

# طراحی کنترل کننده فازی جهت کنترل مکانیزم اعمال نیرو در تجهیزات سختی سنج

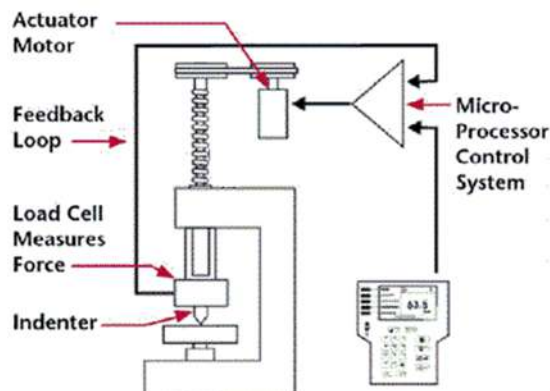
عمران فضلی<sup>1</sup>، سید محمد شهر آئینی<sup>2</sup>

<sup>1</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد مکترونیک، دانشکده فنی و مهندسی گرگان، دانشگاه گلستان، emranfazli@gmail.com

<sup>2</sup>استادیار، گروه برق، دانشکده فنی و مهندسی گرگان، دانشگاه گلستان، m.shahr@gu.ac.ir

## چکیده

در این مقاله یک کنترل کننده فازی ( Fuzzy Controller ) مناسب جهت کنترل نیرو در تجهیزات سختی سنج طراحی میشود. برای تحقق بخشیدن به این امر، ابتدا کنترل کننده فازی را با توجه به رفتار تجربی سیستم طرح نموده سپس برای اطمینان از صحت عملکرد و برتری نسبت به کنترلر های دیگر در محیط عملکرد نرم افزار MATLAB شبیه سازی شده و خروجی با یک کنترلر PID مقایسه میشود. نتایج نشان میدهد که استفاده از کنترلر فازی با توجه به مشخص نبودن مدل سیستم و وجود عدم قطعیت ها با سرعت پاسخ مناسبی همراه بوده و دقت نیرو اعمالی بسیار مطلوب میباشد.



شکل (1) ساختار ساده شده دستگاه سختی سنج

## واژه های کلیدی

سختی سنج، کنترلر PID، کنترل فازی، ایندنتور، بال اسکرو

## مقدمه

دستگاه های تست سختی کاربرد گسترده ای در متالورژی و صنایع مختلف دارند. در دستگاه های سختی سنجی یک قطعه به نام ایندنتور که نوک آن از جنس الماس میباشد با نیروی از پیش تعیین شده به جسم مورد آزمایش نیرو اعمال کرده و در آن فرو میرود. با بررسی سطح اثر و عمق نفوذ سختی محاسبه میگردد. این دو عامل شدیداً وابسته به دقت نیروی اعمالی میباشد. در واقع نیروی اعمالی نباید بیش از درصد ناچیزی کمتر یا بیشتر از نیروی تعیین شده از قبل باشد [1, 2]. ساختار یک دستگاه سختی سنج به صورت ساده به شرح زیر است. نیروی لازم توسط یک موتور الکتریکی که معمولاً از نوع DC است، ایجاد میشود. این نیرو معمولاً با یا بدون واسطه به یک بال اسکرو منتقل شده و آنرا به گردش در میآورد. در انتهای بال اسکرو یک مهره قرار دارد که ایندنتور به آن متصل است و با گردش بال اسکرو به بالا یا پایین حرکت میکند و باعث میشود ایندنتور در قطعه فرو رود. جهت اندازه گیری نیرو معمولاً از سنسور هایی مانند لودسل استفاده میگردد. لودسل معمولاً به همراه ایندنتور و در بالای آن به مهره بال اسکرو متصل میگردد. نیرو توسط یک سیستم میکروپروسسوری اندازه گیری شده و متناسب با آن سرعت موتور الکتریکی کنترل میگردد. (شکل 1)

