدابیر خاص را توصیه می نماید، (result =0).

موقعیت تصمیم گیری مطرح شده از این جهت حائز اهمیت است که قابلیت و توانایی سیستم را در بیان نحوه عملکرد دستگاه اجرایی بتن ساز نشان می دهد. آنچه امـروزه در اکثـر کارگاههـای بتنـی و پروژه های ساختمانی در تقابل میان کارفرما، دستگاه نظارت و دسـتگاه اجرایـی (پیمانکـار) در مـورد قطعه بتنی و پذیرش آن صورت می گیرد به این گونه اسـت کـه پـس از اجـرای سـازه بتنـی توسـط پیمانکار، به منظور کنترل کیفیت سازه بتنی نتایج آزمایشگاهی فراهم شده و سـپس دسـتگاه نظـارت

که از سوی کارفرما مسئولیت تصمیم گیری در مورد میزان مقبولیت بتن اجرا شده را دارد، با بررسی نتایج آزمایشگاهی در مورد پذیرش و رد سازه بتنی اظهارنظر نموده و نتیجه نهایی را به اطلاع کارفرما می رساند تا بر این اساس کارفرما نسبت به پرداخت هزینه های مالی پیمانکار اقدام نماید. ضوابط و مقرراتی که دستگاه نظارت بر پایه آن تصمیم گیری می نماید، بر این اساس است که با توجه به مقاومت بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی و مقایسه آن با مقاومت مورد نیاز، دستگاه نظارت بر مبنای درصدی از مقاومت که توسط بتن اجرا شده تأمین می شود نسبت به میزان هزینه قابل پرداخت تدابیر لازم را اتخاذ می نماید. به عنوان مثال زمانیکه بتن اجرا شده توسط پیمانکار ۸۵ تا ۹۵ درصد مقاومت را تأمین نماید، سازه بتنی را پذیرفته و پیمانکار را جریمه نقدی می نماید و در صورتیکه بتن اجرا شده مقاومتی کمتر از ۸۵٪ مقاومت مورد نیاز را فراهم نماید و بنا به تشخیص دستگاه نظارت سازه بتنی مورد قبول واقع شود، سازه بتنی را پذیرفته و پیمانکار را ۱۰۰٪ جریمه می نماید.

همانگونه که در جدول ۱۷-۲-۲ نشان داده شده است، سیستم شبیه سازی شده با تجزیه و تحلیل کلیه شرایط موجود سازه بتنی را پذیرفته است (concrete =1)، اما بر اساس نتایج آزمایشگاهی کاربر را نسبت به عدم انطباق بتن بر رده مورد نظر آگاه نموده است (result =0). بدین ترتیب سیستم شبیه سازی شده این توانایی و قابلیت را دارد تا علاوه بر تصمیم گیری در مورد پذیرش سازه بتنی، کاربر را نسبت به اتخاذ تدابیر خاص در مورد دستگاه اجرایی (پیمانکار) آگاه نماید. به عبارت دیگر در این حالت علیرغم اینکه سیستم سازه بتنی را مورد قبول می داند، اما به کاربر اعلام می کند که مخلوط بتنی مورد استفاده در این سازه بتنی از ویژگیهای مورد انتظاری که پیمانکار موظف به ارائه آن بوده است برخوردار نمی باشد و دستگاه نظارت باید تدابیر لازم را نسبت به دستگاه مسئول اتخاذ نماید.

موقعیت ششم : نتایج آزمایشگاهی نمونه های بتنی در این موقعیت تصمیم گیری نیز دارای شرایطی مشابه حالت قبل است، بدین معنی که نتایج بدست آمده، روابط کنترلی موجود در آیین نامه را ارضا نمی نماید و شخص تصمیم گیرنده را در هنگام صدور حکم نهایی دچار عدم قطعیت می نماید.

$$\overline{X} = 215 \prec f_c + 15 \quad {}^{kg}/_{cm^2} \qquad f_c - x_{\min} = 45 \succ 40 \quad {}^{kg}/_{cm^2}$$

$$\overline{X} \geq 0.85 f_c \quad {}^{kg}/_{cm^2}$$

شرایط کارگاهی بیان شده برای بتن مورد نظر در جدول ۱۷-۲-۳ نشان داده شده است. با توجه به مقادیر ارزشی تعریف شده برای هر یک از پارامترهای مؤثر می توان گفت که کیفیت شرایط کارگاهی بسیار نامطلوب و ضعیف می باشد. همانگونه که در موقعیتهای تصمیم گیری عنوان شده در دو حالت قبل مطرح گردید، شرایط نتایج آزمایشگاهی بگونه ای است که یک مهندس خبره و با تجربه در صورتی سازه بتنی را مورد قبول می داند که اجرای عملیات بتن ریزی و نگهداری از قطعه بتنی دارای شرایطی مطلوب و ایده ال باشد، بنابراین با توجه به اینکه شرایط کارگاهی در این حالت از وضعیت نامناسب و ضعیف خبر می دهد آنچه مسلم است بتن اجرا شده مورد قبول نخواهد بود و این همان عکس العملی است که سیستم شبیه سازی شده از خود نشان می دهد.

همانگونه که در جدول ۱۷-۲-۲ نشان داده شده است، بر اساس اطلاعات تعریف شده برای بتن مورد نظر نتیجه نهایی عبارت است از مقدار عددی ۱- به عنوان عدم پذیرش و رد سازه بتنی (concrete = -1). از سوی دیگر سیستم با بررسی نتایج آزمایشگاهی بتن را منطبق بر رده مورد نظر نمی داند و انجام اقدامات خاص را برای حصول اطمینان از ظرفیت باربری سازه توصیه می نماید. (result = 0)

مطابق آنچه مطرح گردید، نحوه عملکرد سیستم در شرایط مختلف تصمیم گیری مورد ارزیابی قرار گرفت. همانگونه که نشان داده شد، سیستم شبیه سازی شده این توانایی و قابلیت را دارد تا با تجزیه و تحلیل اطلاعات ورودی بر اساس اصول حاکم بر سیستمهای فازی تصمیمی صحیح، منطقی و مبتنی بر دانش و تجربه را اتخاذ نماید و به عنوان یک سیستم هوشمند در موقعیتهای تصمیم گیری مورد استفاده قرار گیرد. پس از کنترل عملکرد سیستم در شرایط مختلف تصمیم گیری و حصول اطمینان از صحت نتایج بدست آمده توسط سیستم، در ادامه بحث نمونه هایی از موقعیتهای تصمیم گیری را که در کارگاههای بتنی بصورت عملی رخ داده است، مطرح می کنیم و تصمیمی را که سیستم شبیه سازی شده در مورد پذیرش و یا رد سازه بتنی اتخاذ می نماید با آنچه در واقعیت در کارگاه اتفاق افتاده است مقایسه کرده و به تجزیه و تحلیل نتایج خواهیم پرداخت.

۳-۱۷ نمونه های عملی :

در این قسمت به منظور ارزیابی عملکرد سیستم در شرایط عملی و ارزیابی نتایج بدست آمده و همچنین بررسی توانایی‌ها و قابلیتهای سیستم شبیه سازی در تعیین مقبولیت سازه بتنی، نمونه هایی از موقعیتهای تصمیم گیری که در کارگاههای بتن ریزی بصورت واقعی رخ داده است را مورد تجزیه و تحلیل قرار می دهیم و آنچه را که توسط سیستم به عنوان تصمیم نهایی ارائه می شود با نتیجه بدست آمده در واقعیت مقایسه می نماییم. لازم به ذکر است نمونه های عملی که در این تحقیق بررسی می شود شامل دو بخش می باشد.

بخش اول عبارت است از نتایج بدست آمده از یک کارگاه بتن ریزی که در آن به منظور بررسی نحوه تأثیر شرایط کارگاهی بر مقاومت سازه بتنی و ارزیابی عملکرد سیستم، از مخلوط بتنی نمونه های کارگاهی تهیه شده است و در زمان لازم مورد آزمایش قرار گرفته است، به منظور بررسی تأثیر شرایط کارگاهی (کیفیت عملیات بتن ریزی و نگهداری) بر سازه بتنی، نمونه های کارگاهی از بتنی تهیه شده است که کلیه اعمال لازم اعم از جای دادن در قالب و مسطح کردن آن توسط نیروهای بتن ریز به پایان رسیده است، همچنین از نیروهای مسئول نگهداری و مراقبت از سازه بتنی خواسته شده است تا هرگونه رفتاری را برای سازه بتنی در پیش می گیرند در مورد نمونه کارگاهی نیز اعمال نمایند. سپس با تعریف اطلاعات مورد نیاز اعم از نتایج آزمایشگاهی و همچنین شرایط کارگاهی که توسط مهندس ناظر ارزیابی شده است، موقعیت تصمیم گیری مطرح شده توسط سیستم مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. پس از بدست آمدن نتایج آزمایشگاهی نمونه های کارگاهی، مقاومت بدست آمده با خروجی نهایی سیستم شبیه سازی شده مقایسه گردیده و عملکرد سیستم مورد ارزیابی قرار گرفته است.

بخش دوم نمونه های عملی شامل اطلاعاتی است که از یک کارگاه بتن ریزی جمع آوری شده است. در این کارگاه با توجه به اهمیت پروژه به درخواست کارفرما و دستگاه نظارت به منظور اطمینان از تصمیم گیری نهایی از مخلوط بتنی نمونه های کارگاهی تهیه شده و در زمان مقتضی مورد آزمایش قرار گرفته است، تا علاوه بر در اختیار داشتن نتایج نمونه های آزمایشگاهی با بررسی مقاومت نمونه های کارگاهی تصمیمی صحیح و منطقی اتخاذ شود. به منظور بررسی عملکرد سیستم فازی

پذیرش بتن کارگاهی از مهندس ناظر بر پروژه خواسته شد تا شرایط کارگاهی سازه بتنی مورد نظر را با مشخص نمودن مقادیر ارزشی بیان نماید. در این حالت نیز با تعریف اطلاعات مورد نیاز اعم از مقاومت نمونه های آزمایشگاهی و مقادیر ارزشگذاری شده بر شرایط کارگاهی به عنوان ورودیهای سیستم، میزان مقبولیت بتن اجرا شده توسط سیستم شبیه سازی شده را مورد بررسی و ارزیابی قرار می دهیم و با مقایسه میان خروجی نهایی سیستم و آنچه در واقعیت اتفاق افتاده است به تجزیه و تحلیل عملکرد سیستم خواهیم پرداخت.

۱۷-۴ میزان مقبولیت سازه بتنی در یک مجتمع مسکونی :

همانگونه که مطرح گردید، در بخش اول نمونه های عملی به منظور کاربرد سیستم در شرایط کارگاهی و همچنین بررسی میزان تأثیر شرایط کارگاهی بر مقاومت نهایی بتن اجرا شده، در یک کارگاه ساختمانی نمونه ای از یک سازه بتنی را مورد آزمایش قرار داده ایم و نتایج بدست آمده را تجزیه و تحلیل نموده و نحوه عملکرد سیستم را کنترل نموده ایم. در ادامه این بخش پس از معرفی موقعیت و مشخصات پروژه مورد نظر، نتایج بدست آمده را ارزیابی خواهیم نمود.

۱۷-۴-۱ موقعیت و مشخصات پروژه :

پروژه ساختمانی مورد نظر عبارت است از یک مجتمع مسکونی ۱۱۰ واحدی که شامل ۵ بلوک ۲۲ واحدی و یک محوطه تفریحی است که در مساحتی به ابعاد ۵۰۰۰ مترمربع در شهرستان مشهد در حال احداث می باشد. این مجتمع مسکونی بخشی از یک پروژه عظیم انبوه سازی است که در موقعیت و منطقه ای کاملاً کوهستانی، با از میان برداشتن قسمتی از کوههای این منطقه و هموار کردن زمین سنگی اجرا می گردد. هر بلوک از این مجتمع دارای اسکلت فلزی با سقفهای بتنی از جنس کامپوزیت است که در چهار طبقه ساخته می شود. مسئولیت ساخت و اجرای این مجتمع مسکونی بر عهده یک شرکت ساختمانی خصوصی است که به عنوان پیمانکار زیر نظر یک شرکت مشاوه به عنوان دستگاه نظارت و همچنین اداره مسکن و شهرسازی این شهرستان به عنوان کارفرما فعالیت می نماید.

لازم به ذکر است که کلیه اطلاعات مطرح شده در این بخش از شرکت ساختمانی زیست عمران واقع در شهرستان مشهد که به عنوان پیمانکار فعالیت می نماید، فراهم گردیده است.

