

مدلسازی و کنترل موقعیت عملکردی از جنس آلیاژ حافظه دار با استفاده از کنترل فازی نوع ۲ بهینه شده با الگوریتم زنبور عسل

محسن پاپری^۱، افشین قنبرزاده^۲، کورش حیدری شیرازی^۲

^۱ فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، Papari@iauhvaz.ac.ir

^۲ استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید چمران اهواز، @A.Ghanbarzadeh@scu.ac.ir

^۲ دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید چمران اهواز، K.shirazi@scu.ac.ir

(تاریخ دریافت مقاله ۱۳۹۲/۱/۲، تاریخ پذیرش مقاله ۱۳۹۲/۳/۱۷)

چکیده: در این مقاله با استفاده از کنترل فازی نوع ۲ بهینه شده با الگوریتم زنبور عسل موقعیت عملکردی از جنس آلیاژ حافظه دار کنترل می‌گردد. در ابتدا با استفاده از محیط سیمولینک نرم افزار متلب معادلات حاکم بر رفتار غیر خطی یک محرک از جنس آلیاژ حافظه دار، شبیه سازی شد. سپس به منظور مقایسه عملکرد کنترل فازی نوع ۲ بهینه شده با سیستم های کنترلی دیگر، موقعیت بازوی ربات با یک کنترل فازی نوع ۱ و کنترل PID بهینه شده با الگوریتم زنبور عسل نیز کنترل گردید. نتایج حاصل از شبیه سازی بیانگر عملکرد بهتر کنترل کننده فازی نوع ۲ بهینه شده، نسبت به سایر کنترل کنندها در تعیین دقیق موقعیت بازوی ربات می باشد.

کلمات کلیدی: آلیاژ حافظه دار، مدلسازی، کنترل فازی نوع ۲، الگوریتم زنبور عسل.

Modeling and Control of Actuator Position of Shape Memory Alloy using Type-2 Fuzzy Control System Optimized by BEES Algorithm

Mohsen papari, Afshin Ghanbarzade, Korosh Haidari Shirazi

Abstract: In this paper, a shape memory alloy actuator was controlled by the type-2 Fuzzy Logic Controller optimized with bees Algorithm. At the beginning equations related to nonlinear behavior of a shape memory alloy actuator were simulated using Matlab/simulink software. Then in order to compare the performance of optimized type-2 fuzzy Logic controller with other controller, the position of the robot arm was controlled by two tuned with Bees Algorithm controllers, PID and Type-1 fuzzy logic controller. The simulation results show that optimized type-2 Fuzzy Logic Controller has better performance than the other controllers in determining the accurate position of robot arm.

Keywords: Shape memory alloy, Modeling, Type-2 fuzzy Control, BEES Algorithm

پیزوالکتریک، مواد مگنتواستریکتیو، پلیمرهای الکترو فعال، مواد الکترونولوژیک، آلیاژهای حافظه دار را نام برد. آلیاژهای حافظه دار به دلیل ویژگی های منحصر به فرد از قبیل چگالی انرژی (نسبت توان تولیدی به حجم) بالا، خاصیت برگشت پذیری در کرنشهای بزرگ متناسب با تغییر دما و مزایایی از قبیل وزن کم و عملکرد بیصدا نسبت به

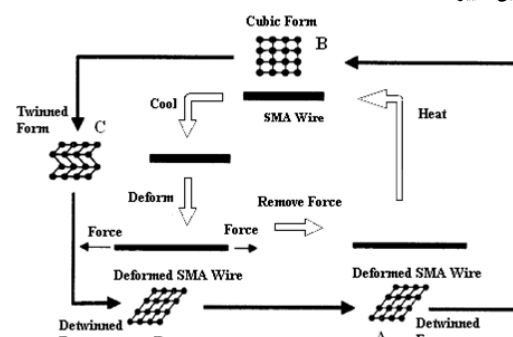
۱- مقدمه

محرک های هوشمند نوع خاصی از محرک ها می باشند که انرژی هایی از قبیل الکتریسته، مغناطیس و حرارت را به انرژی مکانیکی تبدیل می کنند. از جمله محرک های هوشمند می توان محرکهای

حافظه دار که در امتداد طول سه کسبه آب و دو دیسک چوبی مابین آنها قرار دارد استفاده شده است. از جمله قابلیت های این ربات می توان به تحمل فشار بالا در اعماق آب و همچنین قابلیت دور زدن مانع و عدم برخورد مستقیم با آن را ذکر نمود. چنگ چون [۷]، یک میکرو ربات کوچک که در آن از محرک آلیاژ حافظه دار استفاده شده بود را ارائه نمود، این میکرو ربات دارای دو چرخ با مکانیزم خود قفل بود که فاصله چرخ ها از طریق یک محرک آلیاژ حافظه دار بایاس شده با یک فنر قابلیت تنظیم داشت. این ربات با استفاده از این محرک ها توانایی تغییر طول خود، و با استفاده از ویژگی خود قفل بودن چرخها توانایی حرکت در یک جهت را داشت.