چنانچه نیروی اندازه گیری شده از نیروی مورد نظر خیلی کمتر باشد موتور با سرعت بیشتری بال اسکرو را میچرخاند و به تدریج که به نیروی مورد نظر نزدیک میشود سرعت موتور نیز کم شده تا در نیروی مورد نظر متوقف شود. مقدار نیروی اعمالی در واحد زمان شدیداً وابسته به سختی خود جسم مورد آزمایش میباشد. چنانچه سختی زیاد باشد ممکن است در لحظات اول برخورد ایندنتور به قطعه نیرو دچار Overshoot گردد. جهت جلوگیری از این مشکل با استفاده از سیستم فنر نیروی اعمالی تعدیل میشود [3]. در این حالت تا حدودی از Overshoot جلوگیری میشود و زمان رسیدن به نیروی مورد نظر آزمون افزایش می یابد. بنابر این باید سرعت توسط اعمال نیرو توسط یک سیستم کنترلی دقیق کنترل گردد.

با بررسی سیستم انتقال نیرو در می یابیم که سرعت تغییرات نیروی اعمالی مستقیماً به سرعت موتور الکتریکی وابسته میباشد. مجهول بودن میزان سختی قطعه مورد آزمایش مدل سازی دقیق سیستم را با مشکل مواجه میکند. در واقع با توجه به فیدبک نیرو بنظر میرسد بتوان از مدل کردن سیستم موتور، بال اسکرو و فنر صرف نظر نمود، و با اندازه گیری نرخ تغییرات نیرو، سیستم را جهت اعمال نیروی مناسب کنترل نمود.

ادامه در بخش چهارم یک نمونه کنترلر فازی طراحی میکنیم و توسط شبیه ساز SIMULINK عملکرد آن را شبیه سازی میکنیم. در بخش پنجم نتیجه خروجی کنترلر فازی را مورد ارزیابی قرار میدهم.

## 2) سیستم های فازی

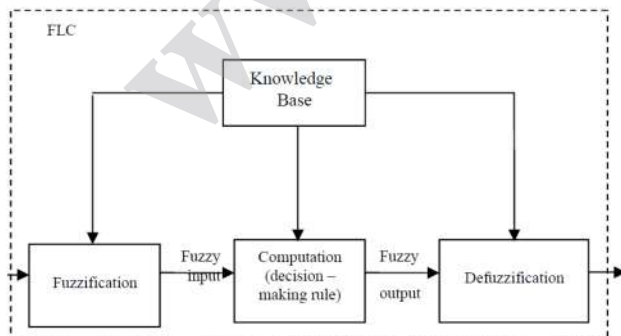
یکی از روشهای کنترلی که در سالهای اخیر فکر دانشمندان علوم کنترل را به خود مشغول داشته، طراحی سیستم هایی است که بتواند از تواناییهای انسان در حل مسائل پیچیده تقلید کند. سیستم‌هایی که قادر باشند در برخورد با پیچیدگی‌ها و عدم قطعیت هایی که در یک محیط واقعی وجود دارند بر اساس درک داده هایی که به جای ارزش عددی، ارزش کیفی دارند. انجام پردازشهایی بر روی آنها عملکردی بهینه از خود ارائه دهند در این رهگذر روشهای کنترلی نوینی ارائه شده که از جمله آنها، سیستم‌های کنترلی مبتنی بر ریاضیات و منطق فازی می‌باشند. سیستم‌های فازی بر اساس ایده مجموعه‌های فازی استوار است. یک مجموعه فازی مشابه مجموعه‌های معین از تعدادی عنصر تشکیل شده است که در آن مرز قطعی بین عضویت و عدم عضویت عناصر وجود ندارند. به عبارت دیگر یک عنصر می‌تواند به اندازه یک عدد بین صفر تا یک عضو یک مجموعه فازی باشد. مجموعه فازی را به صورت زیر نمایش می‌دهند.

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

که  $X$  مجموعه مرجع و  $\mu_A(x)$  مقدار عضویت عنصر  $x$  در مجموعه فازی  $A$  می باشد. در مجموعه‌های فازی نیز مشابه مجموعه‌های کلاسیک عملیات اجتماع، اشتراک و متمم و ... برقرار است.