۱۷-۴-۲ مشخصات سازه بتنی :

سازه بتنی که در این تحقیق مورد آزمایش قرار گرفته است، سقفهای بتنی یکی از بلوکهای این مجتمع مسکونی است که بصورت کامپوزیت اجرا می شود. مخلوط بتنی مورد نیاز در این سازه بصورت آماده از یک کارخانه بتن سازی خریداری می شود و توسط ماشینهای حمل بتن به محل اجرا انتقال می یابد. مقاومت مشخصه بتن (Fc) معادل ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع است که برای هر سقف در مساحتی به ابعاد ۴۰۰ مترمربع و به ضخامت ۸ سانتی متر اجرا می گردد.

$$f_c = 250 \ {}^{kg}\!/_{cm^2} \qquad A = 400 \ m^2 \qquad t = 8 \ cm$$

۱۷-۴-۳ نتایج نمونه های آزمایشگاهی :

همانگونه که مطرح گردید مخلوط بتنی مورد نیاز برای هر یک از سقفها توسط پیمانکار این پروژه از یک کارخانه بتن سازی خریداری می شود و توسط ماشینهای حمل بتن به محل اجرای سازه بتنی انتقال می یابد. احداث آزمایشگاه محلی و انجام آزمایشات مورد نیاز در محل اجرا سازه بتنی، نیازمند صرف هزینه های گزاف می باشد و از سوی دیگر با توجه به اینکه سازندگان مجتمعهای مسکونی، اغلب انبوه سازان واحدهای مسکونی بوده و فروشندگان آن می باشند، نه استفاده کننده از آن، لذا در این پروژه نیز (متأسفانه) بدون انجام آزمایشهای محلی تنها به مشخصاتی که کارخانه بتن سازی ارائه می دهد اکتفا نموده و فقط در شرایط خاص، نتایج آزمایشهای بتن از کارخانه درخواست می شود.

با توجه به اینکه به منظور بررسی و تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش صورت گرفته در این تحقیق، نیازمند در اختیار داشتن نتایج آزمایشگاهی مخلوط بتنی خریداری شده هستیم، لذا در هنگام اجرای هر یک از سقفهای بتنی مورد نظر از کارخانه سازنده خواسته شد تا نتایج آزمایشگاهی مخلوط بتنی خریداری شده را ارائه دهد. نتایج مقاومت نمونه های تهیه شده از سقفهای دوم و سوم سازه بتنی که در شرایط آزمایشگاهی نگهداری شده اند، در جدول ۱۷-۳-۱ نشان داده شده است.

۱۷-۴-۴ نتایج آزمایش بر روی نمونه های کارگاهی :

به منظور بررسی نحوه تأثیر شرایط کارگاهی بر مقاومت نهایی بتن اجرا شده، از مخلوط بتنی خریداری شده در هنگام اجرای هر یک از سقفهای مورد نظر نمونه های کارگاهی تهیه گردید و در شرایط کارگاهی نگهداری شد. به منظور یکسان بودن کلیه شرایط و پارامترهای مورد نظر در

عملیاتهای بتن ریزی و نگهداری، نمونه های کارگاهی تهیه شده از بتنی اخذ گردید که توسط نیروهای بتن ریز در قالب جای گرفته بود و همچنین از نیروهای مستقر در کارگاه خواسته شد تا هر گونه عملیاتی را که در مورد سازه اصلی انجام می دهند، در مورد نمونه های کارگاهی تهیه شده نیز اعمال نمایند تا بدین ترتیب نمونه های کارگاهی معرف خوبی برای مشخصات و ویژگیهای سازه اصلی باشند و بتوان نتایج بدست آمده از نمونه های کارگاهی را در مورد قطعه بتنی اجرا شده نیز تعمیم داد. همچنین به منظور یکسان بودن کیفیت و مشخصات مخلوط بتنی مورد آزمایش در هنگام مقایسه میان نتایج نمونه های کارگاهی و آزمایشگاهی، نمونه های کارگاهی نیز از همان بخشی از مخلوط بتنی تهیه گردید که نمونه های آزمایشگاهی توسط کارخانه سازنده، گرفته شده بود.

نتایج نهایی بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های کارگاهی تهیه شده در جدول ۱۷-۳-۲ نشان داده شده است. بر اساس ضوابط موجود در آیین نامه مقصود از هر نمونه برداری از بتن دو نمونه آزمایشی است که آزمایش فشاری آنها در سن ۲۸ روزه و یا هر سن مقرر شده دیگری انجام می پذیرد و متوسط مقاومتهای فشاری بدست آمده به عنوان نتیجه نهایی آزمایش منظور می شود. در آزمایشهای صورت گرفته نیز نتایج بدست آمده برای هر نمونه بتنی شامل میانگین مقاومت فشاری دو نمونه مکعبی اخذ شده از مخلوط بتنی است که در سنین ۱۱ و ۴۲ روزه مورد آزمایش قرار گرفته اند.

نمونه های تهیه شده از سقفهای دوم و سوم سازه به ترتیب با حروف اختصاری A وB علامتگذاری شده اند. به منظور ارزیابی رفتار بتن در سنین مختلف و همچنین کنترل صحت نتایج بدست آمده یکی از نمونه های بتنی تهیه شده از هر سقف در سن ۱۱ روزه و سایر نمونه ها نیز در سن ۴۲ روزه مورد آزمایش قرار گرفته اند تا بدین ترتیب از یک سو میزان تأثیر شرایط کارگاهی بر مقاومت نهایی سازه بتنی در سنین مختلف مورد بررسی قرار گیرد و از سوی دیگر در صورت مخدوش شدن نتایج نهایی سازه بتنی، بتوان بر اساس نتایج مقاومت ۱۱ روزه که در حدود ۷۰٪ مقاومت نهایی قطعه بتنی است، آزمایش را مورد ارزیابی قرار داد.

جدول ۱۷-۳-۱ نتایج مقاومت فشاری نمونه های آزمایشگاهی (*Fc=250*)

Cube No.	*Age Days*	*Dimensions Cm*	*Area Sq.cm.*	*Weight Kg*	*Unit Wt. gm/c.c.*	*slamp*	*Load Kg*	*C. strength Kg/cm²*
A1	11	15*15*15	225	7.980	2.36	6	42000	187.6
A2	42	15*15*15	225	7.960	2.36	6	63068	280.3
A3	42	15*15*15	225	7.955	2.36	6	62325	277
A4	42	15*15*15	225	7.990	2.37	6	61425	273
B1	11	15*15*15	225	8.050	2.38	5	40815	181.4
B2	42	15*15*15	225	7.995	2.37	5	60435	268.6
B3	42	15*15*15	225	8.000	2.37	5	59445	264.2
B4	42	15*15*15	225	8.025	2.38	5	58635	260.6

جدول ۱۷-۳-۲ نتایج مقاومت فشاری نمونه های کارگاهی (*Fc=250*)

Cube No.	*Age Days*	*Dimensions Cm*	*Area Sq.cm.*	*Weight Kg*	*Unit Wt. gm/c.c.*	*slamp*	*Load Kg*	*C. strength Kg/cm²*
A5	11	15*15*15	225	7.940	2.35	6	33660	149.6
A6	42	15*15*15	225	7.927	2.35	6	49140	218.4
A7	42	15*15*15	225	7.931	2.35	6	48519	215.6
A8	42	15*15*15	225	7.930	2.35	6	47626	211.8
B5	11	15*15*15	225	8.015	2.37	5	38315	170.3
B6	42	15*15*15	225	7.950	2.36	5	56990	253.3
B7	42	15*15*15	225	7.960	2.36	5	56270	250.1
B8	42	15*15*15	225	7.975	2.36	5	55080	244.8

A_i ← مقاومت نمونه های آزمایشگاهی و کارگاهی سقف دوم $\quad i = 1,2,...,8$

B_i ← مقاومت نمونه های آزمایشگاهی و کارگاهی سقف سوم $\quad i = 1,2,...,8$

۱۷-۴-۵ شرایط کارگاهی :

۱۷-۴-۵-۱ سقف دوم (A) :

عملیات بتن ریزی سقف دوم مجتمع مسکونی مورد نظر در فصل زمستان و در اواخر بهمن ماه اجرا گردید. علیرغم نامساعد بودن هوا و باران شدیدی که از ابتدای صبح روز بتن ریزی در محل اجرای سازه بتنی آغاز شده بود، به دلیل کمبود سیمان و شرایط سخت فراهم نمودن بتن، عملیات بتن ریزی در ساعت ۱۲ صبح آغاز گردید و با توجه موقعیت جغرافیایی کارگاه ساختمانی (منطقه کوستانی) و عدم وجود راه ارتباطی مطلوب و همچنین شرایط آب و هوایی (ریزش باران، هوای مه آلود و سرد) تا ساعت ۷ بعدازظهر ادامه یافت. حجم عملیات بتن ریزی با توجه به ابعاد سازه در حدود ۳۲ مترمکعب بود که توسط ماشینهای حمل بتن به ظرفیت ۶ و ۸ مترمکعب و در فاصله های زمانی نسبتاً طولانی به محل اجرا انتقال داده می شد و توسط یک دستگاه پمپ ثابت در شرایطی بسیار نامطلوب در قالب جای می گرفت. نیروهای بتن ریز که از ساعتها قبل در محل مستقر شده بودند، از یک سو به دلیل شرایط بد آب و هوایی و زمان نامناسب بتن ریزی و از سوی دیگر به علت عدم برخورد صحیح پیمانکار در فراهم نمودن امکانات مورد نیاز، عملیات بتن ریزی را به شیوه ای بسیار نامطلوب و ناصحیح اجرا نموده و کارگران نیز به منظور ابراز خستگی و شکایت از شرایط موجود، عملیات جای دادن بتن در قالب و مسطح نمودن مخلوط بتنی را بدون دقت و رعایت نکات لازم انجام می دادند.

پس از پایان یافتن عملیات بتن ریزی و با وجود اینکه به دلیل شرایط نامساعد آب و هوایی و موقعیت جغرافیایی منطقه امکان بروز سرمای شدید و پایین آمدن درجه حرارت هوا در شب تا دمای زیر صفر درجه سانتی گراد وجود داشت، اما هیچگونه تدابیر و اقدامات خاص و ویژه ای از سوی پیمانکار برای نگهداری از سازه در اولین شب عمر قطعه بتنی اتخاذ نگردید. پس از اتمام شب اول و بررسیهای صورت گرفته مشخص شده که درجه حرارت هوا در هنگام شب در سردترین لحظات به حدود ۳ درجه سانتی گراد زیر صفر رسیده است. با توجه به اینکه در روزهای اولیه عمر بتن کارگاهی ریزش باران بصورت مقطعی در محیط کارگاه ادامه داشت، به بتن تازه آب داده نمی شد و قطعه بتنی در شرایط طبیعی محیط کارگاه روند کسب مقاومت نهایی خود را طی می نمود. به سبب تسریع در آغاز عملیات بتن ریزی سقف سوم، قالبهای سقف که از چوب و ورق آلومینومی تشکیل شده بود در

روز چهارم باز گردید. لازم به ذکر است که نمونه های تهیه شده کارگاهی نیز منطبق با شرایط موجود در کارگاه در محیط آزاد و در مکانهای مختلف بر روی سازه بتنی قرار داده شده بود تا بدین ترتیب از یک سو بیانگر مشخصات سازه بتنی در مکانهای مختلفی باشد که ممکن است تحت تأثیر شرایط آب و هوایی متفاوت نظیر تابش خورشید و یا باد قرار گیرند و از سوی دیگر شرایطی فراهم شود تا نمونه های بتنی در مسیر کسب مقاومت، سرنوشتی مشابه قطعه بتنی را طی نمایند.

۱۷-۴-۵-۲ سقف سوم (B) :

به دلیل نامساعد شدن هوا و ریزش برف در منطقه ای که مجتمع مسکونی در حال احداث بود، اجرای سقف سوم بلوک مورد نظر در حدود سه هفته به تأخیر افتاد. با پایان یافتن ریزش برف و افزایش درجه حرارت محیط، علیرغم آنکه هنوز هم شرایط آب و هوایی کاملاً مساعد نشده بود، عملیات بتن ریزی سقف سوم در اواسط اسفند ماه و در یک روز نیمه ابری که درجه حرارت هوا تقریباً ۸ درجه سانتی گراد بالای صفر بود، در ساعت حدود ۱۲ ظهر آغاز شد و دو ساعت بطول انجامید. مخلوط بتنی مورد نظر که از همان کارخانه قبلی خریداری شده بود توسط ماشینهای حمل بتن با ظرفیتهایی مشابه حالت قبل به محل اجرا انتقال یافته و بر مبنای دستور دستگاه نظارت که هنوز تجربه بتن ریزی سقف دوم را با آن خصوصیات و شرایط در ذهن داشت با استفاده از یک دستگاه پمپ متحرک (تلسکوپی) که توسط یک اپراتور بصورت کنترل از راه دور هدایت می گردید، در قالب سقف جای داده می شد. دستگاه اجرایی نیز با دلجویی از کارگران و نیروهای بتن ریز و فراهم نمودن امکانات مورد نیاز از آنها خواسته بود تا در هنگام جای دادن بتن در قالب و مسطح نمودن آن از دقت و مهارت بیشتری استفاده نمایند. پس از پایان عملیات بتن ریزی که بدلیل مناسب بودن وسایل و دستگاههای مورد استفاده و همچنین مهارت نیروهای بتن ریز در مدت زمانی کم به انجام رسیده بود، به پیشنهاد دستگاه نظارت، تمهیدات و تدابیر ویژه ای به منظور نگهداری از سازه بتنی اتخاذ گردید.

