

بسم الله الرحمن الرحيم

منطق فازی

کاربرد آن در سیستمهای قدرت

تألیف : دکتر حسن رستگار

استاد تمام دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر

عنوان و نام پدیدآور:	منطق فازی و کاربرد آن در سیستمهای قدرت Fuzzy Logic and Application in Power Systems / تألیف حسن رستگار
مشخصات نشر:	علی آباد کنترل: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علی آباد کنترل، موسسه انتشارات علمی، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری:	۲۲۲ ص: (مصور) (بغشی رنگی)، جدول (بغشی رنگی)، نمودار (بغشی رنگی).
شابک:	۹۷۸-۹۶۶-۱۰-۴۶۹۰-۵ ۱۸۰۰۰۰ ریال:
وضعیت فهرست نویسی:	فیا
یادداشت:	کتابنامه.
موضوع:	برق - سیستم ها - کنترل
موضوع:	Electric Power Systems - Control
موضوع:	منطق فازی
موضوع:	Fuzzy Logic
موضوع:	سیستم های فازی
موضوع:	Fuzzy Systems
موضوع:	مجموعه های فازی
موضوع:	Fuzzy Sets
رده بندی دیویی:	۶۲۱/۳۱
رده بندی کنگره:	۷TK ۱۰۱۳۸۰۸
سرشناسه:	رستگار، حسن، ۱۳۶۱
شناسه افزوده:	دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علی آباد کنترل
شماره کتابشناسی ملی:	۶۹۹۱۶۴۹

نام مؤلفین:	حسن رستگار /
نام اثر:	منطق فازی و کاربرد آن در سیستمهای قدرت Fuzzy Logic and Application in Power Systems
مشخصات ظاهری:	۲۲۲ صفحه
نوبت چاپ:	اول - ۱۳۹۶
لیتوگرافی، چاپ و صحافی:	سازمان چاپ و انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی
قطع:	وزیری
شابک:	۹۷۸-۹۶۶-۱۰-۴۶۹۰-۵
ناشر:	مرکز انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علی آباد کنترل
قیمت:	۱۸۰۰۰۰ ریال

فهرست مطالب

۱-۲۰	مقدمه	فصل ۱
۳	منطق فازی چیست؟	۱-۱
۶	یک مثال جهت آشنایی فازی در مقابل غیرفازی	۲-۱
۶	سیاس و مفهوم مسئله حق سرویس‌دهی	۳-۱
۷	ن مسئله با روش غیرفازی	۱-۳-۱
۸	توسعه و تعمیم مسئله حق سرویس	۲-۳-۱
۱۱	بیان مسئله به روش فازی	۳-۳-۱
۱۷	چرا از منطق فازی استفاده می‌کنیم	۴-۱
۱۹	چه موقع نباید از منطق فازی استفاده کرد	۵-۱
۲۰	جمع بندی	۶-۱
۲۱-۴۹	ریاضیات فازی	فصل ۲
۲۱	مجموعه های معمولی	۱-۲
۲۶	تابع نشانگر	۲-۲
۲۷	افراز یک مجموعه	۳-۲
۲۸	مجموعه‌های محدب	۴-۲

۲۸	مجموعه‌های فازی	۵-۲
۳۲	عدد اصلی یک مجموعه‌ی فازی	۱-۵-۲
۳۳	عملگرهای مجموعه‌ای	۶-۲
۳۵	ویژگیهای مربوط به عملگرهای متمم و اجتماع و اشتراک	۷-۲
۳۶	افراز فازی	۸-۲
۳۷	عملگرهای دیگر	۹-۲
۳۹	عملگرهای اجتماع و اشتراک (ویژگیها و جانشین های آنها)	۱۰-۲
۴۵	عمل متمم، ویژگیها و جانشین های آن	۱۱-۲
۴۸	جمع بندی	۱۲-۲
۵۱-۷۵	استنتاج فازی	فصل ۳
۵۲	مروری بر منطق کلاسیک	۱-۳
۵۲	منطق گزاره ها	۱-۱-۳
۵۳	منطق‌های چند ارزشی	۲-۱-۳
۵۴	متغیرهای زبانی	۲-۳
۵۵	منطق فازی	۳-۳
۵۶	استدلال تقریبی	۴-۳
۵۶	قانون قیاس استثنایی تعمیم یافته (GMP)	۱-۴-۳