## 3) کنترل کننده فازی

اصولاً هر کنترلر کننده فازی از چهار قسمت اساسی تشکیل شده که در شکل (2) در داخل خط چین نمایش داده شده است و عبارتند از: فازی سازی، تصمیم گیری، پایگاه اطلاعات و غیر فازی سازی



شکل (2) بلوک های سازنده کنترلر فازی

نیروی اعمالی باید توسط یک سیستم کنترلر گر به صورت دقیق کنترل گردد تا شرایط اولیه آزمون فراهم گردد. دقت در اعمال نیرو در نتایج به شدت تاثیر گذار است. روش های مختلفی جهت کنترل نیرو مانند PID، مد لغزشی، فازی و ... شناخته شده است. ولی از طرفی با توجه به تلورانس قطعات مکانیکی به کار رفته مانند ظریب فنر، کیفیت موتور و پارامتر های آن و همچنین نا مشخص بودن میزان سختی و ضریب الاستیسیته قطعه مورد آزمایش که مدل کردن سیستم را با مشکل مواجه میکند کنترلر هایی مانند PID در شرایط گوناگون ممکن است با شکست مواجه شوند. کنترلر فازی برای این منظور مناسب به نظر میرسد و میتواند جایگزین سیستم های قدیمی گردد.

مجموعه های فازی اولین بار توسط پروفیسور لطفی عسگر زاده در سال 1965 رساله ای به نام « مجموعه های فازی - اطلاعات و کنترل » معرفی گردید [4] و در دهه 1970 رشد و کاربرد عملی پیدا کرد. منطق فازی روش مناسبی برای طراحی کنترلر های سیستم های غیر خطی و یا سیستم هایی که مدل سازی آنها داری عدم قطعیت میباشد است. در واقع در طراحی کنترلر های فازی بر خلاف کنترلر های مدرن و کلاسیک نیازی به مدل دقیق سیستم نیست. کنترلر های فازی در زندگی امروزی کاربرد گسترده ای پیدا نموده اند [5, 6]. کنترل کننده های فازی با استفاده از منطق فازی، منطق بشری را پیاده کرده است که با توابع عضویت، قوانین فازی و قوانین عضویت برنامه ریزی شده است.

در سال 1975 سیستم استنتاج ممدانی توسط ممدانی و اسیلیان پیشنهاد گردید [7]. این سیستم ها به دلیل داشتن طبیعت بصری و تفصیری از قوانین میتوانند به طور گسترده ای در سیستم های پشتیبانی تصمیم استفاده شوند.

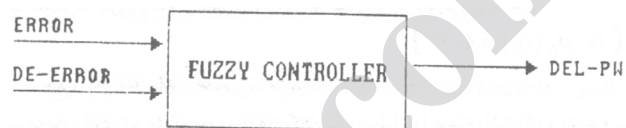
سیستم های فازی را هم میتوان به صورت حلقه باز و هم به صورت حلقه بسته به عنوان کنترلر مورد استفاده قرار داد. کنترلر های فازی زمانی که سیستم مورد نظر بسیار پیچیده بوده و تجزیه و تحلیل آن دشوار باشد کارایی خود را بیشتر نشان میدهد. ماشین لباسشویی، دستگاه های تهویه مطبوع، بخش های کنترلی مختلف در اتومبیل نمونه هایی میباشد که در آنها کنترلر های فازی جهت بدست آوردن کنترلی مقاومتر و سریعتر جاسازی شده است.

یکی از کاربردهایی که کنترلر فازی میتواند جایگزین روش های کنترلی سنتی گردد در سیستم هایی است که نیاز به کنترل دقیق نیروی اعمالی میباشد.

در این پژوهش با توجه به موارد ذکر شده در مورد دقیق نبودن مدل سیستم و عدم قطعیت پارامترها در دستگاه سختی سنج به کنترلر نیرو در ابزار های سختی سنج با استفاده از کنترلر فازی خواهیم پرداخت. در بخش دوم مقاله به معرفی سیستم های فازی میپردازیم. در بخش سوم در باره کنترلر های فازی و اجزای آن بحث میکنیم. در

