

## مقدمه ای بر کنترل فازی و پیاده سازی کنترل فازی برای جرثقیل های بندرگاه ها

سمانه احمدی نژاد  
بخش مهندسی برق  
دانشکده فنی دانشگاه شهید باهنر کرمان

ایمان مهدیان  
بخش مهندسی برق  
دانشکده فنی دانشگاه شهید باهنر کرمان  
Iman\_Mahdian@yahoo.com

**چکیده:** در این مقاله ابتدا گذری بر تاریخچه منطق فازی می کنیم و سپس به بررسی کنترل فازی و مفاهیم اساسی آن و همچنین کاربرد آن در صنایع و تکنولوژی نوین امروزی می پردازیم و به پیاده سازی سیستم کنترل فازی جهت بهینه سازی کار کرد جرثقیل های حمل بار در بندرگاهها خواهیم پرداخت.

**کلمات کلیدی:** منطق فازی ، کنترل ، تابع ، Crane Head

### ۱- مقدمه:

شروع منطق فازی به سال ۱۹۶۵ بر می گردد . این مطلب در آمریکا توسط لطفی زاده، پروفیسور نظریه سیستم ها در دانشگاه برکلی کالیفرنیا انتشار یافت. از آن تاریخ تا کنون تاریخ منطق فازی از نمونه های مختلفی از تکنولوژی اخیر تبعیت کرده است . زمانی که مفاهیم منطق فازی در آمریکا منتشر شد . موضوع با منتقدین زیادی روبرو شد . ایراد اساسی که در آن زمان از منطق فازی گرفته شد ، این بود که راه عملی برای پیاده سازی آن در صنعت وجود نداشت که امروزه این مشکل برطرف شده است .

حتی امروز که صدها موارد موفقیت آمیز کاربرد منطق فازی ارزش آنرا اثبات کرده است . تعدادی از دانشمندان هنوز این مفهوم را محکوم می کنند .

لطفی زاده این دیدگاه ها را به قانون چکش تشبیه کرده است . که بیان می کند اگر شما چکشی را در دستتان بگیرید و آن تنها ابزارتان باشد همه چیز برایتان مانند سوزن به نظر می رسد.

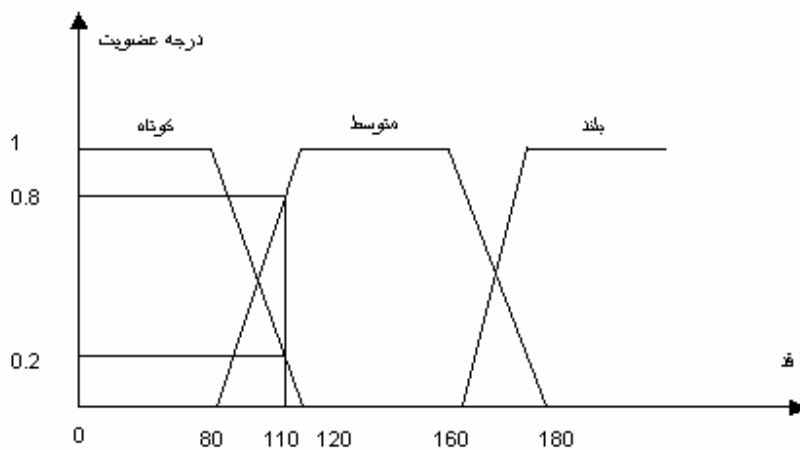
کنترل فازی، گسترش درستی از کنترل کننده های خطی است که هر چیزی که توسط تکنولوژی های رایج طراحی و کنترل شود توسط منطق فازی قابل ساخت است. اولین کاربرد صنعتی منطق فازی بعد از سال ۱۹۷۰ در کالج Queen Mary در لندن توسط ابراهیم همدانی برای کنترل ژنراتور بخار بود و از سال ۱۹۸۰ به بعد منطق فازی وارد ژاپن شد و

مهندسين ژاپني از اين تئوري در جهت توليد سريع نمونه اصلي و بهبود كيفيت محصول استفاده كردند تا اينكه دولت ژاپن تمام نيروهاي خود را با شركت هاي بزرگ يكي كرد تا برنامه اي جهت انتقال تكنولوژي خود را عملي سازد.