۵۸	استنتاج فازی به وسیله‌ی قانون ترکیبی استنتاج (CRI):	۳-۴-۳
۶۰	تعمیم روش CRI	۳-۴-۳
۶۵	استنتاج فازی به روش مقایسه الگو PM	۴-۴-۳
۷۰	کنترل کننده فازی	۵-۳
۷۳	جمع بندی	۶-۳
۷۷-۱۰۰	پایه ریاضی سیستم استنتاج فازی در محیط نرم افزار MATLAB	فصل ۴
۷۷	ساختن سیستم استنتاج فازی به کمک واسط گرافیکی	۱-۴
۸۶	بررسی مسئله حق سواحل با روش فازی	۲-۴
۹۰	ساختن FIS با استفاده از جابجایان	۳-۴
۹۷	بلوکهای منطق فازی برای استفاده در محیط simulink	۴-۴
۹۸	کنترل سطح آب در یک تانک	۵-۴
۱۰۰	جمع بندی	۶-۴
۱۰۱-۱۳۵	بهبود رفتار بارهای صنعتی با کنترل فازی جبرانساز توان راکتیو	فصل ۵
۱۰۱	طرح مسئله	۱-۵
۱۰۸	کنترل توان راکتیو	۲-۵
۱۰۹	انواع جبرانسازها در سیستم قدرت	۱-۲-۵

۳-۵	مدلسازی سیستم مورد مطالعه	۱۱۳
۴-۵	مدل جبران ساز توان راکتیو با کنترل کننده کلاسیک	۱۲۲
۵-۵	طراحی کنترل کننده فازی جبران ساز توان راکتیو	۱۲۳
۶-۵	شبیه سازی و بررسی نتایج	۱۲۸
۷-۵	جمع بندی و نتیجه گیری	۱۳۴
فصل ۶	مدل سازی باد با استفاده از منطق فازی	۱۳۷-۱۶۵
۱-۶	توربین های بادی	۱۳۸
۲-۶	توربین های بادی	۱۳۹
۳-۶	محاسبه توان خروجی توربین های بادی	۱۳۹
۴-۶	کنترل توربین های بادی	۱۴۲
۵-۶	مدلسازی سرعت وزش باد	۱۴۶
۶-۶	اهمیت و کاربردهای پیش بینی سرعت باد	۱۵۱
۷-۶	پیش بینی کننده های فازی و عصبی و بهبود آن	۱۵۷
۸-۶	شبیه سازی و نتیجه گیری	۱۵۹
۹-۶	جمع بندی	۱۶۵
فصل ۷	سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی ANFIS	۱۶۷-۱۸۵

۱-۷	سیستم‌های استنتاج فازی و قوانین اگر-آنگاه	۱۶۸
۲-۷	شبکه‌های تطبیقی	۱۶۹
۱-۲-۷	ساختار و قانون اصلی آموزش شبکه تطبیقی	۱۷۰
۳-۷	ساختار ANFIS	۱۷۷
۱-۴-۷	الگوریتم آموزش Hybrid	۱۷۹
۵-۷	ویرایش گرافیکی مربوط به ANFIS در نرم افزار MATLAB	۱۸۱
۶-۷	مثالهای کاربردی	۱۸۲
۷-۷	جمع‌بندی	۱۸۴
فصل ۸	کنترل فازی مبتدل ماتریسی جهت ردیابی ماکزیمم توان توربین بادی	۱۸۷-۲۱۷
۱-۸	ساختار نیروگاه بادی	۱۸۷
۲-۸	نقطه بهینه توان توربین‌های بادی	۲۰۱
۳-۸	الگوریتم فازی در ردیابی نقطه ماکزیمم توان	۲۱۱
۴-۸	شبیه سازی و نتیجه گیری	۲۱۵
۵-۸	جمع‌بندی	۲۱۵
	مراجع	۲۱۷-۲۲۳