### 1-3) فازی سازی

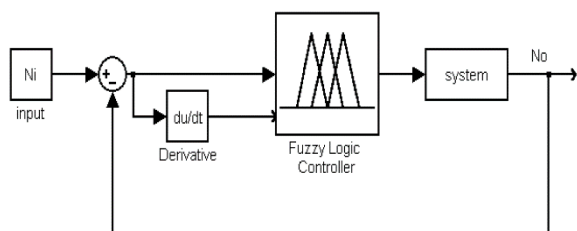
عمل فازی سازی بیان کننده نگاهی از فضای ورودیهای مشاهده شده به مجموعه‌های فازی تعریف شده (در یک مجموعه مرجع) است. فازی سازی یا کد نمودن مقادیر اندازه‌گیری شده توسط سنسورها عبارت است از تبدیلی که مقادیر اندازه‌گیری شده را به عناوین گفتاری به کار رفته در قسمت شرط قوانین فازی تبدیل می‌کند. کنترل کننده طراحی شده در این مقاله مطابق شکل (3) دارای دو ورودی و یک خروجی می باشد سیگنالهای ورودی عبارتند از خطای نیرو (e) و تغییرات خطای نیرو ( $\Delta e$ ).



شکل (3) کنترلر فازی طراحی شده

### 4) طراحی و شبیه سازی کنترلر فازی

هنگامی که بخواهیم یک سیستم را با استفاده از تئوری های کنترل کلاسیک کنترل نمائیم نیاز به مدل ریاضی پیرو و اطلاعات دقیقی در مورد تغییرات پارامتر های سیستم داریم تا حلقه کنترلی را ایجاد کنیم. بر خلاف کنترل کننده های کلاسیک که طراحی آنها بر اساس مدل ریاضیاتی فرایند صورت می گیرد، طراحی یک کنترل کننده فازی بدون دانستن مدل دقیق فرایند و بر اساس دانش و تجربیات افراد خبره انجام می شود. یک کنترل کننده فازی معمولاً دارای دو ورودی خطا (e) و تغییرات خطا ( $\Delta e$ ) بوده که هدف مینیمم کردن خطا در کمترین زمان ممکن میباشد.



شکل (4) کنترلر فازی در سیستم حلقه بسته

### 2-3) پایگاه اطلاعات

دومین قسمت در طراحی یک کنترل کننده فازی پایگاه اطلاعات می‌باشد در این قسمت عکس العمل شخص خبره به صورت قوانین فازی بیان می‌شود این قوانین ارتباط بین ورودیها و خروجیها را مشخص می‌کند. بنابراین با توجه به تعداد مجموعه‌های فازی که در قسمت فازی سازی بیان می شود تعداد قوانین فازی مشخص می گردد.

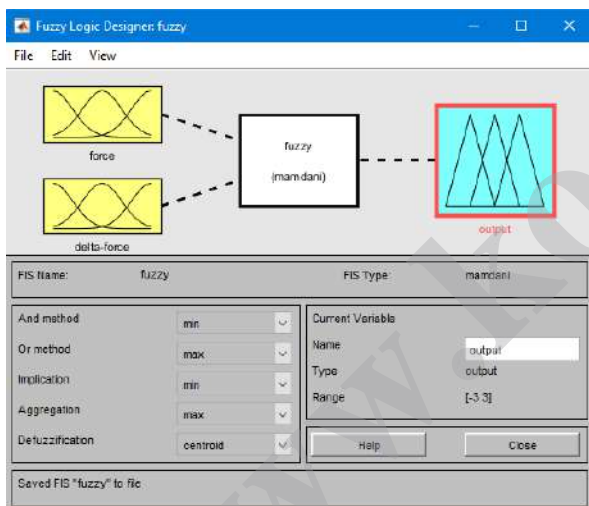
### 3-3) تصمیم گیری

این قسمت با شبیه سازی تصمیم گیری انسان بوسیله مفاهیم فازی و استدلال تقریبی و نتیجه گیری از قوانین کنترل فازی عملیات کنترلی لازم را تولید می‌نماید. برای این امر قوانین فازی به صورت یک جدول در حافظه کامپیوتر ذخیره می‌شود.

تصمیم گیری بر اساس جدول با روش Max-Min انجام می‌گیرد که در آن اپراتور AND به مفهوم minimum و اپراتور OR به مفهوم Maximum می‌باشد.