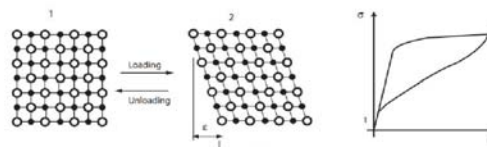
به طور کلی استراتژی های مختلف کنترلی برای این محرک ها را می توان به سه بخش، کنترل کننده های خطی، Pulse with Modulation و کنترل کننده های غیر خطی تقسیم نمود. شاملی و همکارانش [۸]، از یک کنترل کننده تغییر یافته PID برای کنترل موقعیت محرکی از جنس آلیاژ حافظه دار استفاده نمود. ایشان کنترل کننده خود را تحت عنوان PID-P3 معرفی نمودند. و نشان دادند برای مقادیر بزرگ خطای موقعیت توان سه، با تولید سیگنال کنترلی بزرگی موجب کاهش ماکزیمم فرآجهش و زمان نشست می گردد و همچنین در صورتی که مقدار خطای موقعیت کوچک باشد، به دلیل به توان سه رسیدن این عبارت، کنترل کننده تبدیل به یک کنترل کننده PID معمولی می گردد. کوری بایشی [۹]، یک مکانیزم مفصل دورانی که در آن از یک محرک از جنس آلیاژ حافظه دار از نوع تفاضلی استفاده شده بود، از ایده PWM برای انجام عملیات سوچینگ بین دو قسمت محرک استفاده کرد و موقعیت و نیروی مفصل دورانی را با این ایده کنترل نمود. معلم [۱۰-۱۱]، با استفاده از یک حلقه فیدبک نیرو، اقدام به کنترل یک باریکه تحریک شده توسط دو آلیاژ حافظه دار تفاضلی نمود. وی با در نظر گرفتن دمای محرک به عنوان عامل اغتشاش، اثر این اغتشاش را با طراحی یک کنترل سطح لغزش جبران نمود، وی با استفاده از ایده خطی سازی با فیدبک و خطی سازی سیستم، به کمک معیار پایداری لیاپانوف گین های کنترل کننده را تعیین نمود. در این تحقیق با ترکیب معادلات سینماتیک و سینتیک محرک، با معادلات بنیادی، تبدیل فاز و انتقال حرارت یک مدل برای تحلیل رفتار محرک از جنس آلیاژ حافظه دار ارائه گردید. سپس به منظور کنترل موقعیت این محرک از یک کنترل فازی نوع ۲ بهینه شده با الگوریتم زنبور عسل استفاده گردید. به منظور مقایسه نتایج حاصل از عملکرد کنترل کننده طراحی شده با سیستم های کنترلی دیگر، سیستم بوسیله کنترل کننده فازی نوع ۱ و کنترل PID بهینه شده با الگوریتم زنبور عسل نیز کنترل گردید.

موتورهای DC، توجه پژوهشگران را به عنوان محرک در سیستم های رباتیک در ابعاد کوچک به خود جلب نموده است. رفتار مکانیکی ماکروسکوپی یک آلیاژ حافظه دار را می توان به دو دسته کلی اثر حافظه داری شکلی و خاصیت فوق کشسانی تقسیم کرد. پدیده حافظه داری شکلی به دلیل یک تغییر حالت بین دو فاز مادر (آستنیت با یک ساختار کریستالی مکعب شکل) و محصول (فاز مارتنزیت با ساختار لوزی شکل) می باشد. در این فاز، ماده استحکام کمی دارد، به نحوی که اگر شکل ظاهری ماده را تغییر دهیم به راحتی می توان با اعمال حرارت به اندازه ای که در فاز مادر قرار گیرد آن را به حالت اولیه خود باز گردانیم. در شکل ۱ این تغییر ساختاری نشان داده شده است.



شکل ۱: مراحل تغییر حالت یک سیم از جنس آلیاژ حافظه دار [۱].

حالت فوق کشسان زمانی اتفاق می افتد که به آلیاژ حافظه دار که در فاز آستنیت قرار دارد، نیروی بزرگی اعمال گردد. تنش حاصل از این نیرو باعث انتقال ماده به فاز مارتنزیت خواهد شد، در این حالت با حذف تنش آلیاژ به فاز آستنیت برگشته و به شکل اولیه خود بر می گردد. شکل ۲ خاصیت فوق کشسان آلیاژ حافظه دار را نشان می دهد.



شکل ۲: خاصیت فوق کشسان یک سیم از جنس آلیاژ حافظه دار [۲].

سینگ و همکارانش [۳]، از آلیاژ حافظه دار در کاهش ارتعاشات موتور یک هلیکوپتر استفاده کرد. وی با استفاده از یک محرک از جنس آلیاژ حافظه دار با نوع تفاضلی و یک ترمز اصطکاکی برای تحریک پره های روتور با هدف کاهش لرزش در موتور بالگرد استفاده نمود.

از جمله کاربردهای دیگر آلیاژ حافظه دار در صنایع فضایی می توان به جایگزینی سیستم های هیدرولیکی و پمپ های سنگین در حرکت بالچه های انتهایی بالها با محرک های از جنس آلیاژ حافظه دار اشاره نمود [۱]. برای اولین بار نابتول به عنوان کوپلر در هواپیمای F-14 به منظور اتصال خطوط هیدرولیکی فشار قوی استفاده گردید [۵].

وایدیانانان و همکارانش [۶]، یک ربات هیدرو استاتیک با کاربرد در صنایع دریایی طراحی نمودند. در این ربات از چهار فنر با جنس آلیاژ

$$b_M = \frac{-a_M}{C_M} \quad (۷)$$

در اینجا ξ_A کمترین مقدار ξ در طی گرم شدن می باشد M_f و M_s به ترتیب دمای پایانی و شروع فاز مارتنزیت می باشد.
الهی نیا [۲] با انجام آزمایشاتی کامل ترین شرط تبدیل فاز مستقیم و معکوس را به گونه ای ارائه نمود که تاثیر بارگذارهای پیچیده (تاثیر هم زمان تغییر دما و تنش) در آن لحاظ شود.

