

شناسایی و مدل سازی خط تمپر میل نورد سرد مجتمع فولاد مبارکه

احسان طهماسبی^۱، آرش دقیقی^۲، محسن عشوریان^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، tahmasebi_59@yahoo.com

۲- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر مجلسی، daghighi_a@hotmail.com

۳- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر مجلسی، mohsena@yahoo.com

چکیده

مسئله شناسایی سیستم عبارت است از تخمین یک مدل از روی سیستم عملی با استفاده از اطلاعات ورودی - خروجی آن سیستم. هدف از این مقاله، مطالعه و بررسی سیستم خط تمپر میل نورد سرد مجتمع فولاد مبارکه، تست عملی و شناسایی این سیستم، ارائه مدل مناسب، مقایسه با داده‌های واقعی و شبیه سازی آن می‌باشد. بدین منظور در ابتدا انواع روش‌های شناسایی را نام برده، سپس مراحل مدل سازی را شرح می‌دهیم. در ادامه سیستم اعمال نیرو بر سطح ورق و تنظیم فاصله غلتک‌ها در خط تمپر میل را شناسایی و مدل سازی می‌کنیم. مقایسه نتایج شبیه سازی با داده‌های عملی بیانگر این است که مدل بدست آمده بخوبی سیستم تمپر میل را تقریب می‌زند.

واژه های کلیدی

سیستم‌های SISO، شناسایی سیستم، نورد سرد، مدل ARX

۱- مقدمه

۱- شناسایی سیستم‌ها با استفاده از روش‌های کلاسیک که بطور کلی روش‌های مبتنی بر پاسخ پله و پاسخ فرکانسی می‌باشد. نکته مورد نظر در این روش‌ها این است که براننده کردن یک تابع در اطلاعات به دست آمده مشکل است. در نتیجه محاسبه عوامل معنی‌دار سیستم مشکل می‌باشد [۳].

۲- شناسایی سیستم‌ها با استفاده از روش‌های عددی حداقل مربعات.

در این روش فرض بر این است که هرگونه اندازه‌گیری اطلاعات همراه با خطا و نویز می‌باشد. همچنین معمولاً هر نوع ساختار در نظر گرفته شده برای مدل سازی با واقعیت سیستم اختلاف دارد. از این رو، با استفاده از اطلاعات ورودی - خروجی، تابع انتقال مناسب تخمین زده می‌شود.

در این مقاله با استفاده از روش خطی ARX [۴]، سیستم اعمال نیرو بر سطح ورق^۱ و تنظیم فاصله غلتک‌ها^۲ در خط تمپر میل^۳ از واحد نورد سرد مجتمع فولاد مبارکه شناسایی می‌شود. ساختار این مقاله بدین صورت می‌باشد: در بخش ۲ مبانی شناسایی سیستم‌های خطی دینامیکی و در بخش ۳ به بررسی سیستم‌های

در صنعت انجام تجربه و آزمایش بصورت واقعی گران، خطرناک و در حقیقت غیر عملی می‌باشد. در این موارد مدل‌ها استفاده بسیار مفیدتری دارند. برای بدست آوردن مدل سیستم باید سیستم را شناسایی کرد. بطور کلی شناسایی یک سیستم بدست آوردن مدل آن سیستم با استفاده از داده‌های ورودی - خروجی و احتمالاً نویزها می‌باشد که به کمک آزمایش‌های متعدد از همان سیستم حاصل شده‌اند. برای بدست آوردن مدل سیستم‌های فیزیکی دو روش اساسی وجود دارد [۱]:

۱- مدل سازی یا بکارگیری قواعد ریاضی حاکم بر قوانین فیزیکی سیستم‌ها.

۲- مدل سازی یا بکارگیری روش‌های استاندارد شناسایی سیستم.

در مدل سازی با روش‌های استاندارد شناسایی، از اطلاعات ورودی - خروجی سیستم استفاده کرده و مدل‌های مناسب خطی و غیرخطی به این اطلاعات براننده^۱ می‌شود. در حالت کلی روش‌های استاندارد شناسایی را می‌توان به ۲ دسته تقسیم کرد [۲]:

۱۰،۱۰،۰۰۰،۱۱۰،۱۱۱،۱۱۱،۱۱۱،۱۰۱،۱۰۱ همگی به ترتیب قرار دارند. به دلیل صفر و یک بودن این ورودی انجام محاسبات با آن بسیار ساده تر از سیگنال نویز می باشد.

ب- انتخاب مدل

بعد از مرحله آزمایش ها، با توجه به خطی یا غیر خطی بودن سیستم، متغیر یا غیر متغیر با زمان بودن و شرایط دیگر سیستم، مدلی مناسب انتخاب می شود.

ج- تخمین مدل

در این مرحله بدست آوردن مجهولات مدل انتخاب شده مثلاً بدست آوردن پارامترهای چند جمله ای ها در مدل های پارامتری مد نظر می باشد.

