

کنترل پیشرفته ی سیستم های جوشکاری GMAW با استفاده از شبکه های عصبی تطبیقی

یلدا فرازمند
گروه مهندسی برق
دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

بهزاد کثیری مشهد
گروه مهندسی برق
دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج
Kasiri@gmail.com

چکیده: GMAW (Gas Metal Arc Welding) به معنای جوشکاری قوس فلزی تحت پوشش گاز محافظ می باشد. این ابزار اولین بار در سال 1920 به دنیا ی صنعت معرفی شد و از سال 1948 به طور رسمی وارد بازار جوشکاری شد. در ابتدا از GMAW برای جوشکاری آلومینیوم تحت پوشش گاز محافظ خنثی استفاده می شد و به همین دلیل به آن (MIG (Metal Inert Gas به معنای جوشکاری تحت پوشش گاز خنثی نیز اطلاق می شود. پیشرفت های بعدی این فرآیند شامل انتقال فلز به صورت اتصال کوتاه (GMAW-S) بوده است که در آن به وسیله انرژی حرارتی پایین، امکان کاربرد در شرایط مکانی نامناسب فراهم می شود. این فرآیند دارای تجهیزات اتوماتیک یا نیمه اتوماتیک است و قابلیت جوشکاری اغلب فلزات را دارا می باشد، نیاز به پاک کردن رسوبات آن در حد صفر است در ضمن تاب برداشتن فلز در این فرآیند کاهش یافته و نیازی به پرداختکاری فلز را از بین می برد. در این مقاله قسمت های مختلف کنترلی این ابزارها مورد بررسی قرار می گیرد.

کلمات کلیدی: GMAW، طول قوس، شبکه ی عصبی تطبیقی، سیستم دینامیکی غیر خطی.

1-مقدمه:

امروزه در صنعت در فرآیند GMAW الکتروود مصرفی، که تحت پوشش گاز محافظ قرار دارد، به صورت اتوماتیک تغذیه می شود و عواملی مانند خصوصیات الکتریکی قوس و سرعت رسوب به صورت اتوماتیک و تنها سرعت انتقال، هدایت و تنظیم مکان گان به صورت دستی انجام می گیرد. به طور کلی کنترل کلیه فرآیند توسط ابزار های زیر انجام می گیرد:

1-گان و کابل ها 2-واحد تغذیه سیم جوش 3-منبع تغذیه

__گان و کابل ها: ورود گاز به منطقه قوس، هدایت الکتروود مصرفی به مجرای اتصال و اعمال نیروی الکتریکی به مجرای اتصال و تنظیم اتوماتیک طول قوس از وظایف گان و کابل ها می باشد و با فشار دادن سویچ گان، گاز، برق و سیم جوش به طور همزمان وارد عمل می شوند.

__واحد تغذیه سیم جوش: الکتروود را در طول گان به سمت قطعه کار هدایت می کند و به صورت نیمه اتوماتیک- سرعت ثابت و دارای کنترل کننده هایی برای تنظیم اتوماتیک نوسانات ولتاژ می باشند.

__منبع تغذیه: رساندن نیروی الکتریکی به الکتروود و قطعه کار برای ایجاد قوس از وظایف این قسمت بوده و انواع اصلی منابع تغذیه جریان مستقیم شامل موتور ژنراتور (چرخشی) و ترانسفورماتور-رکتیفایر (استاتیک) می باشد.

این فرایند دارای چهار حالت اصلی انتقال می باشد: انتقال اسپری محوری. انتقال قطره ای . انتقال پالسی . انتقال اتصال کوتاه .

انتقال اسپری محوری: در این حالت فلز به شکل قطراتی هم اندازه یا کوچکتر از قطر الکتروود، در یک مسیر مستقیم از الکتروود به سمت حوضچه جوش هدایت می شوند و قوس آن بسیار یکنواخت و پایدار است. این انتقال در سطح جریان می نیمم در الکتروودها با قطرهای مختلف ایجاد می شود که به این سطح جریان، "جریان انتقال" گویند .