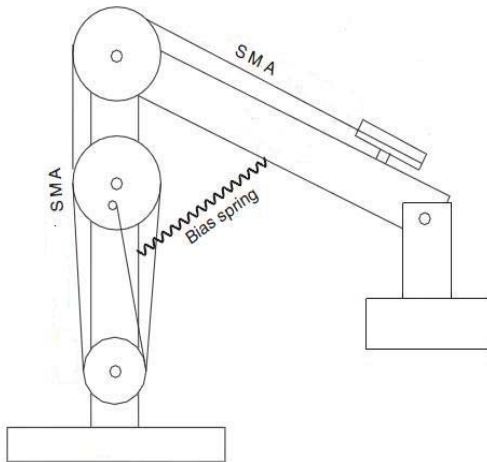
جدول ۱: شرایط تبدیل فاز آلیاژ حافظه دار تحت بازگذاری پیچیده

تبدیل فاز از آستنیت به مارتنزیت	تبدیل فاز از مارتنزیت به آستنیت
$\dot{T} - \frac{\dot{\sigma}}{C_M} < 0$	$\dot{T} - \frac{\dot{\sigma}}{C_A} \geq 0$
$M_s + \frac{\sigma}{C_M} \geq T \geq M_f + \frac{\sigma}{C_M}$	$A_f + \frac{\sigma}{C_A} \geq T \geq A_s + \frac{\sigma}{C_A}$

در غیر این صورت هیچ تبدیل فازی رخ نمی دهد.

۳-۲ مدل سینماتیک و دینامیک

سیستم دینامیکی مورد مطالعه در این تحقیق یک بازوی ربات است که در آن از آلیاژ حافظه دار به عنوان محرک استفاده گردیده است [۲].



شکل ۳: بازوی یک درجه آزادی با محرکی از جنس آلیاژ حافظه دار

مدل دینامیک غیر خطی بازوی ربات بصورت معادله ۸ می باشد:

$$I_e \ddot{\theta} = \tau_w(\theta) - [c\dot{\theta} + \tau_g(\theta) + \tau_s(\theta)] \quad (۸)$$

در اینجا τ_w گشتاور حاصل از سیم SMA می باشد، τ_g گشتاور ناشی از با گرانشی و τ_s گشتاور حاصل از فنر است. I_e اثر ممان اینرسی ناشی از جرم بازو و وزنه می باشد. و c ضریب استهلاک پیچشی است.

۲-۲ مدلسازی محرک از جنس آلیاژ حافظه دار

مدلسازی محرک از جنس آلیاژ حافظه دار را می توان به چهار قسمت شامل، مدل بنیادی، مدل تبدیل فاز، مدل دینامیک و سینماتیک و مدل انتقال حرارت تقسیم نمود.

۲-۱ مدل بنیادی

مدل بنیادی رابطه بین نرخ تنش، نرخ کرنش، و نرخ دما و کسر مارتنزیتی بصورت رابطه ۱ می باشد.

$$\dot{\xi} = E\dot{\varepsilon} + \theta_T \dot{T} + \Omega \dot{\xi} \quad (۱)$$

در اینجا E مدول یانگ، θ_T ضریب انبساط حرارتی، $\Omega = -E\varepsilon_0$ می باشد، که در آن ε_0 کرنش اولیه سیم می باشد.

۲-۲ مدل تبدیل فاز

به دلیل وجود پدیده هیستریزس در آلیاژهای حافظه دار معادلات تبدیل فاز از آستنیت به مارتنزیت و بالعکس متفاوت می باشد.

۲-۲-۱ تبدیل معکوس

تبدیل معکوس تبدیلی است که در آن ماده در اثر گرم شدن از فاز مارتنزیت به فاز آستنیت تبدیل می گردد:

$$\xi = \frac{\xi_M}{2} * (\cos[a_A(T - A_s) + b_A\sigma] + 1) \quad (۲)$$

$$a_A = \frac{\pi}{A_f - A_s} \quad (۳)$$

$$b_A = \frac{-a_A}{C_A} \quad (۴)$$

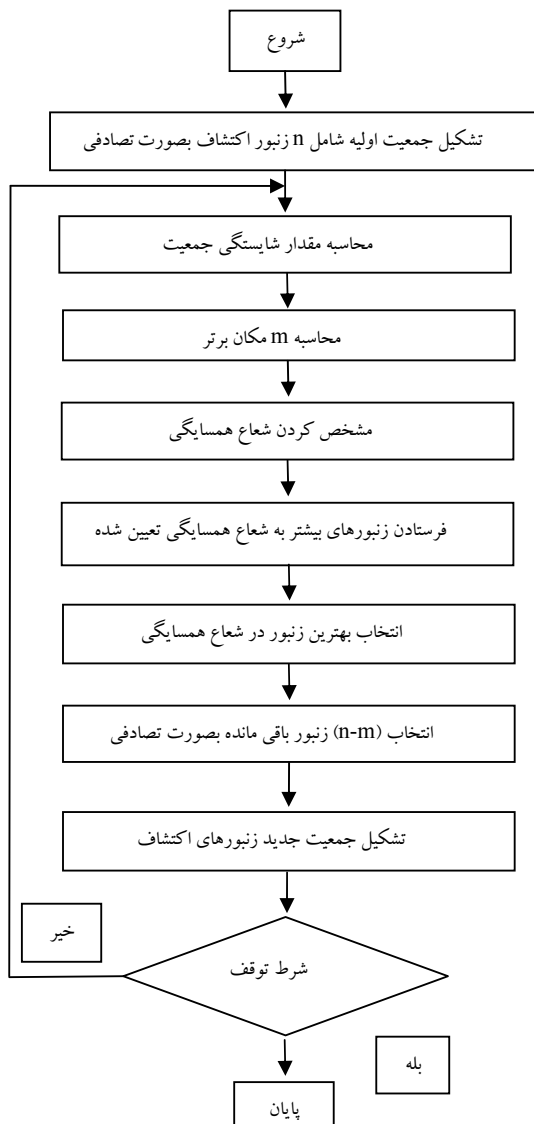
در اینجا ξ کسر مارتنزیتی می باشد که دارای مقداری در بازه صفر تا یک است، زمانی که ξ برابر یک باشد، آلیاژ حافظه دار کاملاً در فاز مارتنزیت می باشد و $\xi = 0$ بیانگر تبدیل آلیاژ به حالت آستنیت کامل می باشد. ξ_M برابر با کسر مارتنزیتی قبل از گرم شدن می باشد. T دمای سیم و σ تنش سیم می باشد. A_f و A_s دمای پایان و آغاز تبدیل فاز به حالت آستنیت می باشد.

۲-۲-۲ تبدیل مستقیم

تبدیل مستقیم تبدیلی می باشد که در آن آلیاژ حافظه دار بر اثر سرد شدن از فاز آستنیت به فاز مارتنزیت تبدیل می شود و رابطه تبدیل فاز به صورت معادله ۵ می باشد.

$$\xi = \frac{1 - \xi_A}{2} * \cos[a_M(T - M_f) + b_M\sigma] + \frac{1 + \xi_A}{2} \quad (۵)$$

$$a_M = \frac{\pi}{M_s - M_f} \quad (۶)$$



شکل ۴: نمودار گردش برای الگوریتم پایه زنبور عسل

۴- تعریف تابع هزینه

به طور کلی مشخصات پاسخ سیستم مانند ماکزیمم فراچش، زمان صعود، زمان نشست و انتگرال قدر مطلق خطای پاسخ سیستم می تواند یک معیار مناسب سنجش کارایی کنترل کننده، باشد. تابع هزینه شامل این ویژگی ها، بصورت معادله ۱۱ بیان می گردد.

$$F(k) = (1 - e^{-\beta}) * (M_p + E_{ss}) + (e^{-\beta}) * (T_s - T_r) \quad (11)$$

۵- طراحی کنترل کننده

در این بخش با اعمال کنترل کننده های PID، فازی نوع ۱ و فازی نوع ۲ که پارامترهای هر سه با استفاده از الگوریتم زنبور عسل بهینه گردیده اند موقعیت دقیق بازوی ربات کنترل گردید.

مدل سینماتیکی رابطه بین نرخ کرنش و جابجایی زاویه ای را بیان می نماید و رابطه آن بصورت معادله ۹ می باشد:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{-2r_p \dot{\theta}}{l_0} \quad (9)$$

که در آن r_p شعاع فرقره ها و l_0 طول اولیه سیم می باشد. طول اولیه سیم SMA به گونه ای انتخاب شده است که در اثر یک سیکل کامل بازو می تواند در بازه ۴۵- درجه تا ۹۰ درجه حرکت نماید. در جدول ۳ پارامترهای مورد استفاده برای مدل آورده شده است.

۲-۴ مدل انتقال حرارت

مدل انتقال حرارت سیم شامل گرمایش بوسیله جریان الکتریسیته و انتقال حرارت بوسیله جابجایی آزاد می باشد. معادله انتقال حرارت بصورت معادله ۱۰ می باشد:

$$mC_p \frac{dT}{dt} = Ri^2 - h_c A_c (T - T_{\infty}) \quad (10)$$

در اینجا m جرم بر واحد طول، C_p ضریب گرمای ویژه، T دما و R مقاومت بر واحد طول و h_c ضریب جابجایی گرمایی سیم می باشد.

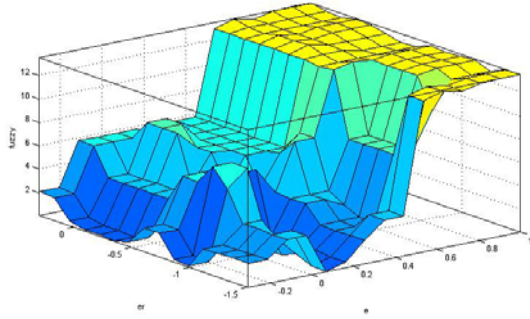
۳- الگوریتم زنبور عسل

الگوریتم زنبور عسل، یک الگوریتم بهینه سازی می باشد که از رفتار و تعاملات گروه های زنبور عسل در جستجوی منابع غذایی الهام گرفته شده است و اولین بار در سال ۲۰۰۵ توسعه یافت [۱۲]. زنبورهای جستجوگر، گلزارهای مختلف را با توجه به کیفیت غذا و مقدار انرژی مورد نیاز برای رسیدن به آنجا ارزیابی می کنند. زنبورهای پیش آهنگ پس از شناسایی گلزارها و منابع غذا به کندو بر می گردند و این اطلاعات را به بقیه زنبورها منتقل می سازند. با توجه به این اطلاعات گلزارها می توانند مورد بازدید تعداد دقیق زنبورها قرار گیرند، و یا این که رها شوند. در جدول ۲ پارامترهای الگوریتم بهینه سازی زنبور عسل ارائه شده است:

جدول ۲ پارامترهای الگوریتم زنبور عسل

پارامتر	مقدار
m	10
e	4
n_{ep}	5
n_{sp}	3
تعداد ذرات	40
تعداد تکرار	50

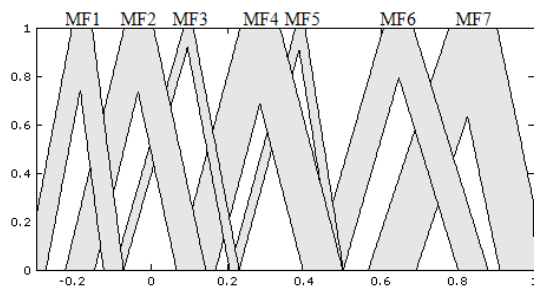
فلوچارت پیشنهاد شده برای الگوریتم پایه را می توان بصورت شکل ۴ معرفی نمود.



شکل ۷: سطح کنترل فازی

۳-۵ طراحی کنترل کننده فازی نوع ۲

در تئوری کلاسیک مجموعه‌ها، در حقیقت عضویت عناصر از یک الگوی صفر و یک تبعیت می‌کند. به گونه ای که یک عنصر، یا عضو مجموعه است یا نیست. اما وضعیت عضویت یک عضو در یک مجموعه خاص برخلاف تئوری کلاسیک مجموعه‌ها که مطلق است، در مجموعه های فازی با درجه عضویت آن عضو نسبت به مجموعه فازی مورد نظر مشخص و سنجیده می شود و با استفاده از تابع پیوسته $\mu(x)$ قابل مدلسازی و بیان است. که x بیانگر یک عضو مشخص و $\mu(x)$ تابعی فازی است که درجه عضویت x در مجموعه مربوطه را تعیین می کند و مقدار آن بین صفر و یک است. بنابراین در فازی نوع ۱ درجه عضویت هر عضو مشخص، یک مقدار کریسپ می باشد در صورتی که در فازی نوع ۲ درجه عضویت هر عضو بوسیله مقادیر فازی توصیف می گردد. شبکه های فازی نوع ۲ توانایی بالایی در شناسایی و کنترل سیستم های غیرخطی، سیستم های متغیر با زمان و نیز سیستم های دارای نامعینی دارند. تعیین توابع عضویت و قواعد فازی بکار رفته در مرحله استنتاج در طراحی کنترل فازی بر اساس معیار سعی و خطا علاوه بر وقت گیر بودن امکان تعیین بهینه این مقادیر بسیار کم می باشد. در این مقاله با استفاده از الگوریتم هوشمند زنبور عسل سعی شده مقادیر بهینه این پارامترها را به نحوی تعیین نماییم که سیستم دارای پاسخ زمانی مطلوبی باشد. ورودی کنترل فازی نوع ۲ طراحی شده خطا و مشتق خطا و خروجی آن مقدار ولتاژ اعمالی به محرک می باشد.



شکل ۸: توابع عضویت ورودی خطا

۱-۵ طراحی کنترل کننده PID

در این بخش موقعیت محرک آلیاژ حافظه دار بوسیله کنترل کننده PID بهینه شده با الگوریتم زنبور عسل کنترل شده و نتایج حاصل از شبیه سازی ارائه گردیده است. بخشی از دلیل رواج کنترل کننده های PID به دلیل رفتار مقاوم آنها در محدوده گسترده ای از شرایط کاری و بخش دیگر به دلیل سادگی عملیاتی آنها می باشد. به طور کلی کنترل کننده PID دارای تابع تبدیل بصورت معادله ۱۲ می باشد.

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (12)$$

در اینجا K_p بهره تناسبی، K_d بهره مشتقی و K_i بهره انتگرالی می باشد. به دلیل رفتار غیر خطی آلیاژ حافظه دار و همچنین پدیده هیستریزس تعیین دقیق پارامترهای کنترل کننده PID بسیار دشوار می-باشد. انتخاب این سه ضریب نوعی تفحص در فضای سه بعدی است.

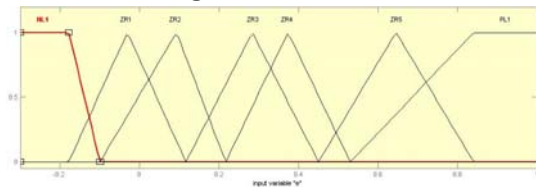
۲-۵ طراحی کنترل کننده فازی نوع ۱

منطق فازی تکنولوژی جدیدی است که شیوه های مرسوم طراحی و مدلسازی یک سیستم را که نیازمند ریاضیات پیشرفته و پیچیده است، با استفاده از دانش فرد خبره با هدف ساده، دقیق و کارآمدتر شدن طراحی سیستم را تا اندازه زیادی تعدیل و تکمیل می نماید.