با توجه به نامساعد شدن شرایط آب و هوایی و ریزش باران پس از اتمام عملیات بتن ریزی و کاهش شدید درجه حرارت، به منظور جلوگیری از افزایش روانی مخلوط بتنی و عدم تخریب سطح بتن تازه، پس از سفت شدن تقریبی بتن تا حدی که امکان راه رفتن بر روی آن وجود داشته باشد بوسیله پلاستیک روی سطح بتن پوشانیده شد. در هنگام شب نیز با توجه کاهش شدید درجه حرارت

و رسیدن آن به حدود ۴ درجه سانتی گراد زیر صفر به منظور جلوگیری از یخ زدن بتن تازه و همچنین عدم توقف روند کسب مقاومت قطعه بتنی، با استفاده از آتش زدن لاستیکهایی که در زیر سقف و در چهارگوشه و وسط آن قرار داده شده بود، سازه بتنی در مقابل سرما محافظت می شد. پس از گذشت دو روز از عمر سازه بتنی و گرم شدن هوا در صورت عدم ریزش باران در اواسط روز توسط کارگرانی که در کارگاه مستقر بودند بوسیله شلنگ عملیات آب دهی به بتن انجام می پذیرفت. لازم به ذکر است که کلیه اقدامات انجام گرفته بر روی قطعه بتنی توسط همان کارگران در مورد نمونه های کارگاهی نیز اعمال گردیده است. عملیات آب دهی به بتن کارگاهی تا ۵ روز از گذشت عمر سازه ادامه داشت و از آن پس با بازشدن قالبهای سقف، قطعه بتنی در شرایط کارگاهی به حال خود رها گردید و دیگر هیچگونه اقدام خاصی بر روی آن صورت نگرفت.

۱۷-۴-۶ مقبولیت بر اساس ضوابط آیین نامه :

آنچه امروزه در اکثر کارگاههای بتن ریزی به منظور تعیین میزان مقبولیت سازه بتنی توسط دستگاه نظارت ناظر بر پروژه انجام می پذیرد عبارت است از بررسی نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های تهیه شده از مخلوط بتنی که در شرایط آزمایشگاهی نگهداری شده است. بر اساس آزمایشها و تحقیقات به عمل آمده بر روی رفتار بتن و روند کسب مقاومت آن و همچنین قوانین و مقررات موجود، در حالت کلی می توان گفت که قطعه بتنی (نمونه مکعبی) پس از گذشت ۱۱ روز از عمر خویش در حدود ۷۰٪ مقاومت فشاری نهایی خود را بدست می آورد، بهمین دلیل در اکثر دستگاههای نظارت در صورتیکه نتایج مقاومت ۱۱ روزه نمونه مکعبی ۷۰٪ مقاومت نهایی را فراهم آورد، مخلوط بتنی مورد نظر را مورد قبول می دانند و در غیر اینصورت تا زمان بدست آمدن نتایج آزمایش فشاری ۴۲ روزه نمونه حکم نهایی را صادر نمی کنند و در صورتیکه در این مرحله نیز نتایج رضایت بخش فراهم نشد، با مورد آزمایش قرار دادن نمونه شاهد (نمونه ۹۰ روزه) تصمیم نهایی را در مورد قطعه بتنی اتخاذ می نمایند.

در این تحقیق نیز ابتدا بر اساس مقررات و ضوابط کنترلی موجود در آیین نامه با در اختیار داشتن نتایج آزمایشگاهی قطعه بتنی مورد نظر که توسط کارخانه سازنده مخلوط بتنی ارائه شده است، میزان مقبولیت سازه بتنی را مورد بررسی قرار می دهیم.

سقف دوم (A) :

$f_c = 250 \quad kg/cm^2$

$A_1 = 187.6 \geq 0.70 \ f_c \quad kg/cm^2 \qquad OK$

$A_2 = 280.3 \quad kg/cm^2 \qquad A_3 = 277 \quad kg/cm^2 \qquad A_4 = 273 \quad kg/cm^2$

$\overline{x}_{2,3,4} = \frac{280.3 + 277 + 273}{3} = 276.8 \quad kg/cm^2 \qquad \overline{x} \geq f_c + 15 \quad kg/cm^2 \qquad OK$

$x_{min} = 273 \quad kg/cm^2 \qquad f_c - x_{min} = -23 \leq\leq 0 \quad kg/cm^2 \qquad OK$

سقف سوم (B) :

$f_c = 250 \quad kg/cm^2$

$B_1 = 181.4 \geq 0.70 \ f_c \quad kg/cm^2 \qquad OK$

$B_2 = 268.6 \quad kg/cm^2 \qquad B_3 = 264.2 \quad kg/cm^2 \qquad B_4 = 260.6 \quad kg/cm^2$

$B_{2,3,4} \geq f_c$

$\overline{x}_{2,3,4} = \frac{268.6 + 264.2 + 260.6}{3} = 264.5 \quad kg/cm^2 \qquad f_c \prec \overline{x} \prec f_c + 15 \quad kg/cm^2$

$x_{min} = 260.6 \quad kg/cm^2 \qquad f_c - x_{min} = -10.6 \leq\leq 0 \quad kg/cm^2 \qquad OK$

نتایج بدست آمده از کنترل ضوابط و مقررات آیین نامه در مورد سقف دوم حاکی از آن است که مخلوط بتنی از کیفیت مطلوب و مناسبی برخوردار است و با توجه به مقاومت مشخصه بتن مورد نیاز می تواند انتظارات لازم را برآورده سازد. همانگونه که نشان داده شده است مقاومت ۱۱ روزه نمونه بتنی، مقاومتی بیشتر از ۷۰٪ مقاومت نهایی مورد نیاز را فراهم نموده و همچنین میانگین مقاومت نهایی نمونه های بتنی ۴۲ روزه و کوچکترین مقاومت فشاری کلیه روابط و ضوابط کنترلی موجود در آیین نامه را در مورد پذیرش سازه بتنی به خوبی ارضا نموده است. بنابراین در چنین شرایطی دستگاه نظارت و تصمیم گیرنده با توجه به شواهد موجود و بر اساس مقررات آیین نامه در مورد میزان مقبولیت سازه بتنی که پایه و اساس آن نتایج آزمایشگاهی مقاومت نمونه های بتنی است، بتن اجرا شده در کارگاه را پذیرفته و آن را مورد قبول می داند.

نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های آزمایشگاهی تهیه شده از مخلوط بتنی سقف سوم نیز دارای شرایطی تقریباً مشابه سقف دوم می باشند و علیرغم آنکه مخلوط بتنی مورد استفاده نسبت به مخلوط بتنی سقف دوم از مطلوبیت کمتری برخوردار است، اما بر اساس روابط کنترلی موجود در آیین نامه بتن (آبا)، دستگاه نظارت و تصمیم گیرنده بتن اجرا شده در سقف سوم را پذیرفته و آن را مورد قبول می داند. همانگونه که نشان داده شده است در آزمایش سه نمونه متوالی مقاومت هیچکدام کمتر از مقاومت مشخصه نمی باشد و بنابراین بر اساس بند اول ضوابط پذیرش بتن در آیین نامه بتن ایران (بند ۶-۵-۲-۱ الف) مشخصات بتن بر رده مورد نظر منطبق بوده و قابل قبول تلقی می شود.

۷-۴-۱۷ بررسی نتایج مقاومت نمونه های کارگاهی :

در بخش قبل میزان مقبولیت بتن کارگاهی را بر اساس نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های نگهداری شده در شرایط آزمایشگاهی و استاندارد را مورد بررسی و ارزیابی قرار دادیم. همانگونه که نشان داده شد با توجه به اینکه نتایج بدست آمده در هر دو سقف شرایط موجود در آیین نامه را ارضا می نماید، لذا مشخصات بتن منطبق بر رده مورد نظر و مورد قبول تلقی گردید. در این بخش نتایج نهایی مقاومت نمونه های کارگاهی که در شرایطی منطبق با شرایط موجود در کارگاه نگهداری شده اند مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت و میزان مقبولیت بتن اجرا شده با توجه به در نظرگرفتن شرایط کارگاهی تعیین می گردد.

سقف دوم (A) :

(نمونه های کارگاهی) :

$$f_c = 250 \quad kg/cm^2$$

$$A_5 = 149.6 \prec 0.70 \; f_c \quad kg/cm^2$$

$$A_6 = 218.4 \quad kg/cm^2 \qquad A_7 = 215.6 \quad kg/cm^2 \qquad A_8 = 211.8 \quad kg/cm^2$$

$$\overline{x}_{6,7,8} = \frac{218.4 + 215.6 + 211.8}{3} = 215.3 \quad kg/cm^2 \qquad \overline{x} \prec f_c \quad kg/cm^2$$

$$x_{\min} = 211.8 \quad kg/cm^2 \qquad f_c - x_{\min} = 38.2 \approx 40 \quad kg/cm^2$$

سقف سوم (B) :

(نمونه های کارگاهی) :

$$f_c = 250 \quad kg/cm^2$$

$$B_5 = 170.3 \approx 0.70 \; f_c \quad kg/cm^2 \qquad OK$$

$$B_6 = 253.3 \quad kg/cm^2 \qquad B_7 = 250.1 \quad kg/cm^2 \qquad B_8 = 244.8 \quad kg/cm^2$$

$$\overline{x}_{2,3,4} = \frac{253.3 + 250.1 + 244.8}{3} = 249.4 \quad kg/cm^2 \qquad \overline{x} \approx f_c \quad kg/cm^2 \qquad OK$$

$$x_{\min} = 244.8 \quad kg/cm^2 \qquad f_c - x_{\min} = 5.2 \leq \leq 40 \quad kg/cm^2 \qquad OK$$

مقادیر بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های کارگاهی مخلوط بتنی سقف دوم که در شرایط کارگاهی نگهداری شده و سرنوشتی منطبق با سازه بتنی را طی نموده است، حاکی از آن است که مخلوط بتنی که بر اساس نتایج نمونه های آزمایشگاهی از کیفیت مطلوب و ایده آلی برخوردار بوده است پس از قرار گرفتن در شرایط کارگاهی ظرفیت باربری آن به شدت افت پیدا کرده و از میزان مقبولیت آن کاسته شده است. (همانگونه که مشاهده می شود مقاومت فشاری نمونه های کارگاهی سقف دوم نسبت به نمونه آزمایشگاهی آن در حدود ۳۰ ٪ تقلیل یافته است.) در چنین شرایطی در صورتی که قرار باشد بر اساس مقادیر بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های کارگاهی در مورد پذیرش سازه بتنی اظهارنظر شود، مطمئناً تصمیمی متفاوت با آنچه پیش از این در مورد سقف دوم گرفته شده بود، اتخاذ خواهد شد.

نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های کارگاهی سقف سوم نیز که در همان محیط کارگاهی نگهداری شده است اما شرایط و کیفیت اجرا و نگهداری از آن به مراتب با حالت قبل متفاوت بوده است، نشان دهنده آن است که علیرغم آنکه بر اساس نتایج نمونه های آزمایشگاهی نسبت به مخلوط بتنی سقف دوم دارای کیفیت ضعیفتری است، اما با توجه به سرنوشتی که در شرایط کارگاهی پیموده است از مقبولیت بیشتری برخوردار گشته است. با توجه به روابط نشان داده شده، مقاومت ۱۱ روزه نمونه کارگاهی در این حالت تقریباً ۷۰ ٪ مقاومت نهایی مورد نیاز را فراهم کرده است و این در حالی است که نمونه های کارگاهی سقف دوم در این سن تنها ۴۰٪ مقاومت نهایی را بدست آورده است. همچنین ظرفیت نهایی باربری سازه بتنی در این حالت تنها ۵٪ کاهش یافته است که با توجه به عدم انطباق شرایط کارگاهی با شرایط استاندارد موجود در آزمایشگاه، این کاهش ظرفیت امری کاملاً منطقی و طبیعی به نظر می رسد. در چنین شرایطی با توجه به تفاوت اندک میان نتایج نمونه های کارگاهی و آزمایشگاهی تصمیم اتخاذ شده در مورد میزان مقبولیت سازه بتنی نه تنها تغییر نخواهد کرد بلکه از قطعیت و اطمینان بیشتری نیز بهره مند خواهد شد.