## ۲- شرح مقاله:

### ۱-۲ مفاهيم اساسي :

در منطق كلاسيك ، يك عنصر يا متعلق به يك مجموعه هست يا نيست . به عبارت ديگر درجه عضويت هر عنصر در يك مجموعه مفروض يا صفر و يا يك ، اما در منطق فازی درجه عضويت هر عنصر بين صفر و يك است . به عنوان مثال، دسته بندي افراد بر اساس قد است كه به سه مجموعه فازی بلند ( $T$ )، متوسط ( $M$ ) و کوتاه ( $S$ ) است .



تابع متعلق يك مجموعه فازی ، درجه عضويت يك عنصر در آن مجموعه را مشخص مي كند . مثلاً با توجه به شكل فوق فردي به قد ۱۱۰ داراي درجه ۰،۲ در مجموعه کوتاه و ۰،۸ در مجموعه متوسط است .يعني اين فرد ۲۰٪ کوتاه و ۸۰٪ متوسط است .

### ۲-۲ اصول رياضي عدم اطمینان :

بسياري از قواعد رياضي با شرحي از عدم اطمینان سرو كار دارد . مانند نظريه احتمالات نظريه اطلاعات و نظريه مجموعه فازی . بسيار راحت خواهد بود كه آنها را با نوع عدم اطمیناني كه بيان مي كند طبقه بندي كنيم . در اين بخش بحث را فقط به دونوع عدم اطمینان مطرح مي كنيم : اتفاقي و گفتاري .

عدم اطمینان اتفاقی: عدم اطمینان اتفاقی با تردید در رویداد یک واقعه معین سر و کار دارد. به بیان یک توجه کنید: بیان ۱: احتمال اصابت به هدف ۰,۸ است.

خود رویداد اصابت به هدف کاملاً شناخته شده است. عدم اطمینان این بیان این است که آیا به هدف برخورد می کند یا خیر. عدم اطمینان با درجه احتمال آن مشخص شده است. در مورد بیان ۱ درجه احتمال ۰,۸ است. بیانهایی مانند این یا در Bayesian بیانهای دیگر که از روشهای اتفاقی استفاده کرده اند می تواند ترکیب و اجرا شود. مانند ریاضیات احتمالات شرطی. عدم اطمینان گفتاری:

انواع گوناگونی از عدم اطمینان در گفتار انسان وجود دارد که اصطلاحاً به آن عدم اطمینان گفتاری گویند. این نوع عدم اطمینان با ابهام که ذات اکثر کلمات بشر برای ارزیابی مفاهیم و نتیجه گیری از آن وجود دارد سرو کار دارد. به عبارت دیگر مانند "مردان بلند قد" و "روزهای گرم" یا "پولهای رایج پایدار" توجه کنید بدون توصیف دقیق آنها بلند قد بودن انسان به عوامل زیادی بستگی دارد. یک کودک برداشت دیگری از یک انسان بلند قد دارد تا یک جوان. همچنین زمینه و سابقه شخصی که مورد ارزیابی قرار می گیرد نیز در اینجا نقش دارد. حتی یک معنی دقیق که به یک فرد بلند قد گفته می شود برای فرد خاصی وجود ندارد هیچ قانونی وجود ندارد که تعیین کند مرز بلند قد بودن چیست. این به آن معنی نیست که فرضاً اگر قانونی بگوید انسانهای بلندتر از ۱۹۰ سانتیمتر بلند قداند، پس فرد با ۱۸۵ سانتیمتر قد به هیچ وجه بلند قد نیست.

علمی که در رابطه با ارزیابی بشر از مفهوم و در نتیجه تصمیم گیری بحث می کند زبان شناسی زبان نام دارد. ثابت شده است بشر عبارات را به عنوان مقوله وایسته به طرز تفکر شخص بکار می برد کاربرد این مقوله های موضوعی اشیاء جهان واقعی را با درجه که آنها معیار را فراهم می کنند مورد ارزیابی قرار می دهد. حتی بیشتر مفاهیمی که بطور جامع تعریف نشده اند بشر آنها را مورد ارزیابی جدی قرار می دهد که مبتنی به عوامل گوناگون است. با استفاده از مفاهیم و تفکرات آنالیزی تعداد کمی از جملات مفهوم بغرنج خود را بیان می کنند که مدل کردن آنها با معیارهای ریاضی بسیار مشکل است. به بیان ۲ توجه کنید.

بیان ۲: ما احتمالاً سال مالی خوبی خواهیم داشت.