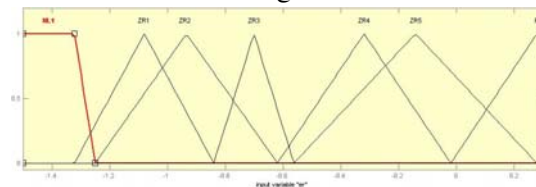
طراحی بهینه کنترل کننده فازی نیازمند تعیین دقیق پارامترهای این کنترل کننده از قبیل توابع عضویت، قواعد فازی بکار رفته در مرحله استنتاج و... می باشد. برای انجام فرایند بهینه سازی کنترل کننده فازی متغیرهای بهینه سازی مربوط به ورودی و خروجی کنترل کننده و همچنین قواعد فازی بکار رفته در مرحله استنتاج، جمعا ۷۰ متغیر می باشد، که بصورت بردار معادله ۱۳ تعریف می گردد.

$$x = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_{70}] \quad (13)$$

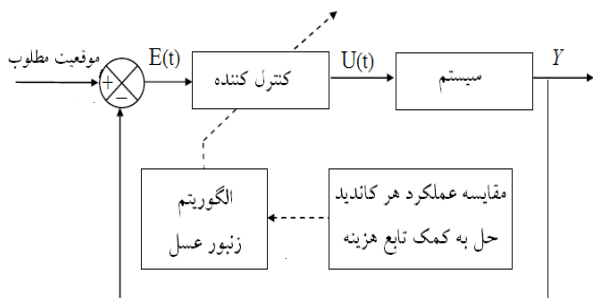
متغیرهای بهینه سازی برای ۱۴ تابع عضویت ورودی کنترل کننده فازی یعنی خطا و مشتق خطا و همچنین ۷ تابع عضویت خروجی آن، ۲۱ متغیر از ۷۰ متغیر را تشکیل می دهد، ۴۹ متغیر بهینه سازی باقی مانده مربوط به قواعد فازی بکار رفته در مرحله استنتاج می باشد.



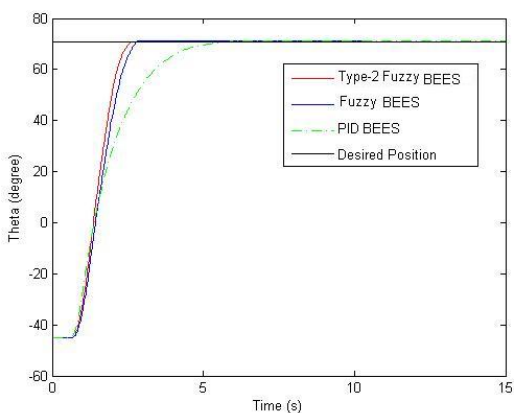
شکل ۵: توابع عضویت خطا



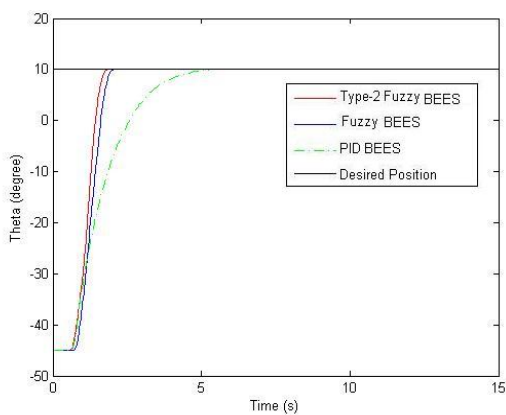
شکل ۶: توابع عضویت مشتق خطا



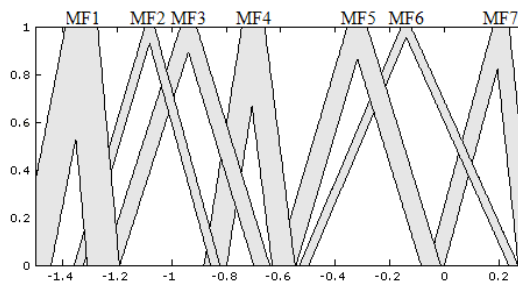
شکل ۱۱: بلوک دیاگرام ارتباط بین الگوریتم زنبور عسل و سیستم کنترل کننده