### 4-3) غیر فازی سازی

با توجه به اینکه سیستم‌های واقعی با سیگنالهای واقعی کار می‌کنند نه با مفاهیم فازی لذا برای اینکه بتوان نتیجه قسمت تصمیم گیری را به پیرو اعمال نمود باید آنرا به یک مقدار قطعی تبدیل کرد که در این کنترل کننده از روش مرکز ثقل جهت غیر فازی سازی استفاده شده است. لازم به توضیح است که مراحل فوق طی یک برنامه کامپیوتری انجام می‌شود.



شکل (5) ساختار کنترلر فازی پیشنهادی

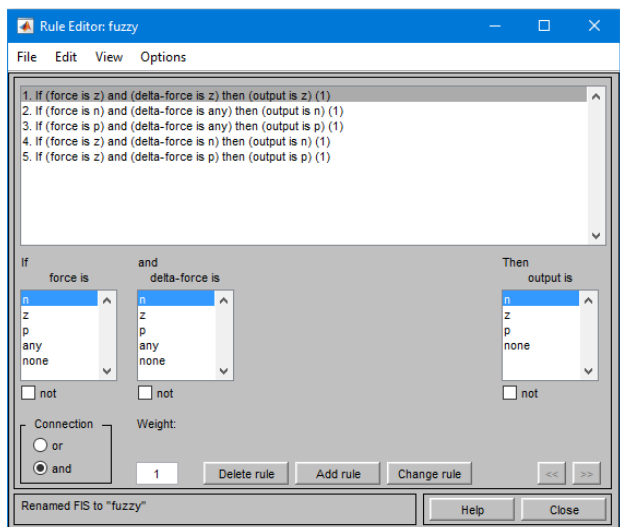
در این مقاله برای کنترل نیرو در فرایند آزمون سختی سنجی در دستگاه سختی سنج یک کنترلر فازی به صورت حلقه بسته مطابق شکل 4 طراحی شده و سپس جهت اطمینان از عملکرد آن و مقایسه با کنترلر PID توسط نرم افزار MATLAB شبیه سازی میگردد. کنترلر فازی پیشنهادی به صورت شکل 5 میباشد. گام اول در طراحی کنترلر فازی، انتخاب توابع عضویت ورودی ها و خروجی می باشد. در جدول 1 متغیر های مجموعه فازی برای ورودی های کنترلر طراحی شده برای سیستم کنترل نیرو را بیان شده است. شکل

گام بعدی برای طراحی کنترلر فازی انتخاب مناسب قوانین برای موتور استنتاج فازی میباشد. در شکل 8 مجموعه قوانین فازی نمایش داده شده اند.

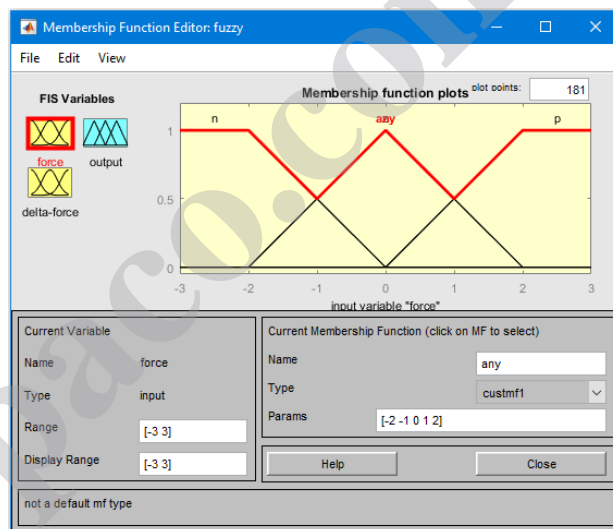
6 تابع عضویت انتخاب شده برای متغیرهای ورودی و شکل 7 تابع عضویت خروجی را نشان میدهد.