د- ارزیابی مدل

مدل های بدست آمده در مراحل قبلی می تواند به روش های گوناگونی تأیید شود. در حقیقت این قسمت برای تست خروجی مدل و خروجی واقعی است. باید توجه کرد که الگوریتم شناسایی یک الگوریتم تکرار شونده می باشد. یعنی اگر مدل جواب خوبی نداشت باید به مرحله انتخاب مدل یا آزمایش ها برگشت و مراحل را دوباره تکرار کرد.

۳- تقسیم بندی سیستم های خطی دینامیکی

سیستم ها را می توان به دو دسته MIMO و SISO تقسیم نمود. در اینجا به بررسی هر دو دسته از این مدل ها می پردازیم. از آنجا که سیستم های MIMO تعمیم سیستم های SISO هستند، الگوریتم شناسایی را تنها برای سیستم های MIMO توضیح می دهیم که با کاهش همان معادلات می توان به راحتی مدل را برای سیستم های SISO بکار برد.

۳-۱- سیستم های SISO

این سیستم ها دارای یک ورودی و یک خروجی هستند و هدف مدل کردن رابطه بین ورودی و خروجی این سیستم هاست. این مدل را می توان به صورت یک تابع انتقال و یا به صورت یک مدل فضای حالت بدست آورد.

مدل سازی ورودی-خروجی رابطه بین ورودی و خروجی یک سیستم دینامیکی را به صورت یک معادله تفاضلی بیان می کند. این معادله در حالت کلی به فرم زیر می باشد:

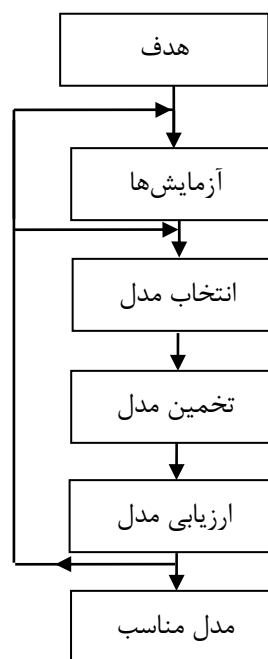
$$y(k) = a_1 y(k-1) + \dots + a_{n_a} y(k-n_a) + b_0 u(k) + \dots + b_{n_b} u(k-n_b) \quad (1)$$

در معادله ی بالا، $y(k)$ ، خروجی سیستم در لحظه k و $u(k)$ ورودی در لحظه k می باشد.

خطی دینامیکی MIMO⁵ و SISO⁶ و انواع مدل های شناسایی می پردازیم. سپس در بخش ۴ خط تمپر میل فولاد مبارکه را توضیح خواهیم داد. در نهایت در بخش ۵ به شناسایی خط تمپر میل می پردازیم.

۲- مبانی شناسایی سیستم های خطی دینامیکی

در تمام روش های ذکر شده در قسمت قبل، فرآیند شناسایی دارای چند مرحله اساسی است. این مراحل در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- مراحل شناسایی یک سیستم

الف- آزمایش ها

باید توجه شود که در آزمایش ها انتخاب ورودی ها بسیار مهم است. ورودی باید به اندازه کافی فرکانس های مختلف داشته باشد، تا بتواند تمام مدهای سیستم را تحریک کند. شاید اولین انتخاب نویز سفید باشد. نویز سفید از نظر تئوری ورودی مناسبی می باشد اما اجرای آن در عمل بسیار مشکل است. به همین دلیل در اغلب موارد از PRBS⁷ برای ورودی استفاده می شود [۳]. PRBS یک سیگنال شبه تصادفی باینری و متناوب است که معروفترین نوع آن توالی m دارای دوره تناوب $2^n - 1$ است و در هر دوره هر عدد باینری n -بیتی یک بار اتفاق می افتد. برای مثال وقتی $n = 3$ است توالی m بصورت $\dots, ۱۰۱۱۱۰۰, ۱۰۱۱۱۰۰, ۱۰۱۱۱۰۰$ می باشد، که در آن اعداد باینری

ورودی بستگی دارد. این دسته از مدل ها را مدل های پیشگویی نیز می گویند.

ب- مدل های تابع انتقال

در این دسته از مدل ها، خروجی لحظه بعد بر اساس نمونه های فعلی و قبلی ورودی و نمونه های قبلی خروجی مدل محاسبه می شود. این مدل ها را چنانچه به صورت معادله تفاضلی بیان کنیم می توان تابع انتقال y را بر حسب u بدست آورد و از این رو آن را مدل تابع انتقال می نامند.

نکته دیگر که در این جا باید به آن اشاره کرد تقسیم بندی مدل ها از نظر رفتار آماری سیستم است. یک سیستم واقعی را می توان متشکل از دو بخش قطعی^{۱۱} و غیر قطعی^{۱۲} دانست.

بخش قطعی سیستم همان قسمت اصلی است که به ازای اعمال ورودی بر اساس دینامیک مشخص، خروجی را تحویل می دهد. هدف از شناسایی پیدا کردن مدل این قسمت است. همچنین وجود عواملی مانند نویز و منابع اغتشاش دیگر که ما از آنها اطلاع نداریم و باعث تغییر ناخواسته خروجی می شود بخش نامشخص و غیر قطعی سیستم می باشد.