انتقال قطره ای: در این حالت فلز به شکل قطراتی با اندازه های متفاوت، در حالت نا منظم و تصادفی در طول قوس انتقال می یابد و این امر باعث پاشش و درز جوش به نسبت نا همواری می شود. در ضمن با استفاده از پوشش CO₂ و تنظیم شرایط جوشکاری و قرار دادن الکتروود در زیر حوضچه جوش مذاب می توان مقدار جرقه و پاشش را کاهش داد .

انتقال پالسی: در برخی منابع تغذیه، شکل موج و فرکانس به دقت کنترل می شوند و جریان تولیدی این منابع شامل جریان زمینه و جریان پالسی می باشد. در طول جریان پالسی، یک یا چند قطره سیم جوش مذاب شکل گرفته و منتقل می شود. فرکانس و دامنه جریان پالسی، سطح انرژی قوس و نرخ ذوب سیم جوش را کنترل می کند. با کاهش انرژی متوسط قوس و نرخ ذوب سیم جوش، وضعیت ایده آل انتقال فلز به شیوه پالسی مهیا می شود .

انتقال اتصال کوتاه: در این حالت انتقال با انرژی کم و حرارت ورودی ضعیف صورت می گیرد و هنگامی که الکتروود با حوضچه مذاب روی قطعه کار در تماس است تمام فلز انتقال پیدا می کند و نفوذ در جوش بسیار کم عمق می باشد و برای جوشکاری قطعات نازک مناسب است .

برای شبیه سازی این پروسه مدل ریاضی همراه با مدارهای الکتریکی و بحث های دینامیکی و نرخ ذوب ماشین جوش، سیم ها، الکتروودها و قوس الکتریکی مطرح می شوند . ساختار اصلی کنترلر GMAW شامل کنترلر طول قوس کنترلر انتقال فلز و کنترلر حلقه درونی جریان جوش توسط کنترلر PI می باشد. برای کنترل طول قوس کنترلر غیر خطی با فیدبک خطی در نظر گرفته شده است . برای کنترل انتقال فلز، ساین یکسان قطره برای مقداردهی اولیه پالس مورد نیاز می باشد که به وسیله محاسبه مقدار الکتروود ذوبی بین جریان پالس در طی عملیات جوش بدست می آید علاوه بر دو کنترلر طول قوس و انتقال فلز، الگوریتم کاهش طول قوس نیز برای تنظیم قوس و کاهش گرمای ورودی به قطعه کار مورد استفاده قرار می گیرد. در این مقاله ما به بررسی و طراحی کنترلر طول قوس می پردازیم و نشان می دهیم که با استفاده از شبکه های عصبی تطبیقی می توان طول قوس را در سطح ثابتی تنظیم کرد.

3- کنترل سیستم های GMAW:

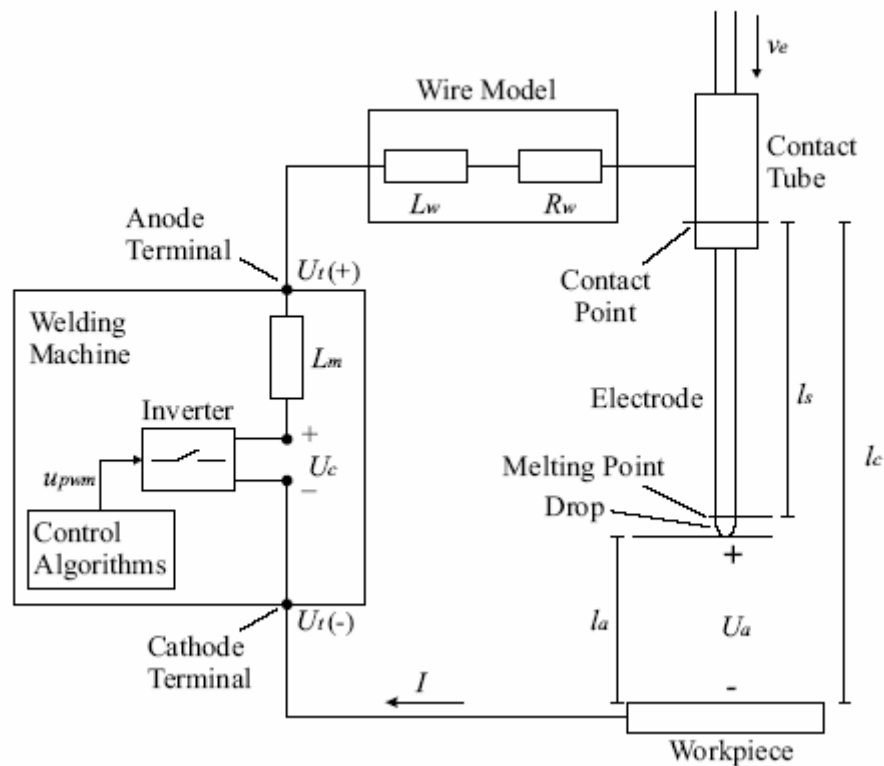
در این مقاله هدف اصلی ما توسعه ی شمای کنترلی پیشرفته برای دست یابی به جوش با کیفیت بهتر است. برای این منظور یک مدل ریاضی برای توصیف فرآیند معرفی می کنیم و سپس سیستم کنترلی مناسب پیشنهاد می کنیم.

3-1 بررسی کلی سیستم:

ما در اینجا به طور اختصاصی به بررسی ماشین های جوش Migatronic's FLEX400 می پردازیم. این ماشین ها از انواع ماشین های دیجیتال می باشند بنابر این نیاز به نرخ برای نمونه برداری Ts به عنوان مثال 50Khz داریم. در این سیستم کنترلی PWM محاسبه شده به Inverter فرستاده می شود. برای ارائه ی مدل الکتریکی پارامتر های زیر را تعریف می کنیم.

Uc: ولتاژ کنترلی Inverter . Lm : اندوکتانس سیم پیچ محافظ Inverter (اندوکتانس ماشین). Ut: ولتاژ ترمینال ماشین. Lw: اندوکتانس کلی سیم ها. Rw: مقاومت کلی سیم ها. ve: سرعت عقب گرد الکتروود: vm: سرعت الکتروود.

با در نظر گرفتن U_c به عنوان ورودی L_m مقدار کوچکی خواهد شد که می توان از آن صرف نظر کرد. همچنین برای مدل سیم ها دو پارامتر R_w و L_w در نظر گرفته می شود. در مدل الکتروود افت ولتاژ روی آن بوسیله R_e لحاظ می گردد. l_s به عنوان طول الکتروود می باشد. شکل 1 بیانگر توصیف سیستم GMAW می باشد.



شکل 1: توصیف سیستم GMAW

دو پارامتر U_{tm} : ولتاژ ترمینال اندازه گیری شده و I_{wm} : جریان جوشکاری اندازه گیری شده را به عنوان خروجی فرآیند می توان در نظر گرفت. l_{ar} : طول قوس مرجع و l_a : طول قوس حقیقی می باشد که بطور مستقیم قابل اندازه گیری نیست.

2-3 کنترل غیرخطی طول قوس:

در این قسمت مدل دینامیکی طول قوس را بررسی می کنیم. می توان با استفاده از مدل مداری به رابطه ی زیر رسید

$$U_t = R_{w0}I + L_{w0}\dot{I} + R_{e0}I + l_s\rho_m\dot{I} + k_2(I, l_a) \quad (1-3)$$

با توجه به مدل نرخ ذوب حالت دائمی [1] معادله 3-

2 را بدست می آوریم تغییرات l_a با سرعت الکتروود و سرعت ذوب رابطه مستقیم دارد که در معادله 3-3 نشان داده

$$l_a = v_m - v_e = k_1I + k_2I^2(l_e - l_a) - v_e \quad (2-3) \quad v_m = k_1I + k_2I^2(l_e - l_a) \quad (3-3)$$

شده است.