حال این سؤال مطرح است که چه عاملی باعث می شود تا مخلوط بتنی که بر اساس ضوابط پذیرش بتن در آیین نامه و نتایج آزمایشگاهی از کیفیت بسیار ایده ال و مطلوبی برخوردار است، پس از قرار گرفتن در محیط کارگاه بسیاری از قابلیتها و تواناییهای خود را از دست می دهد تا جاییکه دیگر نمی توان به راحتی در مورد مقبولیت آن اظهار نظر کرد؟ بدون شک در چنین حالتی تنها با

بررسی و ارزیابی چگونگی سرنوشتی که هر یک از مخلوطهای بتنی از زمان جای گرفتن در قالب تا پایان روند کسب مقاومت نهایی خویش در کارگاه پیموده اند، می توان به این سؤال پاسخ داد و توجیهی کاملاً منطقی را ارائه نمود.

با توجه به نحوه اجرای عملیات بتن ریزی و نگهداری هر یک از سازه های بتنی می توان به آسانی نتیجه گرفت که کاهش بیش از حد ظرفیت باربری سازه بتنی سقف دوم به دلیل عدم مطلوبیت کیفیت شرایط کارگاهی و ضعیف بودن نحوه اجرای عملیات بتن ریزی و نگهداری از سازه بتنی است. همانگونه که در توصیف شرایط کارگاهی در هنگام اجرای سقف دوم مطرح گردید، دستگاه اجرایی بدون توجه به موقعیت سازه بتنی و محدودیتهای موجود در کارگاه از روشی نامناسب در اجرای عملیات بتن ریزی استفاده نموده (انتقال بتن با پمپ ثابت) و همچنین در هنگام جای دادن مخلوط بتنی در قالب و مسطح نمودن آن، نیروها و کارگران بتن ریز به دلیل عدم وجود امکانات لازم و مورد نیاز به شیوه ای کاملاً ناماهرانه و بدون رعایت نکات لازم سازه بتنی را اجرا نموده اند. از سوی دیگر علیرغم شرایط بسیار نامطلوب آب و هوایی و موقعیت جغرافیایی منطقه هیچگونه تدابیر و اقدامات ویژه ای به منظور نگهداری از بتن تازه از سوی دستگاه اجرایی صورت نپذیرفته است. با توجه به سرنوشتی که سازه بتنی در چنین شرایطی با آن روبرو بوده است، کاهش ظرفیت باربری نهایی سازه علیرغم مطلوب بودن مشخصات مخلوط بتنی امری کاملاً واضح و آشکار است. همچنین نتایج بدست آمده از نمونه های کارگاهی سقف سوم به روشنی میزان تأثیر شرایط مناسب کارگاهی را بر کیفیت نهایی قطعه بتنی نشان می دهد. همانگونه که مطرح گردید در این حالت با توجه به اینکه به پیشنهاد دستگاه نظارت از روشی مناسب در اجرای عملیات بتن ریزی استفاده شده است و همچنین کارگران و نیروهای بتن ریز به سبب وجود امکانات و وسایل مورد نیاز در هنگام جای دادن بتن در قالب و مسطح نمودن آن با برخورداری از مهارت مطلوب نکات لازم را نیز رعایت نموده اند و مهمتر آنکه در هنگام نگهداری و مراقبت بتن تازه با توجه به شرایط موجود از روشهای مناسبی استفاده شده است.

لازم به ذکر است که در ضوابط آیین نامه بتن نیز (بند ۶-۵-۳-۴) روش عمل آوردن و مراقبت از بتن در صورتی رضایت بخش تلقی می شود که مقاومت فشاری نمونه های کارگاهی در سن مشخص برای مقاومت مشخصه حداقل معادل ۸۵٪ مقاومت نظیر نمونه های عمل آورده در آزمایشگاه یا به اندازه ۴ نیوتن بر میلیمتر (۴۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع) بیشتر از مقاومت مشخصه باشد. همانگونه

که مشاهده می شود نتایج بدست آمده از نمونه های کارگاهی سقف دوم حاکی از آن است که روشهای مورد استفاده رضایت بخش نمی باشد و از سوی دیگر سازه بتنی سقف سوم در شرایطی مطلوب و مناسب نگهداری و مراقبت شده است.

سقف دوم :

$$A_1 = 187.6 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad A_5 = 149.6 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad \frac{149.6}{187.6} = 0.80 \prec 0.85$$

$$\overline{x}_{2,3,4} = 276.8 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad \overline{x}_{6,7,8} = 215.3 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad \frac{215.3}{276.8} = 0.78 \prec 0.85$$

سقف سوم :

$$B_1 = 181.4 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad B_5 = 170.3 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad \frac{170.3}{181.4} = 0.94 \succ 0.85$$

$$\overline{x}_{2,3,4} = 264.5 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad \overline{x}_{6,7,8} = 249.4 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad \frac{249.4}{264.5} = 0.94 \succ 0.85$$

با توجه به نتایج بدست آمده در این آزمایش و مطالبی که در فصلهای گذشته در مورد میزان تأثیر شرایط کارگاهی عنوان گردید، مشاهده می شود که تعیین میزان مقبولیت یک سازه بتنی که در شرایط کارگاهی به حیات خویش ادامه می دهد تنها بر اساس نتایج بدست آمده از نمونه های آزمایشگاهی که در شرایطی تقریباً استاندارد مقاومت نهایی خویش را کسب می نمایند امری کاملاً غیر منطقی و نادرست می باشد، زیرا ممکن است که یک مخلوط بتنی علیرغم رضایت بخش بودن مشخصات و ویژگیهای مورد نیاز (بر اساس نتایج نمونه های آزمایشگاهی)، به علت عدم برخورداری از شرایط مطلوب و مناسب کارگاهی بسیاری از قابلیتها و تواناییهای خود را از دست داده باشد و قادر به برآورده نمودن انتظارات مهندس طراح در هنگام بهره برداری از سازه بتنی نباشد، پذیرفتن چنین سازه ای (تنها به علت رضایت بخش بودن نتایج آزمایشگاهی) ممکن است خسارات جبران ناپذیری را فراهم نماید. مطمئناً یک مهندس باتجربه و خبره در چنین موقعیتی بدون درنظرگرفتن شرایط

کارگاهی و کیفیت اجرای سازه بتنی در کارگاه در مورد پذیرش سازه بتنی اظهارنظر نکرده و در مورد دو بتن مختلف با سرنوشتهای متفاوت حکم یکسانی را صادر نخواهد کرد.

۱۷-۴-۸ تعیین میزان مقبولیت توسط سیستم فازی پذیرش بتن :

۱۷-۴-۸-۱ تعریف داده های ورودی و بدست آوردن خروجی :

برای آنکه بتوانیم توسط سیستم شبیه سازی شده میزان مقبولیت سازه بتنی را تعیین نموده و نحوه عملکرد سیستم را در مورد قطعات بتنی مورد نظر مورد ارزیابی قرار دهیم نیازمند آن هستیم تا مقادیر ارزشگذاری شده بر هر یک از پارمترهای مؤثر بر کیفیت شرایط کارگاهی را در اختیار داشته باشیم. برای رسیدن به این هدف از مهندسان ناظر بر پروژه خواسته شد تا بر اساس آنچه در کارگاه بتنی مشاهده نموده اند اظهارنظر خود را در مورد کیفیت شرایط کارگاهی بصورت مقادیر ارزشگذاری شده بر هر یک از پارامترهای مؤثر ارائه نمایند. مقادیر ارزشی بدست آمده در جدول ۱۷-۴-۱ نشان داده شده است.

جدول ۱۷-۴-۱ بیان کیفیت شرایط کارگاهی سقفهای A و B بصورت مقادیر ارزشی

		q_{b_1}	q_{b_2}	q_{b_3}	q_{b_4}	q_{m_1}	q_{m_2}	q_{m_3}
A	1	۱۰	۱۲	۵	۱۳	۵	۵	۱۰
	2	۱۳	۱۵	۱۴	۱۵	۱۰	۱۲	۱۰
	3	۱۰	۱۶	۱۵	۱۴	۶	۱۰	۷
B	1	۱۴	۱۸	۱۵	۱۴	۱۵	۱۶	۱۵
	2	۱۶	۱۹	۱۸	۱۵	۱۸	۱۷	۱۹
	3	۱۳	۱۸	۱۹	۱۶	۱۷	۱۸	۱۶

کیفیت شرایط کارگاهی در هنگام اجرای هر یک از سقفهای A و B توسط سه مهندس به عنوان افراد صاحب نظر و تصمیم گیرنده (کاربر سیستم) در مورد مقبولیت سازه بتنی بیان شده است. بدین ترتیب این افراد با بیان کیفیت شرایط کارگاهی در قالب اعداد ارزشگذاری شده به جای آنکه از

قیدهای زبانی نظیر خوب و یا بد در بیان کیفیت استفاده نمایند، بر اساس دانش و مهارت خویش با در نظر گرفتن شرایط ایده ال و مورد نیاز و همچنین مقایسه آن با شرایط موجود و تفاوت میان آنها اعدادی را به عنوان مقدار ارزشی کیفیت شرایط کارگاهی مشخص نموده اند.

لازم به ذکر است که در تعیین مقادیر ارزشی از اظهار نظر یک مهندس با تجربه و خبره به عنوان سرناظر (مهندس شماره یک در جدول ۱۷-۴-۱) و دو مهندس با سابقه کمتر که به عنوان ناظران مقیم در پروژه حضور داشتند، استفاده شده است تا بدین ترتیب بتوان نحوه عملکرد سیستم را در هر دو حالتی که کاربر یک فرد خبره و باتجربه است و یا زمانیکه کاربر و استفاده کننده از سیستم از خبرگی کمتری برخوردار است، مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار داد.

پس از مشخص شدن مقادیر ارزشی هر یک از پارامترهای مؤثر بر کیفیت شرایط کارگاهی و همچنین با در اختیار داشتن نتایج آزمایشگاهی و مقاومت مشخصه بتن (جدول ۱۷-۴-۲ الف)، میزان مقبولیت سازه بتنی هر یک از سقفهای مورد نظر توسط سیستم شبیه سازی شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است که نتایج بدست آمده در جدول ۱۷-۴-۲- ب نشان داده شده است.

جدول ۱۷-۴-۲ تعیین میزان مقبولیت توسط سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی

الف- مقاومت مشخصه و نتایج نمونه های آزمایشگاهی ۴۲ روزه

	Fc (Kg/cm^2)	*X1* (Kg/cm^2)	*X2* (Kg/cm^2)	*X3* (Kg/cm^2)
A	۲۵۰	۲۸۰/۳	۲۷۷	۲۷۳
B	۲۵۰	۲۶۸/۶	۲۶۴/۲	۲۶۰/۶

ب- خروجی سیستم

		Concrete (*Output*)	*Result* (*Output*)
A	*1*	-۱	-۱
	2	-۱	-۱
	3	-۱	-۱
B	*1*	۱	۱
	2	۱	۱
	3	۱	۱

۱۷-۴-۸-۲ تجزیه و تحلیل نتایج :

همانگونه که در جدول ۱۷-۴-۲ نشان داده شده است به منظور تعیین میزان مقبولیت سازه های بتنی از نتایج نمونه های آزمایشگاهی ۴۲ روزه استفاده شده است و مقادیر ارزشی تعریف شده توسط هر یک از مهندسان ناظر نیز به عنوان مقادیر ورودی کیفیت شرایط کارگاهی به صورت مجزا به سیستم داده شده و نتایج نهایی بدست آمده از تجزیه و تحلیل اطلاعات توسط سیستم شبیه سازی شده تعیین گردیده است. با توجه به نتایج بدست آمده می توان به نکات زیر اشاره نمود.

۱- علیرغم اینکه کیفیت مخلوط بتنی در سقف دوم (A) نسبت به مخلوط بتنی سقف سوم از کیفیت بهتری برخوردار بوده است، اما به دلیل نامطلوب بودن شرایط کارگاهی در هنگام اجرا و نگهداری از سازه بتنی، سیستم شبیه سازی شده قطعه بتنی اجرا شده در سقف دوم را مورد قبول ندانسته و آن را نمی پذیرد. همچنین مخلوط بتنی اجرا شده در سقف سوم سازه مورد نظر به دلیل شرایط مناسب و مطلوب کارگاهی بر اساس تجزیه و تحلیل انجام گرفته توسط سیستم مورد قبول واقع شده و با اطمینان از ظرفیت باربری سازه با قطعیت پذیرفته شده است. لازم به ذکر است که بر اساس نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های کارگاهی بتن سقفهای دوم و سوم نیز بتن اجرا شده در سقف دوم با ۳۰٪ تقلیل ظرفیت باربری منطبق بر رده مورد نظر نبوده و دارای مقبولیت لازم نمی باشد و سازه بتنی سقف سوم با توجه به شرایط مطلوب کارگاهی با کاهش ظرفیتی تنها به میزان ۵٪ همچنان بر رده مورد نظر منطبق بوده و مورد پذیرش قرار می گیرد.