شکل ۱۲: پاسخ زمانی سیستم برای زاویه مطلوب 71°



شکل ۱۳: پاسخ زمانی سیستم برای زاویه مطلوب 10°

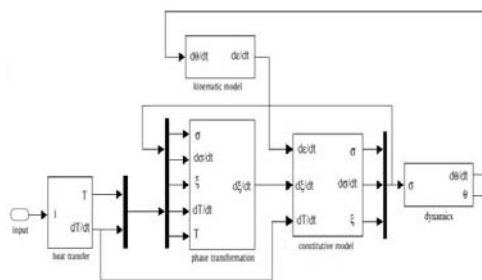


شکل ۹: توابع عضویت ورودی مشتق خطا

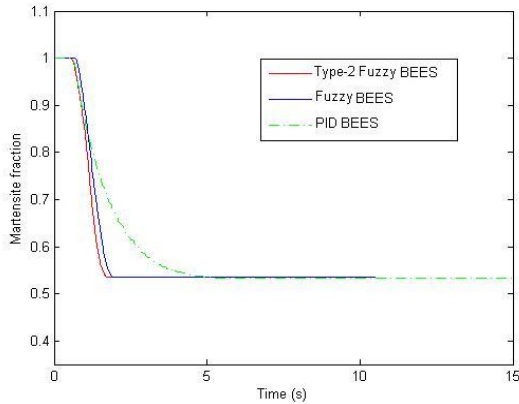
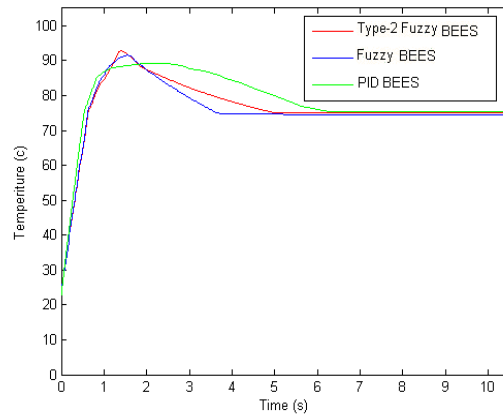
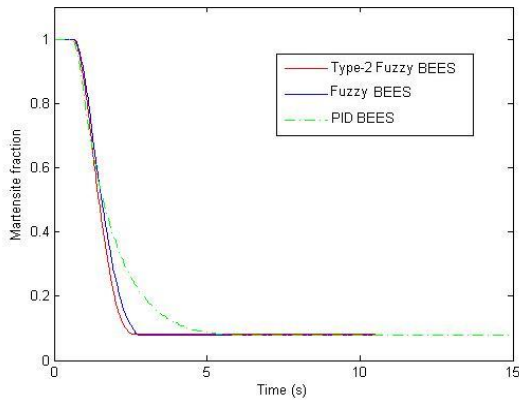
به منظور طراحی کنترل کننده فازی نوع ۲، از تولباکس IT2FLT استفاده گردید. تعداد ۳۴ متغیر بهینه سازی توابع عضویت ورودیها و خروجی کنترل کننده فازی نوع ۲ و ۴۹ متغیر بهینه سازی مربوط به قواعد فازی بکار رفته در مرحله استنتاج، به کمک الگوریتم بهینه سازی زنبور عسل تعیین گردید.

۶- شبیه سازی

در این قسمت به کمک نرم افزار MATLAB کنترل کننده های PID، فازی نوع ۱، فازی نوع ۲ بهینه شده با الگوریتم زنبور عسل را بر سیستم اعمال کرده و نتایج حاصل از شبیه سازی ارائه می گردد. در ابتدا شبیه سازی سیستم ریاتیک نشان داده شده در شکل ۳ که از عملگری از جنس آلیاژ حافظه دار در آن بکار رفته در نرم افزار MATLAB/simulink انجام شده است. بلوک دیاگرام این شبیه سازی در شکل ۱۰ آورده شده است. شکل ۱۱ ساختار و نحوه ارتباط الگوریتم بهینه سازی با سیستم کنترلی را نشان می دهد و همچنین در شکل های ۱۲ تا ۱۷ پاسخ زمانی و خصوصیات آلیاژ ارائه گردیده است. پاسخ زمانی سیستم بیانگر توانایی الگوریتم بهینه سازی زنبور عسل در تعیین پارامترهای بهینه سیستم کنترلی می باشد.



شکل ۱۰: بلوک دیاگرام مدل یک سیم از جنس آلیاژ حافظه دار در سیمولینک

شکل ۱۳: منحنی تغییرات کسر مارتنزیتی برای زاویه مطلوب 10° درجهشکل ۱۴: منحنی تغییرات دما برای زاویه مطلوب 10° شکل ۱۷: منحنی تغییرات کسر مارتنزیتی برای زاویه مطلوب 71° درجه

تغییرات میزان کسر مارتنزیتی به ازای اعمال سه نوع کنترل کننده طراحی شده در شکل های ۱۶ و ۱۷ ارائه گردیده است. ماده در ابتدای فرایند به صورت کامل در فاز مارتنزیت قرار دارد بنابراین مقدار کسر مارتنزیتی آلیاژ در این حالت برابر یک می باشد. با افزایش دمای آلیاژ حافظه دار مقدار کسر مارتنزیتی کاهش یافته و آلیاژ به سمت فاز آستنیت پیش می رود و مقدار نهایی کسر مارتنزیتی متناسب با زاویه بازو می باشد. همانگونه که در شکل ها پیداست با نزدیک شدن به زاویه مطلوب با کاهش رشد دما سرعت کاهش کسر مارتنزیتی نیز کاهش یافته و با ثابت شدن دما میزان کسر مارتنزیتی نیز بدون تغییر باقی می ماند.

۷- نتیجه گیری

در این مقاله ابتدا معادلات و روابط حاکم بر رفتار آلیاژهای حافظه دار استخراج گردیده و سپس مدلسازی آن در نرم افزار MATLAB/Simulink انجام گرفته است. در این مقاله به منظور دستیابی به یک سیستم کنترلی با عملکرد بهینه، پارمترهای سیستم کنترلی به گونه ای تعیین می گردد که پاسخ زمانی سیستم یک پاسخ مطلوب باشد. به

شکل ۱۵: حلقه هیستریزس محرک

شکل ۱۴ دمای عملگر به ازای اعمال سه کنترل کننده طراحی شده را نشان می دهد. دمای اولیه سیم برابر با $23^\circ C$ فرض شده است. در این دما سیم به طور کامل در فاز مارتنزیت قرار داشته و با اعمال جریان به سیم دمای سیم افزایش یافته و میزان کسر مارتنزیتی کاهش می یابد و آلیاژ به سمت فاز آستنیت پیش می رود. همانطور که از منحنی تغییرات دما به ازای هر سه کنترل کننده مشاهده می گردد مقدار افزایش دمای محرک با نزدیک شدن بازو به زاویه مطلوب کند شده و با کاهش جریان و تبادل دما با محیط دمای سیم کاهش یافته در نهایت با قرار گرفتن بازو در زاویه مطلوب و ثابت شدن ولتاژ اعمالی میزان دما به یک مقدار ثابت رسیده است.