از این رو در شناسایی یک سیستم می توان هر دو قسمت را و یا تنها بخش قطعی را مدل کرد که در نتیجه به مدل های متفاوتی منجر می شود.

۳-۱-۱- مدل های پارامتری

تمامی مدل های پارامتری برای سیستمهای SISO مواردی خاص از مدل های عمومی زیر هستند:

$$A(q)y(t) = \frac{B(q)}{F(q)}U(t - n_k) + \frac{C(q)}{D(q)}e(t) \quad (7)$$

که n_k نشانگر تأخیر می باشد و توابع A ، B و F بر حسب اپراتور تأخیری q به صورت زیر تعریف می شود:

$$A(q) = 1 + a_1q^{-1} + \dots + a_naq^{-na} \quad (8)$$

$$B(q) = b_0 + b_1q^{-1} + \dots + b_nqb^{-nb} \quad (9)$$

$$C(q) = 1 + c_1q^{-1} + \dots + c_nqc^{-nc} \quad (10)$$

$$D(q) = 1 + d_1q^{-1} + \dots + d_ndq^{-nd} \quad (11)$$

$$F(q) = 1 + f_1q^{-1} + \dots + f_nfq^{-nf} \quad (12)$$

حالت های خاص چند جمله ای عمومی با نام های مختلف مورد استفاده قرار می گیرند که در جدول (۱) نشان داده شده است:

این معادله که یک معادله تفاضلی خطی است بیان می کند که خروجی سیستم در هر لحظه k به n_a نمونه خروجی و $n_b + 1$ نمونه قبلی ورودی بستگی دارد. به قسمت مربوط به نمونه قبلی خروجی AR^8 و به قسمت مربوط به نمونه قبلی ورودی MA^9 می گویند. از این رو مدل فوق را یک مدل $ARMA^{10}$ گویند.

هدف پیدا کردن ضریب a_1 تا a_n و b_0 تا b_n می باشد. این ضرایب را به صورت یک بردار θ به فرم زیر در نظر می گیرند:

$$\theta = [a_1, \dots, a_{na}, b_0, \dots, b_{nb}]^T \quad (2)$$

ورودی ها و خروجی ها بصورت بردار $\phi(k)$ نشان داده می شوند:

$$\phi(k) = [y(k-1), \dots, y(k-n_a), u(k), \dots, u(k-n_b)]^T \quad (3)$$

با توجه به معادله (۲) و (۳) می توان معادله (۱) را بصورت زیر نوشت:

$$y(k) = \phi^T(k).\theta \quad (4)$$

چنانچه مقدار تخمین زده شده θ را θ_H بنامیم و مقدار تخمین زده شده $y(k)$ را $Y_H(k)$ نحوه پیدا کردن θ_H بهینه به روش های تخمین مربوط می شود که در واقع گام بعدی است و در حالت کلی بصورت زیر می باشد:

$$Y_H(k) = \phi^T(k).\theta_H \quad (5)$$

مدل های ورودی- خروجی را می توان به دو دسته اساسی مدل های $ARMA$ و مدل های تابع انتقال تقسیم کرد که در دو قسمت بعد در مورد آنها بطور مختصر توضیح داده شده است.

الف- مدل های ARMA

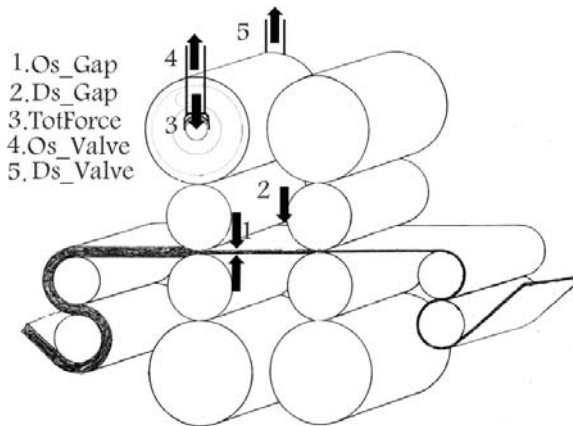
مدل های $ARMA$ مدلهایی هستند که جهت تخمین بردار θ بکار می روند، ولی اساس تخمین بر زوج داده های ورودی و خروجی سیستم استوار است. در هر لحظه k :

$$y(k+1, \theta_H) = f(u, y, \theta_H, k) \quad (6)$$

رابطه ی فوق به این معنی است که مقدار خروجی مدل در لحظه ی بعد به نمونه های قبلی خروجی سیستم و نمونه های قبلی

وظایف این خط عبارتند از:

- ۱- دادن صافی به سطح ورق و از بین بردن امواج
- ۲- ایجاد یک حالت یکنواختی در پستی و بلندی های میکروسکوپی ورق
- ۳- ایجاد سختی مطلوب در ورق