۲- سیستم شبیه سازی شده با تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشگاهی مخلوط بتنی مورد استفاده در سقف دوم توسط بلوک فازی پیشنهاد (S) مخلوط بتنی را منطبق بر رده مورد نظر می داند و با ارائه خروجی عددی result = -1 بیان می کند که عدم مقبولیت سازه بتنی در سقف دوم تنها به دلیل عدم مطلوب بودن شرایط کارگاهی است. همچنین در سقف سوم نیز از یک سو با توجه به نتایج آزمایشگاهی مورد قبول و همچنین مناسب بودن شرایط کارگاهی با ارائه خروجی result = 1 بیان می کند که نیازی به انجام اقدامات خاص برای حصول اطمینان از ظرفیت باربری سازه وجود ندارد.

۳- یکسان بودن نتایج بدست آمده در مورد هر یک از سازه های بتنی علیرغم متفاوت بودن مقادیر ارزشگذاری شده بر کیفیت شرایط کارگاهی توسط مهندسان خبره و یا کم سابقه نشان دهنده این مطلب است که سیستم شبیه سازی شده بر اساس اصول حاکم بر سیستمهای فازی و قابلیتهای

منطق فازی در استفاده از دانش خبره، این امکان را فراهم می سازد تا مهندسان و کاربرانی که بر اساس دانش علمی و تخصص می توانند کیفیت شرایط کارگاهی را تشخیص دهند، اما به دلیل عدم تجربه و مهارت کافی قادر به درک میزان تأثیر شرایط کارگاهی بر ظرفیت باربری سازه بتنی نیستد و به دلیل عدم برخورداری از دانش افراد خبره ممکن است در هنگام تصمیم گیری دچار اشتباه شوند، بتوانند با استفاده از این سیستم تصمیمی صحیح و منطبق بر دانش، مهارت و تجربه را اتخاذ نمایند.

۴- با توجه به عملکرد سیستم در موقعیتهای تصمیم گیری مطرح شده، مشاهده می شود که علیرغم وجود تفاوت میان مقادیر ارزشی که توسط مهندسان به منظور بیان کیفیت شرایط کارگاهی تعریف گردیده است، سیستم شبیه سازی شده تصمیمی یکسان را اتخاذ نموده است و این بدان معنی است که سیستم می تواند بر پایه قابلیتهای منطق فازی در بیان عبارات و قیدهای زبانی بصورت فازی چگونگی شرایط کارگاهی را تشخیص داده و تصمیم صحیح و منطبق با واقعیت را اتخاذ نماید. به عبارت دیگر ممکن است دو مهندس (کاربر) در بیان عدم مطلوبیت شرایط کارگاهی از اعداد متفاوتی استفاده نمایند، اما هدف و منظور یکسانی که همان نامطلوب بودن شرایط کارگاهی است را دنبال نمایند، به عنوان مثال یک مهندس از مقدار عددی۱۰ و دیگری از مقدار عددی ۱۲ در بیان نظر خویش استفاده نماید (لازم به ذکر است که مسلماً هیچگاه از مقدار عددی مانند ۱۸ استفاده نخواهد کرد)، در چنین شرایطی سیستم با در نظر گرفتن خاصیت فازی برای اعداد و تجزیه و تحلیل آن بر اساس عبارات زبانی بکاررفته در پایگاه قواعد فازی که مبتنی بر دانش خبره است، شرایط کارگاهی را تشخیص داده و تصمیم مقتضی را اتخاذ می نماید.

۱۷-۵ میزان مقبولیت سازه بتنی در یک هتل :

همانگونه که مطرح گردید بخش دوم نمونه های عملی شامل اطلاعات جمع آوری شده از یک کارگاه بتن ریزی است که در آن به منظور اطمینان بیشتر از ظرفیت باربر سازه بتنی علاوه بر بررسی نتایج نمونه های آزمایشگاهی، با تهیه نمونه های کارگاهی و آزمایش نمودن آنها در سنین خاص، نتایج بدست آمده نیز مورد مطالعه قرار گرفته است و در مورد میزان مقبولیت سازه بتنی تصمیم مقتضی اتخاذ گردیده است. در این بخش با عنوان نمودن نتایج بدست آمده و چگونگی تصمیم گیری توسط دستگاه نظارت بر پروژه با تعریف اطلاعات مورد نیاز ، نحوه عملکرد سیستم شبیه سازی شده را نیز مورد ارزیابی قرار خواهیم داد.

۱۷-۵-۱ موقعیت ومشخصات پروژه :

پروژه مورد نظر عبارت است از ساخت و احداث یک زائرسرا برای یکی از دوایر دولتی موجود در شهرستان مشهد که توسط یک شرکت ساختمانی خصوصی به عنوان پیمانکار و با نظارت یک شرکت مشاوره به عنوان دستگاه نظارت و اداره مورد نظر به عنوان کارفرما احداث گردیده است. سازه مورد نظر در پنج طبقه و بصورت کاملاً بتنی اجرا گردیده است.

۱۷-۵-۲ مشخصات سازه بتنی :

سازه بتنی مورد نظر عبارت است از قسمتهای مختلف اجزای سازه ای این زائر سرا اعم از فونداسیون، ستون، دیوار و یا سقف که در زمانهای متفاوت و شرایط کارگاهی خاص اجرا گردیده است. با توجه به بتنی بودن کل سازه دستگاه اجرایی به منظور تهیه مخلوط بتنی مورد نیاز اقدام به ساخت یک کارگاه بتن سازی در محل احداث پروژه نموده است و ویژگیهای مخلوط بتنی در هر نوبت با استفاده از یک آزمایشگاه محلی توسط دستگاه نظارت مورد کنترل و ارزیابی قرار گرفته است.

همچنین با توجه به نامساعد بودن شرایط آب و هوایی در موقعیتهای خاصی از زمانهای بتن ریزی به پیشنهاد دستگاه نظارت و درخواست کارفرما نمونه های کارگاهی نیز از مخلوط بتنی تهیه و مورد آزمایش قرار گرفته است.

۱۷-۵-۳ نتایج نمونه های آزمایشگاهی و کارگاهی :

پس از تهیه نمونه های آزمایشگاهی از مخلوط بتنی مورد استفاده در اجزای مختلف سازه ای پروژه مورد نظر و نگهداری آن در شرایط آزمایشگاهی (استاندارد)، نمونه های ساخته شده در سنین خاص و مورد درخواست دستگاه نظارت مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج آزمایش تعیین فشاری بر روی نمونه های مکعبی در بخشهایی خاص از سازه مورد نظر که در این تحقیق مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت، در جدول ۱۷-۵-۱ نشان داده شده است. همانگونه که نشان داده شده است نتایج بدست آمده شامل مقاومت نمونه های مکعبی در سنین ۱۱ و ۴۲ روزه می باشد که توسط آزمایشگاه محلی ارائه گردیده است.

با آغاز عملیات بتن ریزی در شرایط خاص آب و هوایی و کارگاهی، به پیشنهاد دستگاه نظارت و درخواست کارفرما همزمان با تهیه نمونه های آزمایشگاهی، نمونه های کارگاهی نیز از مخلوط بتنی مورد نظر تهیه گردیده است، نمونه های اخذ شده در سنین خاص مورد آزمایش تعیین مقاومت فشاری قرار گرفته است که نتایج بدست آمده در جدول ۱۷-۵-۱ نشان داده شده است. نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی نمونه های کارگاهی در سنین خاص، شامل نتایج مقاومت فشاری دو نمونه مکعبی است که توسط آزمایشگاه محلی ارائه گردیده است.

لازم به ذکر است که کلیه اطلاعات ارائه شده در این بخش از شرکت مشاوره شورا واقع در شهرستان مشهد که به عنوان دستگاه نظارت در این پروژه فعالیت می نماید، فراهم گردیده است.

جدول ۱۷-۵-۱ نتایج آزمایش بر روی نمونه های آزمایشگاهی و کارگاهی

Concrete Structure	*Concrete Sample*	*Cube No.*	*Age Days*	*C. strength Kg/cm²*	*Concrete Sample*	*Cube No.*	*Age Days*	*C. strength Kg/cm²*
A *Fc=300* *Kg/cm²*	آزمایشگاهی	1	11	262	کارگاهی	5	11	178
		2	42	320		6	11	173
		3	42	317		7	42	244
		4	42	316		8	42	231
B *Fc=300* *Kg/cm²*	آزمایشگاهی	1	11	220	کارگاهی	5	11	191.1
		2	42	338		6	11	200
		3	42	333		7	42	322.2
		4	42	330		8	42	313.3
C *Fc=300* *Kg/cm²*	آزمایشگاهی	1	11	271	کارگاهی	5	11	146.7
		2	42	354		6	11	142.2
		3	42	343		7	42	217.8
		4	42	340		8	42	226.7
D *Fc=250* *Kg/cm²*	آزمایشگاهی	1	11	182	کارگاهی	5	11	141
		2	45	289		6	11	152
		3	45	267		7	45	214
		4	45	265		8	45	202

نوع سازه بتنی	علامت اختصاری
ستون	*A*
ستون	*B*
سقف	*C*
دیوار حائل	*D*

۱۷-۵-۴ میزان مقبولیت بر اساس نتایج آزمایشگاهی :

پس از انجام آزمایش تعیین مقاومت فشاری بر روی نمونه های بتنی و بدست آوردن نتایج نهایی مقاومت فشاری، نتایج آزمایشگاهی در اختیار دستگاه نظارت قرار می گیرد. دستگاه نظارت نیز که مسئولیت اظهارنظر در مورد میزان مقبولیت سازه بتنی را بر عهده دارد، با بررسی نتایج بدست آمده در مورد پذیرش و یا عدم پذیرش قطعه بتنی تصمیم نهایی را اتخاذ نموده است. در شرایط کارگاهی و آب و هوایی خاص به پیشنهاد دستگاه نظارت به منظور کنترل کیفیت بتن، تهیه نمونه های کارگاهی نیز توسط پیمانکار الزامی گردیده است، لذا در موارد یاد شده دستگاه نظارت علاوه بر بررسی نتایج نمونه های آزمایشگاهی، حکم نهایی را در مورد مقبولیت سازه بتنی با ارزیابی نتایج نمونه های کارگاهی صادر نموده است. در این بخش با مطرح کردن نحوه تصمیم گیری در چنین شرایطی توسط مهندسان باتجربه و خبره ای که ناظر بر اجرای سازه در این پروژه بوده اند، میزان مقبولیت سازه بتنی را مورد ارزیابی قرار خواهیم داد.

۱۷-۵-۴-۱ قطعه بتنی A :

همانگونه که در جدول ۱۷-۵-۱ نشان داده شده است، نتایج نمونه های آزمایشگاهی حاکی از آن است که مخلوط بتنی از کیفیت مطلوبی برخوردار می باشد و بر اساس ضوابط کنترلی و مقررات موجود در آیین نامه بتن ایران (آبا) مخلوط بتنی منطبق بر رده مورد نظر بوده و مورد قبول می باشد.

$$f_c = 300 \quad {kg}/{cm^2}$$

$$A_1 = 262 \geq 0.70\ f_c \quad {kg}/{cm^2} \qquad OK$$

$$A_2 = 320 \quad {kg}/{cm^2} \qquad A_3 = 317 \quad {kg}/{cm^2} \qquad A_4 = 316 \quad {kg}/{cm^2}$$

$$\overline{x}_{2,3,4} = \frac{320 + 317 + 316}{3} = 317.1 \quad {kg}/{cm^2} \qquad \overline{x} \geq f_c + 15 \quad {kg}/{cm^2} \qquad OK$$

$$x_{\min} = 316 \quad {kg}/{cm^2} \qquad f_c - x_{\min} = -16 \leq\leq 40 \quad {kg}/{cm^2} \qquad OK$$

در چنین شرایطی دستگاه نظارت با بررسی نتایج بدست آمده از نمونه های ۱۱ روزه کارگاهی، سازه بتنی اجرا شده را مورد قبول دانسته است و نمونه های ۴۲ روزه را نیز به منظور کنترل بیشتر مورد آزمایش قرار داده است. لازم به ذکر است که مقاومت نمونه های کارگاهی در این حالت نسبت به نمونه های آزمایشگاهی تنها در حدود ۵٪ کاهش ظرفیت باربری را نشان می دهد.

$$B_1 = 220 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad \overline{B}_{5,6} = 195.6 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad \frac{195.6}{220} = 0.9 \succ 0.85$$

$$\overline{x}_{2,3,4} = 333.7 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad \overline{x}_{7,8} = 317.8 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad \frac{317.8}{333.7} = 0.95 \succ 0.85$$

با توجه به روابط فوق مشاهده می شود که بر اساس ضوابط آیین نامه (بند ۶-۵-۳-۴) شرایط کارگاهی و کیفیت عمل آوردن و مراقبت از سازه بتنی از کیفیت مطلوب برخوردار است. به گفته و اظهارنظر مهندسان ناظر بر پروژه به سبب عدم پذیرش ستون بتنی A در سازه مورد نظر به درخواست کارفرما و دستگاه نظارت تدابیر خاص و ویژه ای به منظور عمل آوردن و نگهداری از بتن اجرا شده اتخاذ شده است که باعث بهبود شرایط کارگاهی و همچنین نتایج نمونه های کارگاهی گردیده است.