در نگاه اول بیان ۲ بسیار شبیه بیان ۱ است. هر چند که اختلاف قابل توجهی وجود دارد. اولاً خود پیشامد بطور واضح بیان نشده است. برای بعضی از شرکتها سال موفق مالی به این معنی است که آنها ورشکستگی را به تعویق بیندازند. برای بعضی دیگر به این معنی است که آنها سود بیشتر از سال گذشته داشته باشند. حتی برای شرکتی ممکن است هیچ آستانه ثابتی که معرف داشتن یا نداشتن سال مالی موفق باشد وجود نداشته باشد. لذا مفهوم سال مالی موفق یک موضوع وابسته به معلومات تجربی و طرز تفکر شخص می باشد.

اختلاف دیگر در تعریف بیان احتمال است. در حالی که در بیان ۱ احتمال بصورت ریاضی بیان شده است. در بیان ۲ درجه احتمال بیان نشده است. اگر کسی بگوید که بعضی از انواع هواپیما احتمال مشکلاتی خواهند داشت احتمال واقعی ممکن است زیر ۱۰٪ باشد که هنوز به این مهم حق میدهم. اگر شخصی بگوید کیفیت غذا در بعضی از رستورانهای گران قیمت خوب است. احتمال واقعی میتواند بیشتر از ۹۰٪ باشد. لذا احتمال توصیف شده در بیان ۲ یک احتمال احساسی است. در بیان ۲ تعبیر احتمال مانند عبارت مردان بلند قد یک مبحث وابسته به طرز تفکر می باشد.

## ۲-۳ مدل کردن عدم اطمینان زبانی:

عبارات که از مقوله وابسته به عملیات تجربی استفاده می کنند. مانند بیان ۲ نقش بزرگی را در پروسه های تصمیم گیری انسان بازی می کند بازی می کند. با وجود اینکه این عبارات بصورت کمی بیان شده است، انسان آنها را بطور موفق برای سنجش پیچیده مسائل استفاده می کنند. در بسیاری از موارد عدم اطمینانی که در گفتارها پدید می آید قابل انعطاف است.

انعطاف که در کلمات وجود دارد بطور وسیع در جامعه وجود دارد. در بیشتر جوامع غربی سیستم قانونی عبارت است از تعداد مشخصی از قوانین که هر کدام وضعیت مختلفی را بیان می کند. مثلاً یک قانون بیان می کند که شخصی که یک ماشین دزدیده با دو سال زندان مجازات شود. قانون دیگر ممکن است تخفیفی قایل شود. در یک مورد در دادگاه قاضی باید تعداد روزهای زندانی یک ماشین دزد را مشخص کند. در حالیکه دزد به الکل اعتیاد داشته باشد دوران کودکی بدی را پشت سر گذاشته باشد و چند روز قبل همسرش او را تنها گذاشته باشد. چون قانون مخصوصی در این مورد وجود ندارد، قاضی باید تمام قوانین قابل اجرا و مناسب را کنار هم گذاشته و یک تصمیم نسبتاً خوب را استنتاج نماید. این تنها راه ممکن است که به خاطر قابل انعطاف بودن عبارات و گفتار ذکر شده در هر قانون میسر است.

## ۲-۴ منطق فازی به عنوان مدل توسعه یافته ریاضی :

برای اینکه منطق بشری را با روشهای مهندسی ارائه دهیم به یک مدل ریاضی نیاز داریم. منطق فازی مانند مدل ریاضی توسعه یافته است. که به ما اجازه می دهد تصمیمات انسان و پروسه های سنجشی را با به شکل الگوریتمی ارائه دهیم. محدودیت هایی برای کار منطق فازی وجود دارد. قلمرو کامل تفکر انسان تخیل و قدرت خلاقیت او را نمی توان با منطق فازی پیاده سازی کرد. با وجود این، منطق فازی نمی تواند راه حل مسئله ای که از طریق دستوراتی که برای موارد مشابه معین شده است را بیابد. بنابراین اگر بتوانیم اجرای مطلوب یک سیستم تکنیکی را از طریق دستورات خاص توصیف کنیم، منطق فازی بطور موثر این شناخت را جهت حل آن بکار می برد.