متغیر دیگر دینامیک جریان است که در عمل دارای تابع انتقال درجه 1 زیر می باشد

$$I = \frac{1}{s\tau_z + 1}I_r \Rightarrow$$

$$\dot{I} = -\frac{1}{\tau_z}I + \frac{1}{\tau_z}I_r$$

(4-3) در اینجا گین حالت دائمی را 1 می گیریم. سیستم دینامیکی غیر خطی به همراه

متغیر های حالت به صورت زیر بیان می شود.

$$\begin{aligned} u &= I_r & x_1 &= I & \dot{x} &= f(x) + g(x)u \\ y &= l_0 & x_2 &= l_0 & y &= h(x) \end{aligned} \quad (5-3) \quad (6-3) \quad (7-3)$$

$$f(x) = \begin{bmatrix} f_1(x) \\ f_2(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\tau_z} x_1 \\ k_1 x_1 + k_2 x_1^2 (l_0 - x_2) - v_e \end{bmatrix} \quad (8-3)$$

$$h(x) = x_2 \quad (10-3) \quad g(x) = \begin{bmatrix} g_1(x) \\ g_2(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\tau_z} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (9-3)$$

می توانیم با استفاده از feedback linearization این معادلات غیر خطی را خطی کنیم. و به فضا حالت خطی برسیم. نتایج بدست آمده در ذیل مشاهده می شود.

$$\begin{aligned} \dot{z} &= A_e z + B_e \gamma(x) [u - \alpha(x)] \\ y &= C_e z \end{aligned} \quad z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_1(x) \\ T_2(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h(x) \\ L_f h(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ f_2(x) \end{bmatrix} \quad (11-3) \quad (12-3)$$

$$\begin{aligned} \gamma(x) &= (k_1 + 2k_2 x_1 (l_0 - x_2)) \frac{1}{\tau_z} \\ A_e &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B_e = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad C_e = [1 \quad 0] \end{aligned} \quad \alpha(x) = -\frac{1}{\gamma(x)} (\gamma(x) \tau_z f_1 - k_2 x_2 f_2) \quad (13-3) \quad (14-3)$$

ما در اینجا تابع تبدیل سیستم خطی شده را بدست می آوریم. و در قسمت بعد برای کنترلر از آن استفاده می کنیم.

$$G_p(s) = \frac{1}{s^2} \quad (15-3)$$

3-3 شبکه عصبی تطبیقی:

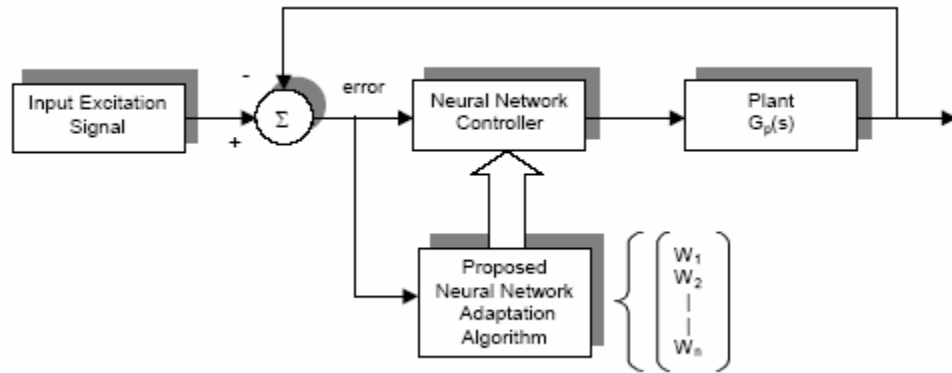
در این مقاله ما از الگوریتم تطبیقی Brandt-Lin استفاده کرده ایم. الگوریتم تطبیق و شبکه عصبی به صورت ریاضی به صورت زیر بیان می شود:

$$\begin{aligned} p_n &= \sum_{s \in \Omega_n} w_s r_{pre_s} \\ r_n &= \sigma(p_n) \end{aligned} \quad (16-3)$$

$$\phi_n = \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \sum_{s \in \Omega_n} w_s^2 = \sum_{s \in \Omega_n} w_s \dot{w}_s \quad \varphi \text{ را به صورت زیر تعریف می کنیم:} \quad (17-3)$$

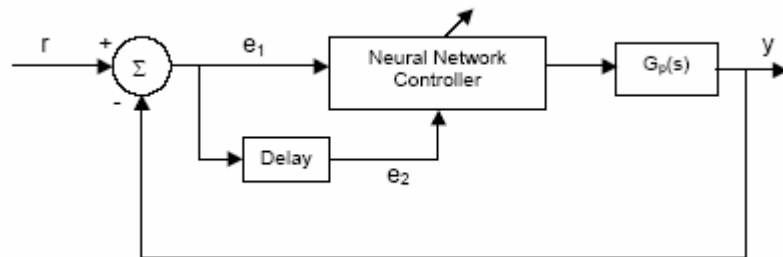
$$\dot{w}_s = r_{pre_s} (\phi_{post_s} \sigma(-p_{post_s}) + \gamma f_{post_s}) \quad \text{با به کارگیری وزن تطبیق به این صورت} \quad (18-3) \quad \text{به دست می آید.}$$

2 رابطه اخیر الگوریتم Brandt-lin را برای تطبیق در شبکه عصبی بیان می کنند که معادل الگوریتم پس انتشار می باشد که احتیاجی به فیدبک پس انتشار خطای شبکه ندارد. حال با بررسی الگوریتم Brandt-lin در شبکه عصبی می پردازیم که در شکل 2 آمده است.



شکل 2: الگوریتم Brandt-lin در شبکه عصبی

ورودی ها e_1 و e_2 می باشند که e_1 سیگنال خطی و e_2 سیگنال خطای تأخیر یافته است. از آن جهت که کنترلر شبکه عصبی بدون حافظه می باشد برای اینکه خروجی تنها به ورودی همان لحظه وابسته نباشد و لحظات قبل نیز لحاظ شوند از یک تأخیر ساده استفاده می کنیم. توصیف بیشتر این شبکه در شکل شماره 3 آمده است.



شکل 3: توصیف شبکه عصبی تطبیقی

ما در این شبکه عصبی از دو لایه مخفی از نرون ها استفاده کرده ایم و تابع استفاده شده log-sig می باشد. خروجی شبکه را می توان از یک تابع tan-sig با یک گین ثابت گرفت که تجربه نشان داده است که استفاده از گین ثابت بهتر است. روابط نرون ها را به صورت زیر می توان بیان کرد:

$$E = e_1^2 = (r - y)^2 = r^2 - 2.y.r + y^2$$

$$\frac{\partial E}{\partial y} = -2r + 2.y = -2.(r - y) = -2.e_1.$$

(20-3)

$$r_1 = e_1 \quad \text{and} \quad r_2 = e_2$$

$$p_3 = w_1 r_1 + w_2 r_2 \quad \text{and} \quad p_4 = w_3 r_1 + w_4 r_2$$

$$r_3 = \sigma(p_3) \quad \text{and} \quad r_4 = \sigma(p_3)$$

$$p_5 = w_5 r_3 + w_6 r_4$$

به کارگیری معادلات الگوریتم Brandt-lin نتایج ذیل را می دهد:

$$\dot{w}_1 = r_1(\phi_3 \sigma(-p_3) + \gamma.0) = e_1.\phi_3.\sigma(-p_3)$$

$$\dot{w}_2 = r_2(\phi_3 \sigma(-p_3) + \gamma.0) = e_2.\phi_3.\sigma(-p_3)$$

$$\dot{w}_3 = r_1(\phi_4 \sigma(-p_4) + \gamma.0) = e_1.\phi_4.\sigma(-p_4)$$

$$\dot{w}_4 = r_2(\phi_4 \sigma(-p_4) + \gamma.0) = e_2.\phi_4.\sigma(-p_4)$$

(21-3)

$$\dot{\phi}_3 = w_5 \dot{w}_5 \quad \text{and} \quad \dot{\phi}_4 = w_6 \dot{w}_6.$$

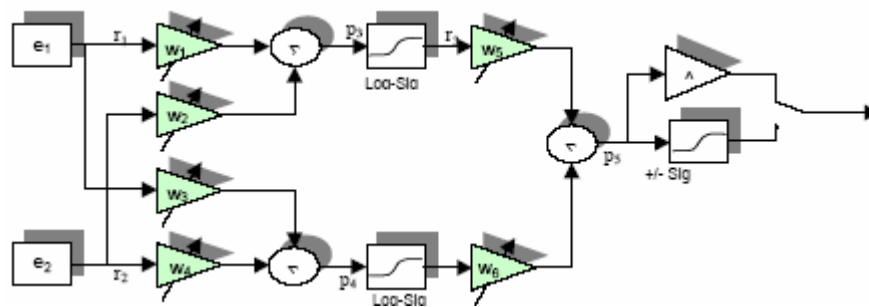
(22-3)

اگر مشتقات Frechet را که به وسیله ثابتی تخمین زده شده است [3] در \mathcal{Y} لحاظ کنیم،

$$\dot{w}_5 = \gamma.r_3.e_1 \quad (23-3), \quad \dot{w}_6 = \gamma.r_4.e_1 \quad (24-3)$$

خواهد بود و \mathcal{Y} نرخ تطبیق یا نرخ یادگیری است که این متغیر برای نرخ تطبیق کنترلر شبکه عصبی متفاوت می باشند.

ترکیب کنترلر شبکه عصبی تطبیقی در شکل 4 آمده است.



شکل 4: ترکیب کنترلر شبکه عصبی تطبیقی

4-3 کنترلر پیشنهادی

یکی از اهداف مهم در جوشکاری GMAW ثابت نگه داشتن و کوچک کردن طول قوس می باشد. بنابراین ما طول قوس مرجع را 8mm و ورودی را یک پالس ژنراتور (A) 100 بافرکانس 50 Hz و یک مقدار 0/008 dc در نظر گرفته و به شبیه سازی سیستم غیرخطی پرداخته ایم. لازم به ذکر است که ورودی پالس ژنراتور به عنوان U که در معادلات دینامیکی غیرخطی آورده شد، در نظر گرفته و با توجه به روابط خطی به دست آمده از سیستم ورودی مطلوب V که خطی می باشد را به دست آورده ایم. V را به عنوان ورودی اصلی شبکه عصبی در نظر گرفته و خروجی مورد نظر را از گین مربوطه به دست آورده و سپس از شبیه سازی به نتایج زیر رسیده ایم:

مدل 1: اگر گین خروجی را 0/0003 و وزن ها را به ± 90 انتخاب کنیم:

$$\begin{aligned} M_p &= 8/768 \text{ mm} & l_a(\max) &= 8/234 \text{ mm} \\ t_r &= 179 \text{ us} & l_a(\min) &= 7/736 \text{ mm} \end{aligned}$$

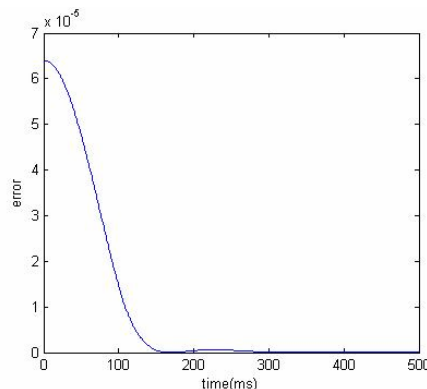
حالت ماندگار (s. s) →

مدل 2: با افزایش گین خروجی به 0/00035 و قرار دادن وزن ها به اندازه ± 80 ، o.s کاهش یافته و t_r افزایش می یابد.