۱۷-۵-۴-۳ قطعات بتنی C و D :

نتایج نمونه های آزمایشگاهی قطعات بتنی C و D نیز حاکی از آن است که مخلوط بتنی از کیفیت بسیار مطلوب و ایده الی برخوردار است و بر اساس ضوابط پذیرش بتن در آیین نامه بتن ایران (آبا) مورد قبول می باشد. بنابراین در صورتیکه معیار پذیرش سازه بتنی را تنها نتایج نمونه های آزمایشگاهی در نظر بگیریم، با توجه به اینکه بر اساس نتایج بدست آمده، مخلوطهای بتنی قطعات مورد نظر از مقاومت نهایی بسیار بالایی نسبت به مقاومت مشخصه مورد نیاز برخوردار هستند، بدون شک و بدون هیچ تردیدی حکم به مقبولیت سازه بتنی صادر خواهد شد. اما همانگونه که در نتایج نمونه های کارگاهی نشان داده شده است به دلیل عدم مطلوبیت شرایط کارگاهی و نگهداری از سازه بتنی علیرغم توان باربری بالای مخلوط بتنی (بر اساس نتایج نمونه های آزمایشگاهی) بتن اجرا شده هرگز بر رده مورد نظر منطبق نمی باشد و مورد قبول نخواهد بود. همانگونه که نشان داده شده است نتایج نمونه های ۱۱ روزه کارگاهی در قطعه بتنی C در حدود ۵۰٪ مقاومت نمونه های آزمایشگاهی در همان سن بوده است و با گذشت ۴۵ روز از عمر نمونه ها این کاهش ظرفیت در توان باربری به

حدود ۴۰٪ رسیده است. در مورد قطعه بتنی D نیز کاهش ظرفیت نهایی نمونه های کارگاهی نسبت به آزمایشگاهی معادل ۲۵٪ می باشد.

قطعه بتنی C :

$$C_1 = 271 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad \overline{C}_{5,6} = 144.5 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad \frac{144.5}{271} = 0.5 \prec 0.85$$

$$\overline{x}_{2,3,4} = 345.7 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad \overline{x}_{7,8} = 222 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad \frac{222}{345.7} = 0.64 \prec 0.85$$

قطعه بتنی D :

$$D_1 = 182 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad \overline{D}_{5,6} = 146.5 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad \frac{146.5}{182} = 0.80 \prec 0.85$$

$$\overline{x}_{2,3,4} = 273.7 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad \overline{x}_{7,8} = 208 \ {}^{kg}/_{cm^2} \qquad \frac{208}{273.7} = 0.75 \prec 0.85$$

نتایج بدست آمده از روابط فوق نشان می دهد که شرایط کارگاهی و نگهداری از سازه های بتنی مورد نظر بر اساس ضوابط آیین نامه (بند ۶-۵-۳-۴) مورد قبول نمی باشد و این امری است که ناظران بر پروژه نیز با توجه به نحوه اجرا و نگهداری از قطعات بتنی مورد نظر قبل از بدست آمدن نتایج آزمایشگاهی به آن اشاره نموده اند.

۱۷-۵-۵ تعیین میزان مقبولیت توسط سیستم فازی پذیرش بتن :

۱۷-۵-۵-۱ تعریف داده های ورودی و بدست آوردن خروجی :

پس از بررسی هر یک از موقعیتهای تصمیم گیری در مورد میزان مقبولیت اجزا بتنی مورد نظر و بیان چگونگی اظهارنظر افراد مسئول و همچنین مقایسه میان نتایج نمونه های کارگاهی و آزمایشگاهی، در این بخش میزان مقبولیت قطعات بتنی را توسط سیستم فازی پذیرش بتن مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار خواهیم داد و نتایج بدست آمده را با تصمیم اتخاذ شده مقایسه می نماییم. برای رسیدن به این هدف با توجه به لزوم در اختیار داشتن مقادیر ارزشگذاری شده بر شرایط کارگاهی، از مهندسان ناظر بر پروژه خواسته شد تا کیفیت شرایط کارگاهی هر یک قطعات بتنی را در زمان اجرا و نگهداری بصورت مقادیر ارزشی تعریف نمایند. نتایج بدست آمده از جمع آوری اطلاعات مورد نیاز در جدول ۱۷-۵-۱- الف نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود، کیفیت شرایط کارگاهی در مورد هر یک از قطعات بتنی مورد نظر توسط دو مهندس ناظر بر پروژه تعریف گردیده است.

با مشخص شدن کیفیت شرایط کارگاهی بصورت مقادیر ارزشی توسط مهندسان تصمیم گیرنده ناظر بر پروژه و همچنین در اختیار داشتن مقاومت مشخصه بتن و نتایج مقاومت نهایی نمونه های آزمایشگاهی برای هر یک از قطعات مورد نظر (جدول ۱۷-۵-۱ ب) ، با تعریف داده های ورودی سیستم شبیه سازی شده، میزان مقبولیت بتن کارگاهی مورد ارزیابی قرار گرفته است که نتایج نهایی آن در جدول ۱۷-۵-۱- ج نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود در مورد هر یک از قطعات بتنی که مقبولیت آن مورد نظر است، خروجی نهایی بلوکهای فازی پیشنهاد (*result*) و پذیرش بتن (*concrete*) ارائه شده است.

۱۷-۵-۵-۲ تجزیه و تحلیل نتایج :

نتایج بدست آمده از نمونه های آزمایشگاهی در کلیه قطعات بتنی مورد بحث حاکی از این بود که کیفیت مخلوط بتنی مورد استفاده در سازه های بتنی دارای مشخصات و ویژگیهای مورد انتظار بوده و بر اساس مقررات و ضوابط موجود در آیین نامه بتن ایران (آبا) منطبق بر رده مورد نظر می باشد. اما با بدست آمدن نتایج نمونه های کارگاهی و بررسی آن توسط دستگاه نظارت، مشاهده شد که میزان مقبولیت بتن اجرا شده در بعضی موارد به سبب رویارویی با شرایط نامناسب کارگاهی دستخوش تغییرات اساسی گردیده است و همین امر سبب گردید تا بتن اجرا شده از سوی دستگاه نظارت پذیرفته نشود. سیستم شبیه سازی شده نیز در چنین شرایطی علاوه بر درنظرگرفتن نتایج نمونه های آزمایشگاهی، با بررسی کیفیت شرایط کارگاهی و نحوه اجرای عملیات بتن ریزی و نگهداری از سازه بتنی، در مورد میزان مقبولیت بتن کارگاهی اظهارنظر نموده است.

همانگونه که مشاهده می شود، سیستم با بررسی نتایج نمونه های آزمایشگاهی قطعات بتنی D,C,A و همچنین با توجه به شرایط بسیار نامطلوب کارگاهی که از سوی مهندسان ناظر بر پروژه بیان شده است، میزان مقبولیت را مورد ارزیابی قرار داده و خروجی عددی ۱- را به عنوان عدم پذیرش قطعات بتنی ارائه نموده است. از سوی دیگر با توجه به اینکه بر اساس نتایج نمونه های آزمایشگاهی مخلوط بتنی منطبق بر رده مورد نظر می باشد، لذا سیستم با ارائه خروجی result = -1 در بلوک فازی پیشنهاد (S) بیان می کند که علیرغم مقبولیت مخلوط بتنی، عدم پذیرش بتن کارگاهی به دلیل نامطلوب بودن شرایط کارگاهی است. قطعه بتنی B نیز از یک سو به دلیل انطباق بر رده مورد نظر (با توجه به نتایج نمونه های آزمایشگاهی) و از سوی دیگر به سبب مناسب بودن شرایط کارگاهی و کیفیت مطلوب عملیات بتن ریزی و نگهداری از سازه بتنی، توسط سیستم مورد قبول تشخیص داده شده و خروجی عددی result = 1 به عنوان پذیرش بتن کارگاهی ارائه شده است.

یکسان بودن نتایج نهایی سیستم در هر یک از موقعیتهای تصمیم گیری علیرغم بیان متفاوت شرایط کارگاهی توسط دو مهندس ناظر بر پروژه حاکی از آن است که سیستم با استفاده از در نظر گرفتن خاصیت فازی برای مقادیر ارزشی و همچنین بیان متغیرهای کیفی و دارای عدم قطعیت در قالب منطق ریاضی، قادر است کیفیت شرایط کارگاهی را تشخیص داده و تصمیم صحیح و منطقی را

اتخاذ نماید. به عبارت دیگر سیستم به گونه ای شبیه سازی شده است که نسبت بـه تغییـرات انـدک مقادیر ارزشی که ممکن است به دلیل بیان متفاوت افراد مختلف وجود داشته باشد، حسـاس نبـوده و می تواند شرایط کارگاهی را منطبق بر منظور کاربران تشخیص دهد.

با توجه به نتایج نهایی ارائه شده توسط سیستم در هر یک از موقعیتهـای تصـمیم گیـری در مـورد قطعه بتنی و مقایسه آن با آنچه در واقعیت و همچنین توسط نتایج نمونه های کارگاهی بدست آمـده است، می توان مشاهده نمود که سیستم شبیه سازی شده این قابلیت و توانایی را دارد تـا بـه عنـوان یک سیستم هوشمند همانند یک مهندس خبره در مورد میزان مقبولیت سازه بتنی اظهارنظر نموده و تصمیمی صحیح و منطقی را اتخاذ نماید. همانگونه که در جدول مربوط به خروجیهای سیستم نشـان داده شده است در هر یک از موقعیتهای تصمیم گیری آنچه به عنوان تصمیم نهایی ارائه شـده اسـت، منطبق با نتایجی است که توسط آزمایش نمونه های به عمل آمده در کارگاه فراهم گردیده است. بـه عبارت دیگر سیستم شبیه سازی شده این امکان را فراهم می سازد تا بدون نیاز به تهیـه نمونـه هـای کارگاهی و مورد آزمایش قرار دادن آنها برای اطلاع از کیفیت نهایی بتن اجـرا شـده، تنهـا بـا تعریـف شرایط کارگاهی سازه مورد نظر و همچنین نتایج نمونه ای آزمایشگاهی بتوان در مورد میزان مقبولیت سازه بتنی تصمیم گیری نموده و کیفیت بتن اجرا شده را در شرایط کارگاهی به صورت کاملاً منطقی و منطبق بر دانش افراد خبره پیش بینی نمود.

فصل هجدهم

نتیجه گیری و چشم انداز آینده

۱۸-۱ مقدمه :

در بخش اول این تحقیق مبانی و مفاهیم بنیادی تئوری مجموعه های فازی و اصول حاکم بر سیستمهای فازی بطور اجمالی و مختصر مطرح گردید. همچنین با بیان تواناییها و قابلیتهای سیستمهای کنترل فازی در تجزیه و تحلیل مفاهیمی که به دلیل عدم قطعیت و قرار نگرفتن در قالب منطق کلاسیک، امکان بررسی آنها در سیستمهای کنترل متعارف میسر نیست، با توجه به وجود بسیاری از این مفاهیم در علوم مختلف مهندسی از جمله مهندسی عمران، مواردی از کاربرد این سیستمهای فازی در مهندسی عمران ارائه گردید. در بخش دوم نیز از یک سو با مطالعه عوامل مؤثر بر مقاومت نهایی بتن کارگاهی و بررسی ماهیت و ساختار آنها و از سوی دیگر با مطرح نمودن روشهای متعارف و رایج در نحوه پذیرش و یا عدم پذیرش سازه بتنی، مسئله میزان مقبولیت و کنترل کیفیت قطعه بتنی در قالب مفاهیم فازی بیان گردید. سپس با توجه به قابلیت سیستمهای فازی در پرداختن به چنین مفاهیمی با نظر گرفتن فرضیات منطقی، سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی بر اساس اصول حاکم بر سیستمهای فازی طراحی گردید تا در مورد میزان مقبولیت سازه بتنی تصمیمی صحیح و منطقی و منطبق بر دانش و تجربه را اتخاذ نماید و در نهایت به منظور کنترل نحوه عملکرد سیستم شبیه سازی شده با انجام آزمایشات در یک کارگاه بتن ریزی و همچنین استفاده از اطلاعات موجود در مورد پروژه های خاص، چگونگی تصمیم گیری توسط سیستم مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت.