## ۲-۵ نظریه منطق فازی در مقابل نظریه احتمالات :

افرادی که با نظریه احتمالات بطور وسیع کار می کنند. بطور خاص سودمندی منطق فازی را در کاربردها انکار کرده اند. آنها ادعا می کنند تمام انواع عدم اطمینان را نمی توان با نظریه احتمالات بیان کرد. ترجیحاً برای بحث روی اینکه آیا این ادعا درست است و یا مورد دیگری از قانون چکش است. که قبلاً ذکرش شد. به مثال ۱ توجه کنید :

مثال ۱ : بیمارانی که از بیماری هپاتیت رنج می برند. نشان می دهند که ۶۰٪ آنها تب بالا دارند و ۴۵٪ تمام آنان پوست شان متمایل به زرد است. و ۳۰٪ همه آنان حالت تهوع دارند.

اگر شما چنین اظهاری را در کتابی می دیدید و بخواهید آنرا در سیستمی پیاده کنید. در نگاه اول ساده می آید. اگر Bayesian مریدی داشته باشید که از تب بالا و تهوع رنج می برد ولی پوستش رنگ عادی دارد. با استفاده از ریاضیات احتمال دهید که بیمار عفونت هپاتیت دارد. گر چه بسیار ساده به نظر می رسد اما مشکل از آنجا شروع می شود که تب بالا را تعریف کنیم. اگر کتابهای پزشکی را بخوانید و یا از پزشکان بپرسید مطمئناً جواب مشترکی نخواهید گرفت. حتی اگر اکثر پزشکان روی دمای حدود ۳۹ درجه سانتیگراد توافق داشته باشند این به این معنی نیست که بیمار با دمای ۳۸.۷ درجه اصلاً تب ندارد در حالیکه بیمار دیگر با دمای ۳۹.۵ تب بالا دارد.

اگر یک مرز برای تب بالا وجود داشته باشد حالت عکس آن نیز وجود دارد. اگر این موارد درست باشد می توانید دمای بدنتان را بیش از پنج بار اندازه بگیرید و از دکتر انتظار داشته باشید که به شما بگوید فقط با استفاده از این اطلاعات بسیار دقیق از کدام بیماری رنج می برید. از طرفی دکتر ممکن است بیماری را نه از طریق دقت یک پارامتر بلکه از سنجش بسیاری از پارامترهای گوناگون بیماری را تشخیص دهد. در اینجا دقت هر پارامتر نیست که کیفیت نتیجه را مشخص می کند بلکه بیشتر پارامترها سهیم هستند. اگر پزشکی از شما بپرسد که آیا شب عرق ریزی دارید. او بیشتر علاقه مند به این باشد که زیادی و کمی را بداند نه اینکه مقدار دقیق آنرا بخواهد.

همانطور که مثال ۱ بیان می دارد عدم اطمینان اتفاقی و عدم اطمینان گفتاری دو ماهیت مختلف هستند. عدم اطمینان اتفاقی با عدم اطمینانی سروکار دارد که آیا یک رویداد مشخص رخ می دهد یا خیر؟ و نظریه احتمال به شما اجازه می دهد که آنرا مدل کنید. عدم اطمینان گفتاری با عدم اطمینانی که از تعریف خود رویداد بر می آید سروکار دارد. این نوع را نمی توان با نظریه احتمال مدل کرد. بدلیل اینکه ترکیب مقوله وابسته به طرزتفکر در پروسه های تصمیم گیری انسان قواعد کلی آنرا رعایت نمی کنند.

## ۲-۶ تکنولوژیهای منطق فازی :

در طول ۳۰ سال گذشته تعداد زیادی روشها که از منطق فازی استفاده می کنند توسعه داده شده است. این بخش به توسعه منطق فازی به اصطلاح مبتنی بر دستور محدود شده است. تقریباً تمام کاربردهای اخیر منطق فازی روی این اساس پایه گذاری شده است. پیرامون این مسئله مثال کنترل صندوق جرثقیل است که در ادامه به آن می پردازیم.

در این مقاله به بررسی کنترل فازی جهت کنترل جرثقیل بندرگاهها می پردازیم.