شکل ۲- خط تمپر میل به همراه ورودی و خروجی

نورد در تمپر شامل گذراندن ورق با یک فشار کم و دادن کشش مناسب به آن می باشد که سطح ورق به صورت مطلوب پرداخت شود. عامل مهم در نورد تمپر میل، نیروی وارد شده به سطح ورق می باشد. فشار مورد نیاز سیستم از طریق دو سرو والو^{۱۴} به نام های Os_Valve و Ds_Valve تأمین می گردد که توسط سیلندرها ی هیدرولیکی به جک غلتک های پشتیبان وارد می شود و سپس به غلتک های کاری و از آنجا به سطح ورق وارد می شود. سیستم هیدرولیکی فشار مورد نیاز جهت بالانس غلتک های کاری و پشتیبان و همچنین فشار مورد نیاز سیستم جهت محذب کردن سطح غلتک^{۱۵} و مقعر کردن سطح غلتک^{۱۶} را تأمین می کند. شکل ورق ها بعد از عبور از بین غلتک ها بصورت محذب یا مقعر می باشد، به این دلیل ضخامت در دو طرف ورق نیز مهم می باشد. همانگونه که در شکل (۲) نشان داده شده، پارامترهای مهم سیستم خط تمپر میل، ورودی دو سرو والو Os_Valve و Ds_Valve، ضخامت ورق در طرف اپراتور Os_Gap، ضخامت ورق در طرف موتور Ds_Gap و نیروی وارد به ورق TotForce می باشد.

با توجه به مطالب گفته شده می توان سیستم تمپر میل را بصورت دو ورودی - سه خروجی در نظر گرفت که در شکل (۳) آمده است [۶].

جدول ۱- حالت های خاص چند جمله ای عمومی

چند جمله ای های مورد استفاده	عنوان ساختار مدل
B	FIR (finite Impulse Response)
AB	ARX
ABC	ARMAX
AC	ARMA
ABD	ARARX
ABCD	ARARMAX
BF	OE (Output Error)
BFCD	BJ (Box-Jenkins)

۳-۲- سیستم های MIMO

سیستم هایی که دارای چند ورودی و چند خروجی باشند، سیستم های MIMO می باشند. تمامی مدل های پارامتری برای سیستم های MIMO مواردی خاص از مدل های عمومی زیر هستند:

$$A(q)y(t) = \sum_{i=1}^{n_u} \frac{B_i(q)}{F_i(q)} U_i(t - n_{ki}) + \frac{C_i(q)}{D_i(q)} e(t) \quad (13)$$

ساختار مدل ARX¹³ چند متغیره برای سیستم های MIMO را به فرم زیر در نظر می گیرند:

$$A(q)y(t) = \sum_{i=1}^{n_u} B_i(q)U_i(t - n_{ki}) + e(t) \quad (14)$$

که در این رابطه، $y(t)$ بردار خروجی و دارای n_y عضو است. $u(t)$ نیز یک بردار n_u عضوی معرف ورودی است. در جمله فوق A و B چند جمله ای های ماتریسی از عملگر q و از مرتبه n_A و n_B می باشند. به عنوان مثال:

$$A(q) = 1 + A_1q^{-1} + \dots + A_{na}q^{-na} \quad (15)$$

$$B(q) = B_0 + B_1q^{-1} + \dots + B_{nb}q^{-nb} \quad (16)$$

که A_1 تا A_n ماتریس هایی با ابعاد $p \times p$ می باشند. p تعداد خروجی های سیستم است.

۴- خط تمپر میل نورد سرد مجتمع فولاد مبارک

ورق بعد از عبور از کوره های باز پخت بسیار نرم می شود، لذا برای حصول خواص مکانیکی مناسب باید بطریقی سطح ورق را سخت نمود و این کار با عبور از خط تمپر میل دو قفسه ای میسر است. هر قفسه دارای دو غلتک کاری و دو غلتک پشتیبان می باشد. نورد تمپر با دو قفسه چهار غلتکی (دو غلتک کاری و دو غلتک پشتیبان) جهت سخت کردن ورقی که به طور سرد کاهش ضخامت یافته و از کوره های باز پخت عبور کرده است با یک فشار کم بر روی ورق طراحی شده است.

تفاضلی مربوط به خروجی دوم می باشد. در اینجا چون مدل بصورت چند ورودی چند خروجی است، n_a, n_b, n_k بصورت ماتریسی می باشند. در n_a هر درایه تعداد شیفت ها در خروجی را مشخص می کند. بطور مثال a_{21} ، در سطر دوم، n_a در معادله تفاضلی دوم به صورت زیر عمل می کند:

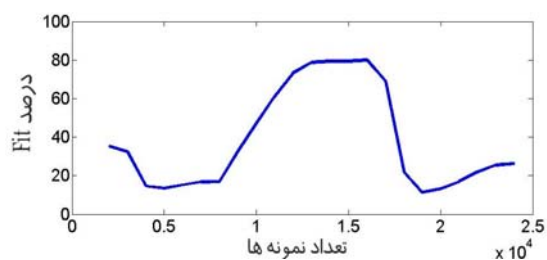
$$y_2(t) = \dots + k_1 y_2(t-1) + k_2 y_2(t-2) + \dots + k_{a_{21}} y_2(t-a_{21}) + \dots \quad (20)$$