در انتهای این رساله و در فصل حاضر خلاصه ای از مطالب ارائه شده و نتایج بدست آمده در این تحقیق در قالب نتیجه گیری مطرح خواهد شد. همچنین در بخش چشم انداز آینده با مطرح نمودن پیشنهادات و راهکارهایی که به نظر نگارنده می تواند در تکامل و پیشرفت سیستم شبیه سازی شده و همچنین استفاده بهینه از قابلیتهای سیستمهای فازی در کنترل کیفیت مؤثر باشد، زمینه ای را فراهم خواهیم نمود تا پژوهشگران و علاقه مندان به تحقیق و بررسی در مورد کاربرد سیستمهای کنترل فازی در صورت تمایل بتوانند از آن استفاده نمایند.

۱۸-۲ نتیجه گیری :

۱- بسیاری از مسائل مهندسی به حدی پیچیده اند که با روشهای متداول قطعی گرایانه، قابل حل نمی باشند. این پیچیدگی عمدتاً به علت عدم قطعیت، ابهام و گاهی نامشخص بودن بعضی شرایط و یا متغیرهاست. همچنین در مهندسی عمران، رواداری خطا تنها به علت قابل صرفه نظر بودن خطا نیست، بلکه در بعضی موارد به علت مسائل اجرایی و عملی می باشد. در این موارد، قضاوت شخصی مهندسین، فرضیاتی را که تحلیل و آنالیز بر آنها استوار است و همچنین تفسیر و نحوه استفاده از نتایج تحلیل را تحت الشعاع قرار می دهد. داده های فازی و غیر قطعی ممکن است در هندسه مسأله، خصوصیات مصالح، بارگذاری و یا شرایط تکیه گاهی یک سیستم موجود باشند. در روش اجزای محدود سنتی، فرض بر این است که کلیه مؤلفه های سیستم دقیقاً معین هستند. توسعه روشهای اجزای محدود تصادفی و یا احتمالی، مهندسین را قادر می کند که عدم قطعیت در هندسه مسأله و خصوصیات مصالح و همچنین بارگذاری سازه را بر اساس تئوری احتمال لحاظ کنند. در حالیکه اطلاعات کیفی و توصیفی با این روش نمی توانند به خوبی مدل سازی شوند. این اطلاعات تا حد زیادی کیفی و مبهم می باشند و با هیچ یک از روشهای موجود ورای منطق فازی، نمی توان آنها را همانگونه که هستند بکار برد.

۲- سیستم های فازی رهیافتهای ایده آلی برای شبیه سازی رفتار شخص خبره می باشند. یک مهندس عمران نیز یک شخص خبره است که این خبرگی را در دانشگاه نیاموخته است و به احتمال زیاد پس از دانشگاه نیز بدست نیاورده است، بلکه آن را در خلال سالها تجربه کاری از پروژه های مختلف دریافت کرده است. یکی از مهمترین جلوه های این خبرگی قضاوت مهندسی می باشد.

قضاوت مهندسی را می توان برآیند قوه منطق، استدلال و قابلیت تصمیم گیری هوشمندانه انسان و همراه داشتن تجربیاتی چند دانست. به کمک قضاوت مهندسی یک مهندس خبره می تواند مشکلاتی را حل کند که در ظاهر به نظر می آید، اطلاعات کافی برای حل آن موجود نیست و یا رسیدن به جواب صحیح نیازمند روندی طولانی و شاید همراه با آزمون و خطاهای بسیار باشد.

شاید یک مهندس خبره بتواند بخشی از این مهارت را به شکل قوانین زبانی به دیگران منتقل کند. اما قسمت اعظم این خبرگی مبتنی بر درک حسی می باشد که قابل انتقال نیست. در چنین مواردی با مشاهده واکنش مهندس در شرایط مختلف و ثبت آنها می توانیم به کمک یک الگوریتم یادگیری تحت نظارت، یک سیستم فازی را تعلیم دهیم. نتیجه، مجموعه ای از قوانین و متغیرهای زبانی است که به سادگی قابل انتقال به دیگران می باشند. همچنین معلومات قطعی و قبلی ما در موضوع مورد مطالعه، به راحتی قابل اضافه کردن و ترکیب کردن در این پایگاه قوانین است که می تواند همگرایی روند یادگیری را تسهیل کند. علاوه بر این در مواردی مانند معرفی یک یافته جدید در موضوع مورد مطالعه، چون سیستم به صورت قوانینی از متغیرهای زبانی است به راحتی می توان تغییر مورد نظر را در آن ایجاد نمود.

این پایگاه قواعد نه تنها از لحاظ انتقال مهارت و خبرگی مفید است، بلکه با استفاده از آن به عنوان یک سیستم فازی و بکارگیری استدلال فازی، می توان واکنش مناسب نسبت به یک وضعیت را از سیستم دریافت نمود.

۳- مسئله کنترل کیفیت بتن کارگاهی یکی از جمله مواردی است که قضاوت مهندسی در آن نقش به سزایی را ایفا می نماید. تصمیم گیری در مورد میزان مقبولیت سازه بتنی و صدور حکم قطعی در مورد پذیرش و یا عدم پذیرش آن امری است که نمی توان بدون در نظر گرفتن کلیه پارامترهای مؤثر بر ظرفیت باربری بتن در مورد آن اظهارنظر نمود. از سوی دیگر بسیاری از عوامل مؤثر بر مقاومت نهایی بتن کارگاهی دارای ماهیتی کیفی و همراه با عدم قطعیت در بیان و توصیف می باشند، لذا صورت بندی آنها در قالب اصول ریاضیات و منطق کلاسیک تقریباً غیرممکن است. ضوابط و مقررات کنترلی که در آیین نامه های بتن نیز به آن اشاره شده است، تنها توصیه هایی است که بر لزوم رعایت نکات خاص تأکید نموده می نماید و صرفه نظر از روابط ریاضی کنترلی مربوط به مقاومت فشاری، آیین نامه ها نیز به سبب ماهیت کیفی و عدم قطعیت موجود در سایر پارامترها از

بیان دقیق میزان تأثیر آنها عاجز و ناتوان می باشند. از سوی دیگر بررسی و کنترل کیفیت بتن کارگاهی و تشخیص انطباق بتن بر رده مورد نظر بر اساس روابط موجود در آیین نامه در مواردی که مشخصات بتن در شرایط مرزی قرار می گیرد و نمی توان به آسانی در مورد مقبولیت آن اظهارنظر کرد نیز از جمله مواردی است که ممکن است در صورت عدم اتخاذ تصمیم صحیح و منطبق بر واقعیت، خسارات جبران ناپذیری را به همراه داشته باشد. در چنین مواردی تنها این قضاوت مهندسی است که به عنوان راهکار نهایی مورد استفاده قرار می گیرد و با تجزیه و تحلیل مبتنی بر دانش، مهارت و تجربه از بروز خسارات احتمالی جلوگیری می نماید.

۴- آنچه امروزه در بسیاری از کارگاههای بتن ریزی به عنوان فرایند تصمیم گیری در مورد سازه بتنی مورد استفاده قرار می گیرد، استفاده از نتایج آزمایش بر روی نمونه های بتنی می باشد که در شرایط استاندارد آزمایشگاهی نگهداری می شوند و این در حالی است که بتن اجرا شده در کارگاه به سبب رویارویی با شرایط مختلف کارگاهی و قرار گرفتن در معرض حوادث و اتفاقاتی که در کارگاه رخ می دهد، ممکن است بسیاری از ویژگیها و تواناییهای خود را از دست داده و علیرغم مطلوب بودن نتایج نمونه های آزمایشگاهی هرگز دارای مقبولیت مورد انتظار نباشد. بنابراین به نظر می رسد که صدور حکم یکسان و قطعی در مورد دو سازه که دارای سرنوشتهای متفاوت و مجزا می باشند (بتن کارگاهی و نمونه های آزمایشگاهی)، امری نادرست و غیرمنطقی می باشد. مطمئناً در چنین شرایطی یک مهندس خبره و با تجربه در هنگام تصمیم گیری در مورد میزان مقبولیت بتن کارگاهی تنها بر روابط و ضوابط کنترلی موجود در آیین نامه اکتفا نخواهد کرد و با استفاده از مهارت و تجربه ای که در طول سالیان دراز کسب نموده است، با بررسی و ارزیابی سرنوشتی که بتن کارگاهی در مسیر کسب مقاومت نهایی خویش در کارگاه با آن روبرو شده است، تصمیم نهایی را اتخاذ خواهد نمود.

۵- به منظور بررسی و ارزیابی میزان تأثیر شرایط کارگاهی بر ظرفیت باربری نهایی سازه بتنی، در یک کارگاه بتن ریزی نمونه های کارگاهی تهیه گردید و مورد آزمایش قرار گرفت، همچنین با جمع آوری اطلاعات از یک کارگاه بتن ریزی، نتایج نمونه های کارگاهی تهیه شده در آن مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که عدم مطلوبیت شرایط کارگاهی و نامناسب بودن کیفیت عملیات بتن ریزی و نگهداری از سازه بتنی می تواند به میزان قابل توجهی (حتی تا

۴۰٪) باعث کاهش ظرفیت باربری نهایی قطعه بتنی شده و سبب گردد تا علیرغم مطلوبیت نتایج نمونه های آزمایشگاهی، بتن اجرا شده در کارگاه مورد پذیرش قرار نگیرد. همچنین بتن اجرا شده در شرایط کارگاهی مناسب و برخوردار از شیوه های مطلوب نگهداری و عمل آوردن، با تقلیل ظرفیتی تنها به میزان حدود ۵٪ همچنان مقبولیت خود را حفظ کرده و مورد پذیرش می باشند.

۶- با توجه به تواناییها و قابلیتهای منطق فازی در فرموله کردن دانش افراد خبره در قالبی مشابه مدلهای ریاضی و تجزیه و تحلیل مفاهیم دارای عدم قطعیت و همچنین بهره مندی سیستمهای کنترل فازی از خاصیت رواداری خطا و اتخاذ تصمیم صحیح و منطقی در شرایط مرزی، طراحی و ساخت یک سیستم کنترل فازی به منظور تعیین میزان مقبولیت بتن کارگاهی در این تحقیق مورد بررسی و ارزیابی قرا گرفته و سیستمی مبتنی بر اصول سیستمهای کنترل فازی شبیه سازی گردید.

۷- پس از طراحی و شبیه سازی سیستم کنترل فازی پذیرش بتن کارگاهی به منظور کنترل عملکرد آن در شرایط معمولی که تعیین میزان مقبولیت بتن کارگاهی توسط ضوابط آیین نامه به آسانی امکان پذیر است، شرایط مختلفی از موقعیتهای تصمیم گیری برای سیستم تعریف گردید و نتایج بدست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با بررسی نتایج بدست آمده از سیستم شبیه سازی شده و مقایسه آن با نتایجی که بر اساس ضوابط آیین نامه حاصل گردید، صحت عملکرد سیستم در موقعیتهای تصمیم گیری در شرایط معمولی کنترل گردید.

۸- پس از اطمینان از صحت عملکرد سیستم در شرایط معمولی، میزان مقبولیت بتن کارگاهی در شرایطی مرزی که صدورحکم نهایی تنها بر اساس دانش افراد خبره و قضاوت مهندسی امکان پذیر است، توسط سیستم ارزیابی گردید. برای رسیدن به این هدف با در اختیار داشتن نتایج نمونه های کارگاهی مورد آزمایش و همچنین تصمیم اتخاذ شده توسط مهندسان خبره در موقعیتهای تصمیم گیری، مقبولیت قطعات بتنی مورد نظر توسط سیستم شبیه سازی شده تعیین گردید و با نتایج بدست آمده از نمونه های کارگاهی و همچنین تصمیم اتخاذ شده توسط مهندسان خبره مقایسه گردید. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که سیستم شبیه سازی شده قادر است به عنوان یک سیستم هوشمند بدون نیاز به نتایج نمونه های کارگاهی با بررسی نتایج نمونه های آزمایشگاهی و همچنین کیفیت شرایط کارگاهی موجود همانند یک مهندس خبره در مورد میزان مقبولیت بتن اجرا

شده تصمیمی صحیح، منطقی و مبتنی بر دانش و تجربه را اتخاذ نماید. به عبارت دیگر تصمیمی که سیستم شبیه سازی شده به عنوان پذیرش و یا عدم پذیرش بتن کارگاهی ارائه می نماید، منطبق بر تصمیمی است که برای رسیدن به آن، نیازمند تهیه نمونه های کارگاهی و تجزیه و تحیل نتایج بدست آمده از آزمایش بر روی آنها هستیم.