جرثقیل ها برای بار کردن و خالی کردن صندوق ها (بار) از بندرگاهها به کشتی و بالعکس مورد استفاده قرار می گیرند. آنها صندوق ها را با استفاده از کابل های قابل انعطاف که روی crane head قرار دارند بلند می کنند که crane head روی یک خط آهن افقی حرکت می کند. هنگامی که صندوق توسط جرثقیل بلند می شود و crane head شروع به حرکت می کند، صندوق نوسان می کند و چنانچه صندوق در نوسان باشد، نمی توان آنرا رها نمود. دو راه حل جزیی برای این مشکل وجود دارد:

- Crane head درست در بالای هدف قرار گیرد و صبر کند تا صندوق از نوسان بایستد و سپس صندوق را رها کند.
  - Crane head آنقدر آهسته حرکت کند که حین انتقال، صندوق اصلاً نوسان نکند و سپس هنگامی که بالای هدف قرار گرفت، صندوق را رها سازد.
- ولی در عمل، این دو راه حل بسیار وقت گیر است و از آنجایی که تابع انتقال بار در بندرگاهها بسیار پر هزینه می باشد، این دو راه حل اقتصادی نیستند.
- در اینجا به سه مدل کنترل می رسیم :

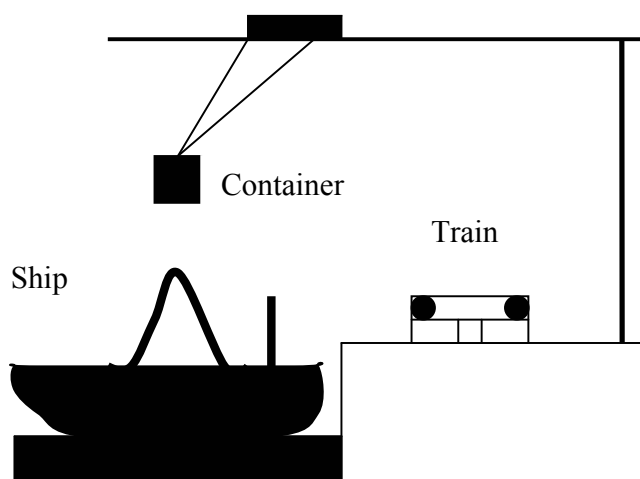
- کنترل PID خطی: که بعلاوه غیر خطی بودن عمل کنترل صندوق جرثقیل عملاً فقط در کاهش نوسانات مؤثر بوده است.
- کنترل مبتنی بر مدل: پس از انجام مدل سازی که به یک مدل ریاضی برای جرثقیل می رسیم. به معادلات دیفرانسیل مرتبه پنجم می رسیم که رفتار مکانیکی آنرا توصیف می کند. که این روش نیز عملاً مورد استفاده قرار نمی گیرد.

- کنترل فازی: در این روش، که در شرح مقاله راجع به آن توضیح خواهیم داد، به حل مسأله می پردازیم.

## ۷-۲ استراتژی کنترل زمانی:

با بررسی عملکرد یک اپراتور، هر جرثقیل که قادر است با سرعت انتقال خوب و در کمترین زمان ممکن، کار انجام دهد. وقتی که اپراتور صندوق را بر می دارد جرثقیل را با توان متوسط به کار می اندازد تا ببیند که صندوق چگونه نوسان می کند بسته به عکس العمل، توان موتور crane head را طوری تنظیم می کند که صندوق کمی پشت crane head قرار گیرد و در این وضعیت با حد اکثر سرعت و کمترین نوسان حرکت می کنیم. هنگامی که به هدف نزدیک شد، توان آنرا کاهش می دهد یا حتی توان منفی در جهت توقف به آن اعمال می کند در این حالت صندوق کمی از crane head جلو می افتد تا اینکه صندوق به هدف برسد. سپس توان موتور را بالا برده به طوریکه crane head درست در بالای موقعیت هدف قرار گیرد و در حال نوسان نیز صفر است.

آنالیز اعمال اپراتور آشکار می کند که او از حساب "سر انگشتی" برای توصیف استراتژی کنترل بهره برده است.



شکل (۱)

چون صندوق بوسیله یک کابل قابل انعطاف به Crane head وصل شده است لذا موقعی که جرثقیل حرکت می کند شروع به نوسان می کند. کنترلر منطق فازی با استفاده از تجربیات اپراتور این نوسان را خنثی می کند.