درایه های n_b و n_k بطور مشترک با هم تعداد شیفت ها در ورودی را مشخص می کنند. به طور مثال b_{11} در ماتریس n_b و k_{11} در ماتریس n_k به همراه هم در معادله به صورت زیر تأثیر می گذارند:

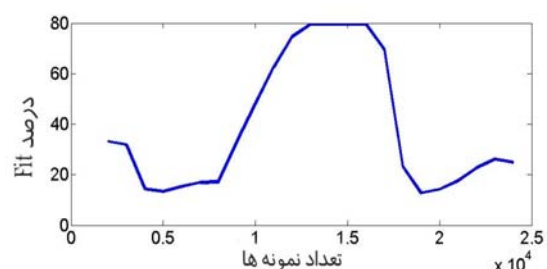
$$y_1(t) = \dots + l_1 u_1(t-k_{11}) + l_2 u_1(t-(k_{11}+1)) + \dots + l_{a_{21}} u_1(t-(k_{11}+b_{11})) + \dots \quad (21)$$

برای تنظیم هر چه بهتر مدل باید درایه های این ماتریس ها را به نحو مطلوب تغییر داد.

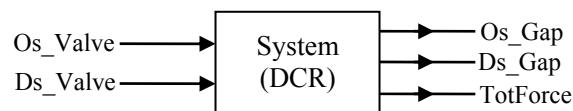
در ابتدا باید داده ها را دو قسمت کنیم. یک قسمت برای آموزش مدل و قسمت دوم برای تست مدل. حال برای اینکه تقسیم بندی مناسبی بین داده های آموزش و تست پیدا کنیم، مقادیر دلخواه ثابتی برای n_a, n_b, n_k در نظر گرفته و تعداد دیتای آموزشی را از ۱۰٪ تا ۹۵٪ تعداد دیتای کل تغییر دادیم و مقادیر درصد Fit را هر بار محاسبه کردیم که در شکل (۴) رسم شده اند.



شکل (۴-الف) نمودار تغییر Fit برای DS_Gap



شکل (۴-ب) نمودار تغییر Fit برای OS_Gap



شکل ۳- خط تمپرمیل بصورت دو ورودی- سه خروجی

۵- شبیه سازی و نتایج

همانطور که در مقدمه گفته شد، کار شناسایی سیستم به دو قسمت عملی (آزمایش و انجام آن) و قسمت نظری (تئوری و مدل ریاضی) تقسیم می شود [۷].

آزمایش ها را در دو مرحله انجام دادیم، در مرحله نخست پاسخ پله سیستم را بدست آوردیم تا بتوانیم مشخصه های مهم سیستم مانند زمان تأخیر، ثابت زمانی و... را بدست آوریم. این نتایج مشخص می کند که شرایط برای آزمایش اصلی که داده ها را برای شناسایی می دهد مهیا است یا نه. در آزمایش دوم داده هایی را که برای شناسایی نیاز است بدست آوردیم.

برای مدل سازی به خروجی ها (Os_Gap, Ds_Gap, TotForce)، ورودی ها (Os_Valve, Ds_Valve)، زمان نمونه برداری (T_s) و سه متغیر n_a, n_b, n_k نیاز می باشد:

$$Y = [Os_Gap, Ds_Gap, TotForce] \quad (17)$$

$$U = [Os_Valve, Ds_Valve] \quad (18)$$

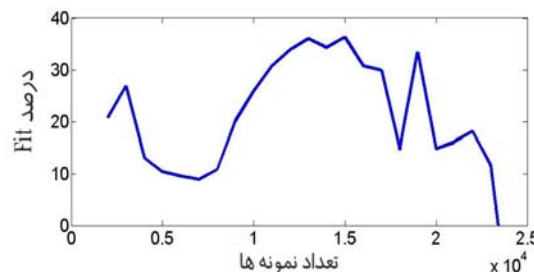
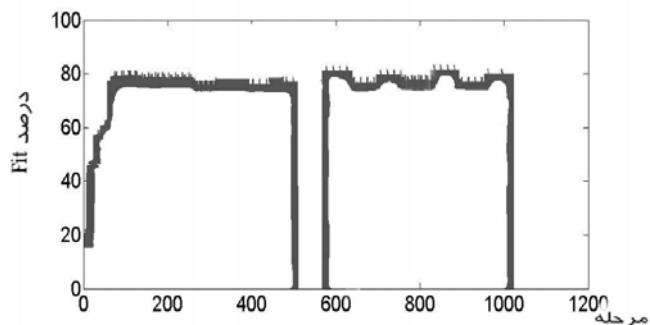
در مدل های SISO متغیرهای n_a, n_b, n_k به صورت یک عدد ثابت می باشد. حال آنکه در مدل های MIMO متغیرهای n_a, n_b, n_k بصورت ماتریسی می باشد که ماتریس n_a دارای ابعاد $(N_y \times N_y)$ است و n_b, n_k دارای ابعاد $(N_y \times N_u)$ می باشند.

$$n_a = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}, n_b = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \\ b_{31} & b_{32} \end{bmatrix}, n_k = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \\ k_{31} & k_{32} \end{bmatrix} \quad (19)$$

در ماتریس های n_a, n_b, n_k هر سطر برای تنظیم ضرایب مربوط به معادله تفاضلی بین یک خروجی، خروجی های دیگر و ورودی ها می باشد. برای مثال سطر دوم برای تنظیم ضرایب معادله

ثبت شدند. در انتها شکل‌ها بر اساس درصد Fit بر حسب شماره مرحله رسم شدند.