نام متغیر	تعریف
N	منفی
P	صفر
Z	مثبت
ANY	اشتراک منفی، صفر، مثبت

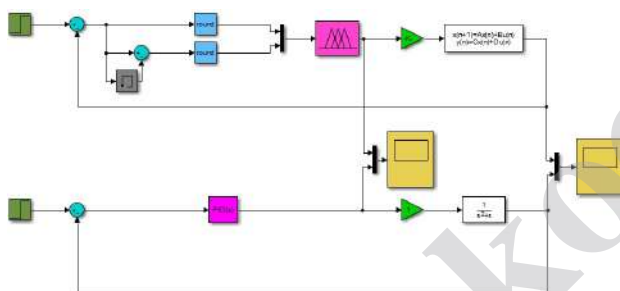
جدول (1) تعریف متغیرهای مجموعه فازی



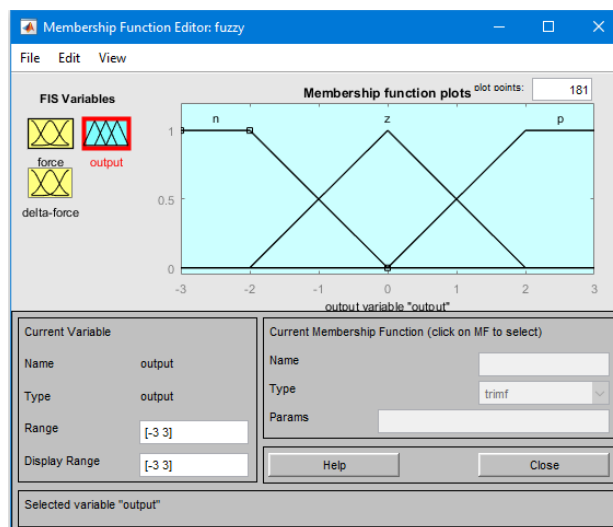
شکل (8) مجموعه قوانین فازی



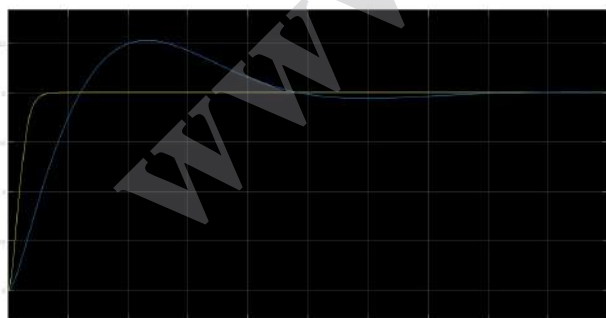
شکل (6) تابع عضویت ورودی های کنترلر فازی



شکل (9) شبیه سازی کنترلر فازی در محیط SIMULINK



شکل (7) تابع عضویت خروجی کنترلر فازی



شکل (10) خروجی شبیه ساز

## 5) نتیجه گیری

بررسی شکل خروجی حاصل از شبیه سازی کنترلر فازی پیشنهادی نشان می‌دهد که کنترل کننده فازی دارای خطای ماندگار، زمان نشست و اورشوت کمتری نسبت به نوع PID می‌باشد. علاوه بر این خروجی کنترل کننده فازی در هنگام اعمال پله به سرعت میرا می‌شود در حالیکه خروجی کنترل کننده PID نوساناتی بوده و به کندی میرا می‌شود.

## منابع

- M. Sridhar and M. Yovanovich, "Empirical methods to predict Vickers microhardness," *Wear*, vol. 193, pp. 1, no. 193, 1996, 98-91. [1]
- A. Giannakopoulos, P.-L. Larsson, and R. Vestergaard, "Analysis of Vickers indentation," *International journal of solids and structures*, vol. 31, pp. 19, no. 31, 1994, 2708-2679. [2]
- G. Zamfirova and A. Dimitrova, "Some methodological contributions to the Vickers microhardness technique," *Polymer testing*, vol. 19, pp. 542-533, no. 19, 2000. [3]
- L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and control*, vol. 8, pp. 3, no. 8, 1965, 353-338. [4]
- E. Yel and S. Yalpir, "Prediction of primary treatment effluent parameters by Fuzzy Inference System (FIS) approach," *Procedia Computer Science*, vol. 3, pp. 665-659, 2011. [5]
- A. Mentis and I. H. Helvacioğlu, "Fuzzy decision support system for spread mooring system selection," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, pp. 3, no. 39, 2012, 3297-3283. [6]
- K. Guney and N. Sarikaya, "Comparison of Mamdani and Sugeno fuzzy inference frequency system models for resonant calculation of rectangular microstrip antennas," *Progress In Electromagnetics Research B*, vol. 12, pp. 104-81, 2009. [7]