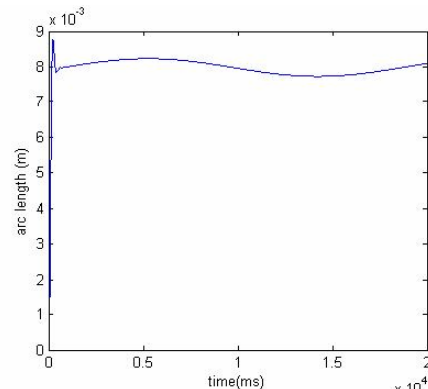
$$\begin{aligned} M_p &= 8/589 \text{ mm} & l_a(\max) &= 8/286 \text{ mm} \\ t_r &= 183 \text{ us} & l_a(\min) &= 7/683 \text{ mm} \end{aligned}$$

حالت ماندگار (s. s) →

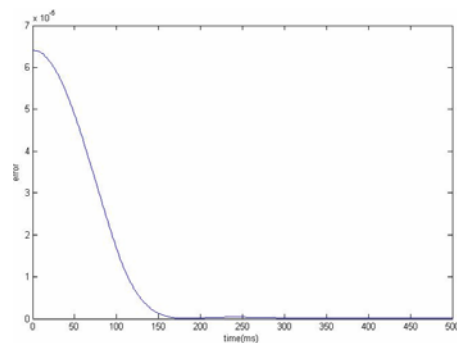
نتایج شبیه سازی در اشکال زیر آمده است:



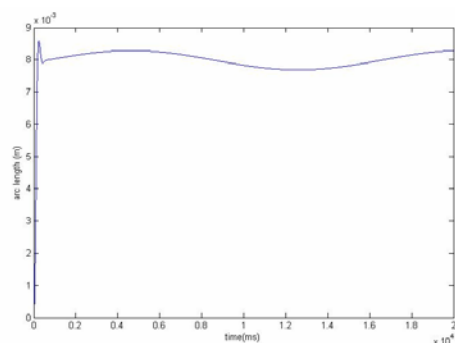
شکل 5-2: انرژی خطا برای مدل 1



شکل 5-1: طول قوس در مدل 1



شکل 2-6: انرژی خطا برای مدل 2



شکل 1-6: طول قوس در مدل 2

4- نتیجه گیری:

ما با استفاده از الگوریتم تطبیق در شبکه عصبی و اجرای آن بر روی یک سیستم جوش دینامیکی غیرخطی نشان داده ایم که می توان به ازای جریان های بالا طول قوس (la) تنظیم شده تقریباً ثابت و کوچکی به دست آورد. همچنین در آینده به بررسی اثر اغتشاش و نویزهای محیطی بر روی سیستم های جوش خواهیم پرداخت.

5- مراجع:

- [1] Jesper Sandberg Thomson, "Advanced Control Methods for Optimization of Arc Welding", Aalborg University Fredrik Bajers Vej, Denmark, 9th June 2004.
- [2] George saikalis, FengLin, "A Neural Network Controller by Adaptive Interaction", American Control Conference Arlington, VA June 25-29, 2001.
- [3] R.D. Brandt, F.Lin "Adaptive Interaction and its application to Neural Networks", Elsevier, information science 121, pp 201- 215 1999.
- [4] Cary, howard B. Modern welding technology. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.
- [5] Lincoln Electric Company. The procedure handbook of welding. 12th Ed. Cleveland, Ohio: Lincoh Electric Company.
- [6] Lyttle, K.A. "GMAW, A versatile process on the move", Welding Journal 62 (3).