نتایج بررسی دو قسمت یعنی برای قسمت اول (DS_Gap)، (OS_Gap) و قسمت دوم (TotForce) در شکل (۵) آمده است.

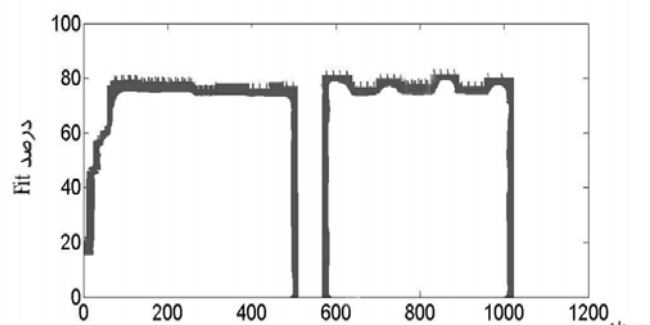


شکل (۴-ج) نمودار تغییر Fit برای TotForce

شکل ۴- نمودارهای تغییر Fit با استفاده از تعداد داده‌های آموزشی

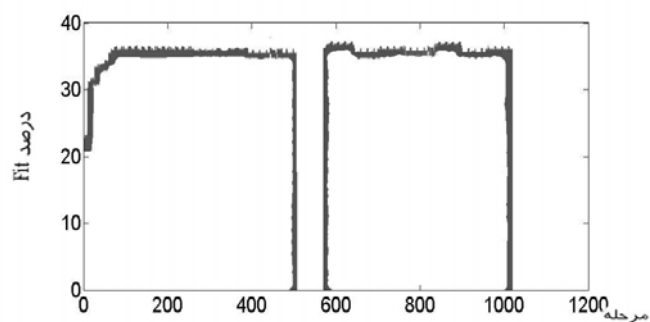
شکل (۵-الف) (OS_Gap): نمودار تغییر درصد Fit با استفاده از

تغییرات سطر اول (OS_Gap) n_k و n_b, n_a



شکل (۵-ب) (DS_Gap): نمودار تغییر درصد Fit با استفاده از

تغییرات سطر دوم (DS_Gap) n_k و n_b, n_a



شکل (۵-ج) (TotForce): نمودار تغییر درصد Fit با استفاده از

تغییرات سطر سوم (TotForce) n_k و n_b, n_a

شکل ۵- نمودار تغییر درصد Fit با استفاده از تغییرات

سطرهای n_k و n_b, n_a

با توجه به نمودارها می‌توان به این نتیجه رسید که ماکزیمم بدست آمده در سه نمودار در وسط داده‌ها می‌باشد. به این معنی که برای رسیدن به بهترین Fit باید داده‌ها را نصف کرد، بطوری که نیمی از داده‌ها برای آموزش و نیمه دیگر را برای تست قرار دهیم. برای بدست آوردن Fit مناسب باید درایه‌های n_k و n_b, n_a را دوباره تغییر دهیم تا به Fit دقیق‌تری نسبت به حالت قبل برسیم. اگر بخواهیم همه درایه‌ها را با هم بررسی کنیم، با فرض اینکه هر درایه تنها ۳ بار تغییر کند، در حدود 3^{21} حالت خواهیم داشت. با فرض اینکه زمان محاسبه هر حالت یک ثانیه طول بکشد، برای بررسی کل حالات به چندین سال زمان نیاز داریم که در واقع غیر ممکن می‌باشد. به این خاطر، مراحل را تکه‌تکه کرده و به صورت زیر انجام می‌دهیم.

مدل دو ورودی-سه خروجی می‌باشد، به همین دلیل n_b, n_a و n_k باید دارای سه سطر باشند که هر سطر یک معادله دیفرانسیل مربوط به یک خروجی را بر حسب دیگر خروجی‌ها و ورودی‌ها مشخص می‌کند. یعنی می‌توان گفت با تغییر درایه‌های هر سطر در n_k و n_b, n_a می‌توان خروجی مربوط به همان سطر را تغییر داد تا به مقدار مطلوب رسید.

با توجه به نکات گفته شده می‌توانیم هر دفعه با تغییر درایه‌های یک سطر، یکی از خروجی‌ها را تخمین بزنیم، ولی با توجه به ساختار فیزیکی تمپرمیل دو خروجی DS_Gap, OS_Gap به هم وابسته می‌باشند. به همین دلیل یک‌بار با تغییر درایه‌های سطر اول و دوم n_k و n_b, n_a مربوط خروجی‌های DS_Gap, OS_Gap این خروجی‌ها را تخمین زده و در مرحله بعد درایه‌های مربوط به خروجی TotForce را تخمین می‌زنیم و آنقدر این کار را تکرار کنیم تا به بهترین مدل برسیم.