پیش گفتار

از سال ۱۳۷۳ هجری شمسی که تحصیلات دکتری تخصصی برق قدرت خود را در دانشگاه صنعتی امیرکبیر تحت سرپرستی پروفسور مهرداد عابدی آغاز کردم ضمن گذراندن دروس شبکه های عصبی مصنوعی و منطق فازی و شرکت در دوره های مختلف آموزشی از محضر اساتیدی چون پروفسور منہاج، پروفسور کارولوکس، پروفسور ماشاء... ماشین چی و پروفسور ناصر ساداتی بهره برده و با مفاهیم و توانایی این شاخه از علم یعنی هوش محاسباتی (Computational Intelligence) یا محاسبات نرم (Soft Computing) آشنا شدم. بعد از فارغ التحصیلی در سال ۱۳۷۷ به منظور ارائه مفاهیم این شاخه از علم به دانشجویان گروه مهندسی برق قدرت، درس کاربرد هوش محاسباتی در سیستمهای قدرت را تعریف و تدریس آن را در دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر آغاز نمودم. از آن تاریخ تا این زمان برای انجام فعلیتهای پژوهشی در این زمینه، دهها پروژه کارشناسی، کارشناسی ارشد و رساله دکتری برای دانشجویان مهندسی برق تعریف و هدایت آنها را بر عهده داشتهام که ماحصل آنها علاوه بر تربیت نیروی متخصص در این زمینه، چانهدها مقاله در ژورنالهای معتبر علمی ISI، علمی-پژوهشی و کنفرانسهای بین المللی خارج و داخل کشور بوده است.

چند سالی است که با تشویق دانشجویان در تلاش هستم که برای وین و چاپ مجموعه ای در چهارچوب کاربرد هوش محاسباتی در سیستمهای قدرت اقدام نمایم. این کتاب نخستین جلد از این مجموعه است که به کاربرد منطق فازی در مسائل سیستمهای قدرت می پردازد.

با یک تعریف ساده انرژی توانایی انجام کار می باشد و انرژی الکتریکی به علت ویژگیهای ممتازی که دارد تامین کننده بخش عمده ای از نیاز جامعه بشری در قسمتهای مختلف، خانگی، صنعتی، کشاورزی، تجاری، اداری و حمل و نقل است. سیستم قدرت وظیفه دارد که انرژی الکتریکی مورد نیاز

مصرف کنندگان را با ولتاژ و فرکانس ثابت، عاری از هارمونیک، با قابلیت اطمینان مشخص و حداقل هزینه تامین نماید.

طراحی و بهره‌برداری از سیستمهای قدرت بزرگ به هم پیوسته یک مسئله بسیار پیچیده می‌باشد و پیچیدگی آن به صورت پیوسته رشد می‌نماید، زیرا شبکه‌های برق روز به روز به هم پیوسته‌تر شده و تکنولوژیهای جدید مورد استفاده قرار می‌گیرند و در همین زمان محدودیتهای بهره‌برداری و قوانین مختلف، شرکتها را مجبور می‌کند که سیستمهای قدرت و اجزای آن را نزدیک مقادیر حدی مورد استفاده قرار دهند. بنابراین مسائل مختلف مطرح شده روز به روز پیچیده‌تر می‌گردند. برای مقابله با این پیچیدگیها حل هوشمندانه مسائل متفاوت سیستم قدرت می‌توان متوسل به مفاهیم مختلف سیستمهای هوشمند به روش محاسباتی شد.

در یک عبارت ساده می‌توان گفت که هوش به مفهوم جمع‌آوری اطلاعات، استقرا و تجزیه و تحلیل تجربیات به منظور رسیدن به تصمیم‌گیری است. هوش مصنوعی علم و مهندسی ایجاد ماشین‌هایی است که با الگوبری از مرش انسان و یا حیوان به انجام وظایف خود بپردازند. برای نمونه یک ماشین متحرک هوشمند باید بتواند نسبت به حرکتهای خود آگاه بوده و با آزمون و خطا، دامنه حرکت خود را گسترش دهد و با هر گام، دامنه تجزیه و تحلیل خود را وسعت بخشیده و سرانجام به توانایی‌هایی دست یابد که حتی سازندگانش برای او متصور نبوده‌اند.

محاسبات نرم یکی از شاخه‌های سیستم‌های هوشمند می‌باشد. این نرم‌ها شامل تلاشیهای است که مدل‌سازی، تحلیل و کنترل سیستم‌های پیچیده را به سادگی و با موفقیت بیشتر امکان‌پذیر می‌سازد. منطق فازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک مهم‌ترین شاخه‌های این محاسبات می‌باشند.