۹- با توجه به کاهش شدید ظرفیت باربری قطعات بتنی به دلیل شرایط نامطلوب بتن ریزی و نگهداری از سازه بتنی به نظر می رسد که قوانین مورد استفاده در دستگاههای نظارت به منظور تعیین میزان مقبولیت بتن کارگاهی از صحت و دقت کافی و مطلوب برخوردار نمی باشد. همانگونه که مطرح گردید در اکثر دستگاههای نظارت مخلوط بتنی را که بر اساس نتایج مقاومت نمونه های آزمایشگاهی تقریباً ۸۵٪ مقاومت مشخصه را فراهم آورد پذیرفته و تنها پیمانکار را جریمه می نمایند، حال فرض کنید که به دلیل نامطلوب بودن شرایط کارگاهی بتن اجرا شده دچار کاهش ظرفیتی به میزان ۳۰٪ گردد، مطمئناً چنین سازه ای هرگز تواناییهای مورد انتظار را فراهم نخواهد نمود.

۱۸-۳ چشم انداز آینده :

۱- همانگونه که مطرح گردید پارامترها و عوامل فراوانی در کیفیت نهایی بتن کارگاهی و میزان مقبولیت آن مؤثر می باشند، بررسی چگونگی تأثیر کلیه این پارامترها نیازمند انجام آزمایشات متعدد و همچنین صرف وقت و هزینه های فراوانی است که با توجه به محدودیتهای موجود در این تحقیق پرداختن به همه این موارد امری دشوار و تقریباً غیرممکن است. به عنوان مثال بررسی تأثیر دقیق شرایط آب و هوایی در میزان کیفیت نهایی سازه بتنی تنها با انجام آزمایشات متعدد در مناطق مختلف جغرافیایی و درزمانهای متفاوت از سال امکان پذیر است، لذا به منظور افزایش تواناییها و قابلیتهای سیستم فازی شبیه سازی شده و کاربردی کردن آن در تعیین میزان مقبولیت سازه بتنی می توانیم با انجام آزمایشهای لازم و بررسی دقیق چگونگی تأثیر هر یک از پارامترها زمینه استفاده از سیستمهای هوشمند فازی را در امر کنترل کیفیت بتن فراهم نماییم.

۲- در سیستم فازی شبیه سازی شده به منظور تعیین میزان مقبولیت سازه بتنی بر اساس اصول حاکم بر سیستمهای فازی، کلیه پارامترهای مؤثر تنها در یک بلوک فازی مورد ارزیابی قرار گرفته اند و تجزیه و تحلیل اطلاعات بر اساس پایگاه قواعدی صورت می گیرد که شامل قوانین منطقی مبتنی بر ارتباط میان نتایج آزمایشگاهی و شرایط کارگاهی است. با توجه به میزان تأثیر هر یک از پارامترهای موجود در متغیرهای کیفیت عملیات بتن ریزی و نگهداری از سازه بتنی و نقش آنها در تعیین میزان مقبولیت بتن کارگاهی، به نظر می رسد که می توان شرایط کارگاهی را بصورت مجزا در یک بلوک فازی بررسی نمود و سپس نتایج آن را در تقابل با نتایج آزمایشگاهی مورد استنتاج فازی قرار داد. بدین ترتیب می توان از اطمینان و دقت بیشتری در هنگام استفاده از نتایج سیستم فازی بهره مند گردید. برای رسیدن به این هدف لزوم تحقیقات و انجام آزمایشهای خاص برای تعیین میزان تأثیر هر یک از این پارامترها در کیفیت شرایط کارگاهی و نیز تشکیل پایگاه قواعد فازی مطلوب ضروری خواهد بود.

۳- در پایگاه قواعد فازی سیستم شبیه سازی شده با توجه به اصول حاکم بر سیستمهای فازی و اجزای تشکیل دهنده آن از قواعد اگر- آنگاه فازی استفاده شده است که بر اساس بهره گیری از دانش افراد خبره و صورت بندی آن در قالب اصول منطقی فازی به تجزیه و تحلیل می پردازد، به عبارت

دیگر پایه و اساس طراحی و استنتاج فازی در این سیستم در موقعیتهای تصمیم گیری استفاده از قواعد اگر- آنگاه فازی می باشد که از تجربه و مهارت افراد خبره مبتنی بر دانش و تخصص فراهم گردیده است. یکی دیگر از تواناییها و قابلیتهای سیستم فازی امکان ترکیب نمودن آنها با سیستمهای مبتنی بر شبکه های عصبی می باشد. سیستم ترکیبی حاصل که نوروفازی نامیده می شود شرایطی را ایجاد می نماید که در آن می توان علاوه بر استفاده از پایگاه قواعد فازی مبتنی بر قواعد اگر- آنگاه در تجزیه و تحلیل مفاهیم، از زوجهای ورودی و خروجی نیز در استنتاج استفاده نمود. این زوجهای ورودی و خروجی عبارت است از مقادیری که از آزمایشهای مختلف با توجه به اطلاعات ورودی، مقادیر خروجی حاصل گردیده است، اما نحوه ارتباط میان آنها و یا چگونگی تجزیه و تحلیل آن مشخص نمی باشد. بدین ترتیب می توان با طراحی و ساخت یک سیستم نوروفازی از یک سو با بهره گیری از دانش افراد خبره در پایگاه قواعد فازی و از سوی دیگر با استفاده از زوجهای ورودی و خروجی معین، سیستمی را تعلیم داد که در تجزیه و تحلیل مفاهیم از دقت و قدرت بیشتری برخوردار است.

آنچه در این تحقیق به عنوان سیستم فازی پذیرش بتن کارگاهی مورد طراحی و ساخت قرار گرفته است، ارائه فرضیات، پیشنهادات و روشهایی است که توسط آن می توان از قابلیتها و تواناییهای سیستم های هوشمند مبتنی بر منطق فازی در بسیاری از مفاهیم همراه با عدم قطعیت در مهندسی عمران از جمله کنترل کیفیت بتن استفاده نمود. بدون شک تکامل و پیشرفت این سیستم به منظور ایجاد یک نرم افزار کاربردی در زمینه کنترل کیفیت بتن، نیازمند مطالعات و تحقیقات بیشتر و انجام آزمایشهایی است که امید است با پیدا شدن جایگاه شایسته منطق فازی در محافل مهندسی در آینده ای نه چندان دور فراهم شده و گامی نو در جهت بهبود و اصلاح بسیاری از ضوابط آیین نامه ای پدیدار گردد.

« پایان »

References: منابع و مراجع :

1- A. Aliev et al, "Fuzzy set theory and Application", Tabriz Univ. Tabriz, IRAN (1993).

2- A. Aliev and R. Kenarangi eds, "Applications of fuzzy systems", proceeding of "International Conference of the Applications of Fuzzy Systems, ICAFS", October 17-19, Tabriz Univ., IRAN (1994).

3- Bernard, J. A. "Use of rule-based system for process control", IEEE Contr. Syst. Mag. 8: 3-13 (1988).

4- C. C. Lee,"Fuzzy logic in control system", Man, and Cybernetics; March | April (1990)

5- "Deisign of fuzzy logic controllers based on generalized T-operators", FSS 40:473-489-(1991).

6- Di Nola, A. S. Sessa, W. Pedrucs, and E. Sanchez, "Fuzzy Relation Equations and Their Applications to Knowledge Engineering", Kluwer, Boston, (1989).

7- D. Ruan and E. E. Kerre, "Fuzzy implication operators and generalized fuzzy method of cases", FSS 54: 23-37 (1993).

8- "Fuzzy sets theory and its Applications", Kluwer Academic Publishers, Boston, (1991).

9- H. J. Zimmermann," Fuzzy sets, Decision Making, and Expert System", Kluwer Academic Publishers, Boston,(1987).

10- Kamyar Haghighi,E.Kang, G.W. Krutz ,E.C. Ting, J. R. Rice and Wakwok,"Intelligent and Fuzzy Logic Finite Element Modeling and Analysis",

11- S. Valliappan T.D. Pham, Univercity of New Sout Wales," Fuzzy Finite Elemenet Analysis of a Foundation on a Elastic Soil Medium" International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Vol. 17,1993,pp.771-789

12- S. P. Stoeva, "A weight learning algorithm for fuzzy production systems with weighting coefficients", FSS 48: 87-97 (1992).

۱۳-*Wang, P. P., "Advances in Fuzzy Theory and Technology", Vol. I, Bookwrights Press, Durham, NC. (۱۹۹۳)*

۱۴- آشنایی با نظریه مجموعه های فازی- تألیف : سید محمود طاهری، دانشگاه صنعتی اصفهان، چاپ دوم، پاییز ۱۳۷۸

۱۵- آیین نامه بتن ایران (آبا)- بخش اول- معاونت امور فنی و دفتر امور فنی و تدوین معیارها، نشریه ۱۲۰، انتشارات سازمان برنامه وبودجه، ویرایش دوم، چاپ ششم، ۱۳۷۸

۱۶- آیین نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله (آیین نامه ۲۸۰۰)- ویرایش دوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، پاییز ۱۳۷۶، ۱۵۲ص، چاپ دوم

۱۷- بتن شناسی (خواص بتن)- تألیف پروفسور نویل (*Adam. M Nevill*)- ترجمه دکتر هرمز فامیلی- ناشر جهاد دانشگاهی دانشگاه علم و صنعت ایران

۱۸- بتن در کارگاههای ایران- تألیف سیاوش کباری- انتشارات دانش و فن، چاپ اول ۱۳۸۰

۱۹- سیستم های فازی و کنترل فازی- نوشته : لی وانگ- ترجمه : محمد تشنه لب- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، چاپ دوم، مهرماه ۱۳۸۰

۲۰- کاربرد مطلب و سیمولینک در مهندسی- نوشته : موهند مختاری، میشل ماری- ترجمه وحید صمدی بخارایی، انتشارات خراسان، چاپ اول، ۱۳۸۰

۲۱- کاربرد مجموعه های فازی در مهندسی عمران- نگارش مهندس حسین بابایی، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲۲- مشخصات فنی و عمومی کارهای ساختمانی- معاونت امور فنی وتدوین معیارها، انتشارات سازمان برنامه و بودجه، تجدید نظر اول، ویرایش دوم، چاپ پنجم، ۱۳۷۹

۲۳- مطالعات مربوط به نمونه های عملی در بخش مجمومه مسکونی از شرکت ساختمانی زیست عمران واقع در شهرستان مشهد

۲۴- مطالعات مربوط به نمونه های عملی در بخش هتل از شرکت مشاوره شورا واقع در شهرستان مشهد

Abstract :

Current criteria for acceptance of the concrete quality is based on the compression tests carried out on the samples which are acquired from the fresh concrete in the site. These samples are then kept in the laboratory standard conditions for a certain time and their strengths is measured in a compression test. But the concrete mix that is used in site and the sample that is kept in laboratory standard conditions get two different destinies and their maximum strength is achieved in completely different conditions from each other. The effect of parameters and field curing conditions on the strength of the concrete is significant. Therefore it is logical that the acceptance of the quality of concrete structures to be based not only on the result of the tests on the samples, but also based on an assessment of the field curing conditions.

By this way we avoid misjudgments which may happen due to equaling qualifiy of two different pieces of concrete which have two different curing enviroment. On the other hand many parameters on the concrete strength such as curing condition have a qualitative and unrigorous nature so we can't describe them by conventional mathematical models and concrete codes are not rigorous and definite about measurement of there parameters.

According to the ability of the fuzzy systems in infrencing and deciding in uncertain conditions and also the ability of these systems in modeling vague concepts, in this research an expert fuzzy system is designed for acceptance of the concrete. This fuzzy system takes into account rigorous and measurable variables as well as unrigorous and vague variables and uncertain conditions and makes a logical decision that compose of knowledge, experience and skill.

Keywords : concrete, quality control, fuzzy logic, fuzzy system

Shahrood University of
Technology

Title :

A Fuzzy System for Acceptance of Concrete Quality

By :
Yaser Mostashari

Supervisor :
Dr. A. Keyhani

Co-Supervisor :
Dr. M. Talebzadeh

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science at Shahrood University

Faculty of Engineering,
Civil Engineering Department

November 2005