در بررسی‌ها تغییر هر درایه یک مرحله در نظر گرفته شده و در هر مرحله ماتریس‌های n_k و n_b, n_a ، شماره مرحله و درصد Fit

$$A_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{bmatrix},$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0 & -0.2161 & 0 \\ 0 & -1.7184 & 0 \\ 0.0365 & 0.0046 & -0.0866 \end{bmatrix},$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0.7949 & 0 \\ 0 & 0.7185 & 0 \\ -0.0367 & 0.0114 & -0.3637 \end{bmatrix},$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0.7949 & 0 \\ 0 & 0.7185 & 0 \\ -0.0367 & 0.0114 & -0.3637 \end{bmatrix},$$

$$B_0 = \begin{bmatrix} 0 & 105.7295 \\ 40.6181 & -1.8256 \\ 0.2626 & 0 \end{bmatrix},$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} 0 & 6.1735 \\ -69.5313 & 1.3312 \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 27.3895 & -0.2607 \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0.0506 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

و در نهایت خروجی سیستم و خروجی مدل برای دیتای تست در شکل (۶) آمده است.

با توجه به نمودارها بهترین حالت عددی برای ماتریس های n_a, n_b, n_k در زیر آمده است:

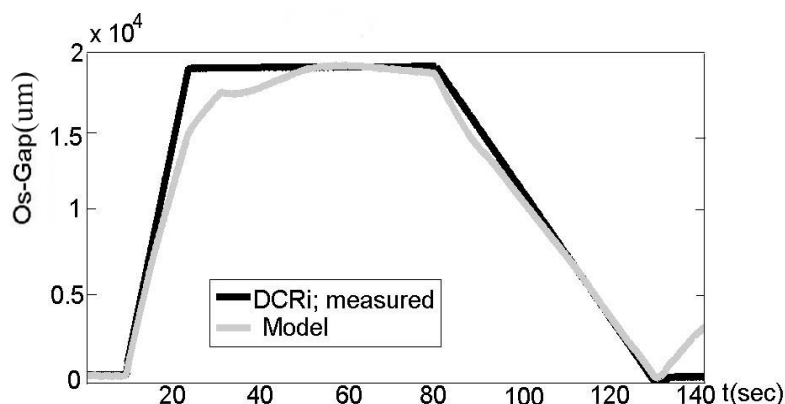
$$n_a = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix}, n_b = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 2 & 3 \\ 3 & 3 \end{bmatrix}, n_k = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

بعد از بدست آوردن بهترین مدل، معادلات سیستم بصورت زیر بدست می آیند:

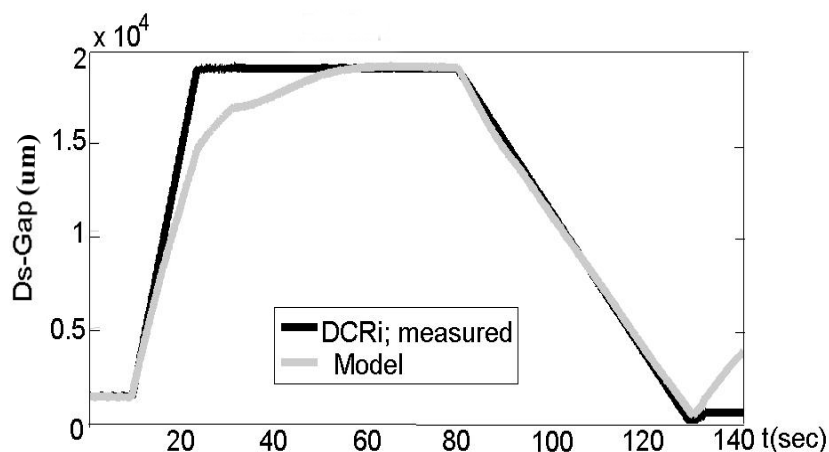
(۲۴)

$$\begin{aligned} A_0 \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ y_3(t) \end{bmatrix} &= A_1 \begin{bmatrix} y_1(t-1) \\ y_2(t-1) \\ y_3(t-1) \end{bmatrix} + A_2 \begin{bmatrix} y_1(t-2) \\ y_2(t-2) \\ y_3(t-2) \end{bmatrix} \\ &+ A_3 \begin{bmatrix} y_1(t-3) \\ y_2(t-3) \\ y_3(t-3) \end{bmatrix} + B_0 \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{bmatrix} + B_1 \begin{bmatrix} u_1(t-1) \\ u_2(t-1) \end{bmatrix} \\ &+ B_2 \begin{bmatrix} u_1(t-2) \\ u_2(t-2) \end{bmatrix} + B_3 \begin{bmatrix} u_1(t-3) \\ u_2(t-3) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (23)$$