۱. با توان متوسط شروع کنید.
۲. اگر شروع کرده اید و هنوز از هدف دورید، توان موتور را طوری تنظیم کنید که صندوق مقدار کمی عقبتر از crane head قرار بگیرد.
۳. اگر به هدف نزدیک شده اید سرعت را کاهش دهید تا صندوق کمی جلوتر از crane head قرار بگیرد.
۴. هنگامی که صندوق به هدف خیلی نزدیک شد توان موتور را بالا ببرید.
۵. هنگامی که صندوق دقیقاً بالای هدف قرار گرفت و نوسان نیز صفر باشد، موتور را خاموش کنید.

۲-۷-۱ اجرای استراتژی کنترل زمانی:

برای خودکار کردن (automatic) کنترل جرثقیل، سنسورهایی برای موقعیت crane head از جمله سنسور فاصله و سنسور زاویه جهت نوسان صندوق به کار برده می شود. پس وضعیت جاری جرثقیل را این گونه توصیف می کنیم:

- اگر فاصله = دور و زاویه = صفر آنگاه قدرت = مثبت - متوسط
- اگر فاصله = دور و زاویه = منفی - کوچک آنگاه قدرت = مثبت - بزرگ
- اگر فاصله = دور و زاویه = منفی - بزرگ آنگاه قدرت = متوسط
- اگر فاصله = متوسط و زاویه = منفی - کوچک آنگاه قدرت = منفی - متوسط
- اگر فاصله = نزدیک و زاویه = مثبت - کوچک آنگاه قدرت = مثبت - متوسط
- اگر فاصله = صفر و زاویه = صفر آنگاه قدرت = صفر

۲-۸-۱ مراحل پیاده سازی تنظیم کننده فازی:

۲-۸-۱-۱ فازی سازی با استفاده از متغیرهای زمانی:

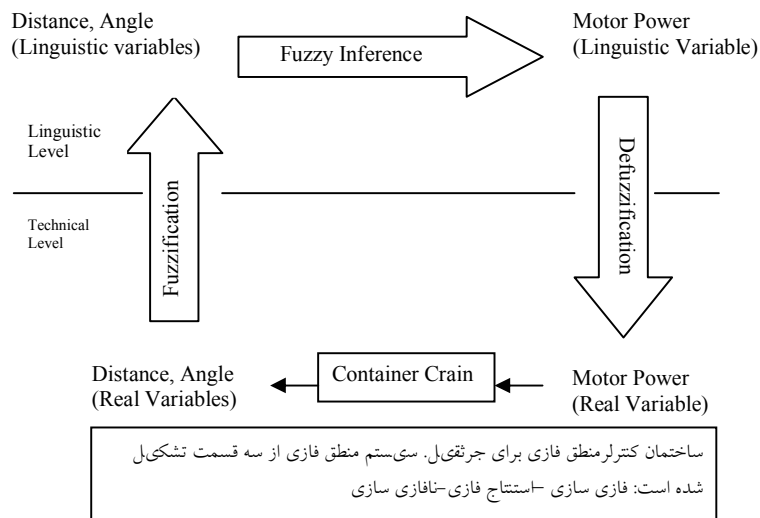
تعریف تمامی متغیرهایی که در جملات شرطی مورد استفاده قرار گرفته اند.

متغیر زبانی

Labels

- |           |   |
|-----------|---|
| فاصله : ۱ | { صفر ، نزدیک ، متوسط ، دور ، بسیار دور } $\varepsilon$                       |
| زاویه : ۲ | { بزرگ -منفی ، کوچک - منفی ، صفر ، کوچک - مثبت ، بزرگ - مثبت } $\varepsilon$  |
| توان : ۳  | { بزرگ -منفی ، کوچک - منفی ، صفر ، متوسط - مثبت ، بزرگ - مثبت } $\varepsilon$ |

شکل (۲)



۳- نتیجه گیری :

نتیجه حاصل از بررسی هایی که در این مقاله صورت گرفته است حاکی از آن است که منطق فازی به عنوان یکی از روشهای معتبری است که در کنترل مورد استفاده قرار می گیرد. در کنترل سیستمهای صنعتی ، منطق فازی دقتی فراتر از منطق دیجیتال دارد.

۴- مراجع :

- [1] موهند مختاری و میشل ماری، کاربرد های Matlab و Simulink در مهندسی ، وحید صمدی بخارائی، چاپ اول انتشارات خراسان ، ۱۳۸۰
- [۲] جان .ان.مردسن و پرمچاند. اس . نیر ، مقدمه ای بر ریاضیات فازی ، دکتر رضا عامری ، چاپ اول ، دانشگاه مازندران، ۱۳۸۲