مفاهیم نادقیق بسیاری در پیرامون ما وجود دارند که آنها را به صورت روزمره بیان و مورد استفاده قرار می‌دهیم آدمی به صورت فازی (به معنای غیر دقیق، ناواضح و مبهم) مفاهیم را درک و به

کار می‌بندد. مثلاً هر چند کلمات و مفاهیمی همچون زیاد، کم، گرم، سرد، پیر، جوان، بلند، کوتاه، به عدد خاص و دقیقی اشاره ندارند، اما انسان با سرعت و انعطاف پذیری بالایی همه را می‌فهمد و در تصمیمات خود به کار می‌گیرد. در حالیکه ماشین فقط اهل دقت است و اعداد را می‌فهمد. در واقع انسان با در نظر گرفتن عوامل گوناگون این جملات را تعریف و ارزش گذاری می‌نماید. منطق فازی شیوه‌ایی را جایگزین نموده که ماشینها را قادر می‌سازد با استفاده از مقادیر زبانی و دانش فرد خبره سیستم را مدل سازی و کنترل کنند.

هدف از این کتاب بیان مفاهیم منطق فازی و سیستم استنتاج فازی و کاربرد آنها در حل مسائل سیستمهای قدرت می‌باشد. مباحث بهره‌برداری، مدل‌سازی، شبیه‌سازی، کنترل و حفاظت سیستمهای قدرت به دلایل اقتصادی و زیست محیطی با پیچیدگی روزافزونی روبرو می‌باشد. برای مقابله با این پیچیدگی روزافزون و حل مسائل جدید، روش‌های محاسباتی جدید مورد نیاز است تا بتوان در حد امکان، مسائل متفاوت سیستم‌های قدرت را با دقت و سهولت بیشتر مورد تجزیه و تحلیل قرار داد.

هر چند حجم زیادی از مباحث طرح شده که سبب اینها انجام یافته است حاصل تحقیقات دوره دکتری تخصصی خود و سرپرستی، راهنمایی و مشاوره چندین استاد دوره دکتری و ده‌ها پایان نامه کارشناسی ارشد از سال ۱۳۷۳ تا سال ۱۳۹۳ می‌باشد اما فصول مختلف مطالب کتاب به صورتی آماده شده‌اند که دانشجویان سال آخر دوره کارشناسی نیز به راحتی بتوانند آن را مورد استفاده قرار دهند.

در فصل اول "مقدمه" با بیان یک مثال ساده "محاسبه حق سرویس" و حل آن به روش کلاسیک و فازی، منطق فازی معرفی می‌شود. مرجع اصلی این فصل و فصل چهارم کتاب جعبه ابزار منطق فازی برای استفاده با MATLAB می‌باشد که در تابستان ۱۳۸۲ توسط شرکت توزیع نیروی برق استان گلستان به زیور طبع آراسته شده است. این کتاب ترجمه Fuzzy Logic Toolbox™ User's Guide شرکت Math Works می‌باشد.

در فصل دوم "ریاضیات فازی" با یادآوری مفاهیم مجموعه های معمولی، مبانی ریاضی مجموعه های فازی بیان و عملگرهای مختلف آن تعریف می شوند.

در فصل سوم "استنتاج فازی" روش استنتاج کلاسیک، منطق دو ارزشی، منطق سه ارزشی و منطق فازی معرفی شده سپس قانون قیاس استثنایی و تعمیم آن و نحوه استنتاج فازی به روش قانون ترکیبی استنتاج و مقایسه الگو آورده شده است. همچنین مفاهیم کاربردی نحوه عملکرد کنترل کننده های فازی و مدلسازی فازی تشریح شده است.

مرجع اصلی فصل دوم و فصل سوم، کتاب آشنایی با نظریه مجموعه های فازی، نوشته سید محمود طاهری می باشد که چاپ دوم آن پاییز ۱۳۷۸ توسط انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد به زیور طبع آراسته شده است. همچنین بخشی از مطالب این دو فصل از کتاب Fuzzy Controllers نوشته CONID REZNIK است که انتشارات Guildford and King's Lynn در سال ۱۹۹۷ چاپ اول آن را انجام داده است. لازم به ذکر است که مطالب ارائه شده عصاره مباحث می باشد که معمولاً در دو درس ۳ واحدی تحت عنوان ریاضیات فازی و کنترل کننده های فازی در دانشکده های ریاضی و مهندسی برق ارائه می گردد. دانشجویانی که نیاز به تعمق بیشتری در این مطالب دارند، می توانند از این کتابها و سایر مراجع استفاده نمایند.

در فصل چهارم "پیاده سازی سیستم استنتاج فازی در محیط نرم افزار MATLAB" با بررسی جعبه ابزار FUZZY، قابلیت های نرم افزار MATLAB در خط فرمان و جعبه ابزار SIMULINK مشخص می شود. با استفاده از این نرم افزار چگونگی استفاده از مفاهیم کنترل و مدلسازی فازی برای حل مسائل واضح تر می شود.