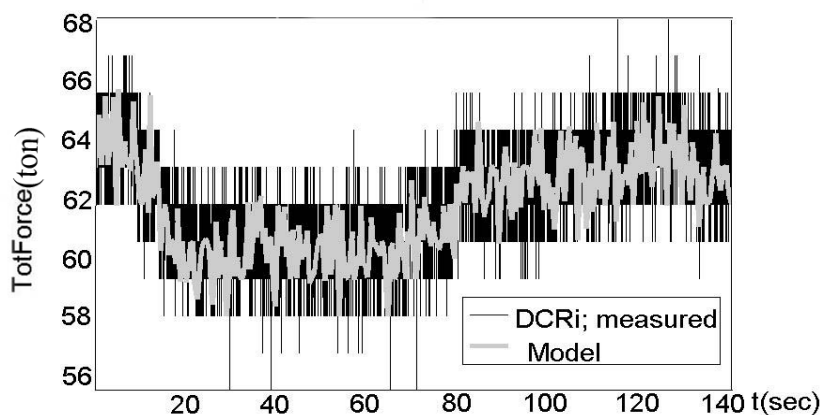
ماتریس های A و B ضرایب چند جمله ای ها را مشخص می کنند، که با توجه به n_a, n_b, n_k بدست آمده اینگونه می باشند:



شکل (۶-الف): نمودار Fit برای DS_Gap



شکل (ب-۶): نمودار Fit برای OS_Gap



شکل (ج-۶): نمودار Fit برای TotForce

شکل ۶- خروجی سیستم و خروجی مدل

فولاد مبارکه و مقادیر n_a , n_b و n_k انتخابی به نحو مطلوبی می باشند و در نتیجه بین خروجی مدل و خروجی سیستم Fit مناسبی بدست آمده است.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله توانستیم از بین مدل های موجود مدلی مناسب برای شناسایی خط تمپر میل نورد سرد مجتمع فولاد مبارکه انتخاب کرده و سیستم دو ورودی-سه خروجی تمپر را با استفاده از

همانطور که در شکل های (۶-الف) و (۶-ب) دیده می شود، سیستم شناسایی شده دیتای عملی را وقتی Os_Gap و Ds_Gap از مقدار حدود $3500\ \mu m$ تا بیش از $16000\ \mu m$ در رنج کاری سیستم تغییر می کند، به خوبی دنبال می کند. کل نیروی وارد به ورق که توسط لودسل ۱۷ تعبیه شده در دستگاه تمپر میل اندازه گیری شده به همراه مقدار تخمین آن توسط معادله شناسایی شده در این قسمت در شکل (۶-ج) نشان داده شده است. با توجه به شکل های بدست آمده مدل ارائه شده برای خط تمپر میل نورد سرد مجتمع

۹- پی نوشتها

- 1- Fit
- 2 - Force Loop
- 3 - Gap Loop
- 4 - Temper Mill
- 5 - Multi Input Multi Output
- 6 - Single Input Single Output
- 7 - Pseudo-Random Binary Sequence
- 8 - Auto Regressive
- 9 - Moving Average
- 10 - Auto Regressive Moving Average
- 11 - Deterministic
- 12 - Stochastic
- 13 - Auto Regressive with eXternal input
- 14 - Servo Valve
- 15 - Contour in
- 16 - Contour out

مدل شناسایی و مدل سازی کنیم. نتایج بدست آمده نشان می دهد که خروجی مدل استفاده شده به نحو مطلوبی خروجی سیستم واقعی را دنبال می کند.

۷- تقدیر و تشکر

داده های عملی از دستگاه تمپر میل، براساس دستورکار شماره ۱ از قرارداد شماره ۴۸۲۳۷۲۸۴ بین دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر مجلسی و شرکت فولاد مبارکه اصفهان تحت نظارت و به مجری گری آقای دکتر آرش دقیقی جمع آوری شده است. بدینوسیله نویسندگان این مقاله از معاونت تکنولوژی، مدیریت تحقیق و توسعه، مدیریت نورد سرد یک و کارشناسان تحقیق و توسعه مجتمع فولاد مبارکه که امکان انجام این تستها و آزمایشها را فراهم نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

۸- مراجع

- [1] Lennart Ljung, Prentice Hall PTR: "System Identification: Theory for the User" University Sweden, 1999.
- [۲] م. کراری، "دینامیک و کنترل سیستم های قدرت"، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۱.
- [3] J. P. Norton, "An Introduction to Identification", Academic Press, 1986.
- [4] MATLAB Software, V 7.4.0.287, 2007.
- [5] K. Gustafsson, "Logger - A Program for Data Logging", Technical Report, Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology, 1989.

[۶] آ. دقیقی، "بهینه سازی کنترل کننده های PID خط تمپر میل نورد سرد با استفاده از کنترل مدرن"، گزارش فنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر مجلسی، ۱۳۸۶.

[۷] م. میوه چی. احمدی، "شناسایی سیستم، روشی مناسب برای تعیین مشخصه های دینامیکی و ارزیابی سدهای بزرگ در برابر زلزله"، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۱۳۷۸.