[2] M. H. Elahinia. "Effect of System Dynamics on Shape Memory Alloy Behavior and Control". PHD Thesis. Virginia Tech, Blacksburg. 2004

[3] Singh, J. Sirohi, K. Chopra, I. "An Improved Shape Memory Alloy Actuator for Rotor Blade Tracking" Journal of Intelligent Material Systems & Structures, Vol.14, No. 12, 2003, PP.767-786

[4] Rediniotis, O. K., Wilson, L. N., Lagoudas, D. C., and Khan, M. M., "Development of a shape memory alloy actuated biomimetic hydrofoil", Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol. 13, No. 1, 2002, pp.35-49.

[5] Paiva, A. and Savi, M. A., "An overview of constitutive models for shape memory alloys", Hindawi Publishing Corporation, Mathematical problems in Engineering, Article ID 56876, 2006, pp 1-30.

[6] Vaidyanathan, R., Chiel, H. J., and Quinn, R. D., "A hydrostatic robot for marine applications", Robotics and Autonomous Systems, Vol. 30, No. 1-2, 2000, pp. 103-113.

[7] Chang-jun, Q., pei-sun, M., qin, Y., "A prototype micro wheeled robot Using Shape Memory Alloy Actuator" Sensor and Actuators A, Vol.113, 2004, pp.94-99.

[8] Shamel, E., Alasty, A., Salaarich, H., "Stability analysis and nonlinear control of a miniature shape memory alloy actuator for precise applications", Elsevier Mechatronics, Vol. 15, No. 4, 2005, pp. 471-486.

[9] Kuribayashi, K. "A New Actuator of a Joint Mechanism Using NiTi Alloy Wire." International Journal of Robotics Research, Vol. 4, No. 4, 1986, pp.103-108.

[10] Moallem, M., "Deflection control of a flexible beam using shape memory alloy actuators", Smart Mater. Struct, Vol. 12, No. 6, 2003, pp. 1023-1027.

[11] Moallem, M., Lu, J., "Application of shape memory alloy actuators for flexure control: Theory and Experiment", IEEE/ASME Trans. On Mechatronics, Vol. 10, No. 5, 2005, pp.3653-3658

[12] D. T. Pham, Ghanbarzadeh A, Koc E, Otri S, Rahim S and Zaidi M. "The Bees Algorithm Technical Note," Manufacturing Engineering Centre, Cardiff University, UK, 2005

[13] Zwe-Lee Gaing. "A Particle Swarm Optimization Approach for Optimum Design of PID Controller in AVR System", IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 19, no. p-p 384-3912, June. 2004.

منظور کنترل موقعیت بازوی ربات از سه کنترل کننده فازی نوع ۱، کنترل کننده فازی نوع ۲ و همچنین کنترل کننده PID بهینه شده با الگوریتم زنبور عسل استفاده گردید. نتایج حاصل از شبیه سازی بیانگر کارایی بهتر کنترل کننده فازی نوع ۲ نسبت به سایر سیستم های کنترل کننده می باشد.

جدول ۳: پارامترهای مدل استفاده شده

$(\theta_f) = 0.85$ ضریب انبساط حرارتی	$(m) = 1.14 \times 10^{-4}$ جرم به ازای واحد طول
$Mpa/^\circ C$	Kg
$(\sigma_0) = 98.1$ تنش اولیه در سیم	$(\rho) = 6.45 g/cm^3$ چگالی
Mpa	
$(T_\infty) = 23^\circ C$ دمای محیط	$(A_c) = 4.71 \times 10^{-4} m^2$ سطح مقطع سیم
$(c_p) = 840$ ضریب گرمای ویژه	$(M_s) =$ دمای آغازین فاز مارتنزیت
$J/Kg^\circ C$	$52^\circ C$
$(R) = 45$ مقاومت به ازای واحد طول	$(M_f) = 42^\circ C$ دمای پایانی فاز مارتنزیت
Ω	
$(h_c) = 150$ ضریب جابجایی گرمایی	$(A_s) = 68^\circ C$ دمای آغازین فاز آستنیت
$Jm^{-2}C^{-1}s^{-1}$	
$(l_0) = 900 mm$ طول اولیه سیم	$(A_f) = 78^\circ C$ دمای پایانی فاز آستنیت
$(m_p) = 57.19 g$ جرم بار	$(E_a) = 75 Gpa$ مدول یانگ فاز آستنیت
$(m_a) = 18.7 g$ جرم لینک متحرک	$(E_m) = 78$ مدول یانگ فاز مارتنزیت
	Gpa
$(K) = 387 Nm^{-1}$ سختی فنر	$(r_p) = 8.25 mm$ شعاع پولی
	$(\epsilon_0) = 0.04\%$ کرنش اولیه در سیم

مراجع

[1] Yu Feng Wang, "Methods for modeling and control of systems with hysteresis of shape memory alloy actuators", a Ph.D. Thesis in Department of Mechanical and Industrial Engineering, Concordia University, Montreal, Quebec, Canada, ISBN 978-0-494-23843-1, 2006.