مرجع سایر فصول پنجم تا هشتم، متن رساله های دکتری و پایان نامه های کارشناسی ارشد و مقالات استخراج شده از آنها می باشد که در ژورنال های علمی - پژوهشی معتبر خارجی و داخلی و کنفرانس های

بین‌المللی، خارجی و داخلی چاپ شده است و از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۵ سرپرستی آنها را بر عهده داشته‌ام.

در فصل پنجم "بهبود رفتار بارهای صنعتی با کنترل فازی جبرانساز توان راکتیو" با معرفی مسئله بهبود پروفیل ولتاژ و رفتار بارهای صنعتی و پایدارسازی آنها، روشهای مختلف حل این مسئله و مزایای روش کنترل توان راکتیو بیان می‌شود. سپس با استفاده از روش کلاسیک و فازی کنترل کننده SVC طراحی و نتایج با هم مقایسه می‌شوند. شبیه‌سازیها نشان می‌دهد که کنترل کننده فازی به سادگی توانسته است بهتر از کنترل کننده کلاسیک، پروفیل ولتاژ را بهبود و از ناپایداری بارهای موتور جلودگری می‌نماید.

در فصل ششم "مدل سازی با استفاده از منطق فازی" انرژی باد و ضرورت پیش‌بینی سرعت وزش باد و کاربردهای متفاوت آن بررسی می‌شود. سپس به بیان روشهای مختلف برای پیش‌بینی سرعت باد و سیستم فازی پرداخته شده و مشخص می‌گردد، روش فازی به خوبی می‌تواند از عهده این کار برآید.

در فصل هفتم "سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی ANFIS" شبکه های تطبیقی معرفی و سیستم استنتاج فازی به صورت یک شبکه تطبیقی بیان می‌شود. سپس با بیان قابلیت های نرم افزار MATLAB، واسطه گرافیکی این نرم افزار، چگونگی آموزش و راههای، مختلف آن مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. این قابلیت می‌تواند برای حل مسائل مختلف سیستم قدرت از جمله پیش‌بینی بار و مدل سازی رله های جریان زیاد و ... مورد استفاده قرار گیرد.

در فصل هشتم "کنترل فازی مبدل ماتریسی جهت ردیابی ماکزیمم توان توربین بادی" با بررسی نحوه عملکرد توربینهای بادی، مسئله ردیابی نقطه ماکزیمم توان معرفی و چگونگی روشهای مختلف حل آن بیان می‌شود. سپس از یک سیستم فازی برای کم کردن نوسانات پیرامون نقطه ماکزیمم توان استفاده می‌شود. شبیه‌سازیها نشان می‌دهد که کاربرد سیستم فازی می‌تواند به شکل موثری نوسانات را کاهش دهد.

تقدیر و تشکر

با اطمینان می‌توانم بگویم که فعالیتهای محققان زیادی زمینه ساز کتاب حاضر شده است. از بین این افراد پروفیسور مهرداد عابدی استاد دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) بیشترین سهم را دارند که در طول تحقیقات چندین ساله خود در مقطع کارشناسی ارشد و دکتری از افتخار شاگردی ایشان برخوردار بوده و هستم.

همچنین از دانشجویان تحصیلات تکمیلی بسیار خوب و با استعدادی که افتخار راهنمایی رساله آنها را بر عهده داشته‌ام که هر یک به شکلی در نگارش این کتاب نقش دارند. از این افراد به ویژه از دکتر محمد منفرد عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد، دکتر علی اصغر قدیمی عضو هیئت علمی دانشگاه اراک و دکتر محمد پتان تشکر می‌نمایم.

با تشکر فراوان از جناب آقای دکتر علیرضا اسفندیاری مقدم ریاست محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد علی آباد کتول، جناب آقای دکتر رحیم سمیعی معاونت محترم پژوهشی و دیگر عزیزان در این مجموعه آموزشی که من را در چاپ این کتاب یاری نمودند.

لازم به ذکر است که طرح روی جلد کتاب حاصل زحمات خانم هانیه مقدس می باشد که به صورت ویژه از ایشان تشکر می‌نمایم.

حسن رستگار

استاد تمام دانشکده مهندسی برق

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

تهران اسفند ۱۳۹۶