

به نام خداوند

تمرین شماره ۵ رباتیک

۹۶۱۰۶۲۱۴

عرفان اعتصامی

مقدمه) در حل این تمرین از مدل‌ها و توابع طراحی شده در تمرین ۳ یعنی مدل سیمولینک ربات *Puma* و توابع *Trans.m*, *Rot.m* و *InversePos_Puma.m* استفاده شد. تنها تفاوت قابل توجه با تمرین ۳، تغییر پارامتر d به 10cm می‌باشد.

پرسش الف - حل) برای حرکت نرم (سرعت و شتاب و پیوسته) در یک ثانیه، از معادله‌ی چندجمله‌ای و شرایط مرزی موجود در جزوه‌ی جلسه‌ی ۱۵ برای مفصل ۱ و به طور مشابه برای باقی مفاصل استفاده می‌کنیم.

$$\theta_i(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 \quad \text{I}$$

الف. انتی-کلیک تابع
بدرسته (چند جمله‌ای برابر مفاصل)

ب. امکان پیدا کردن شرط مرزی

$$\theta_i(0) = \theta_{1i} \quad (1)$$

θ_{1i} مقدار یعنی مفاصل ۱

$$\theta_i(S) = \theta_{1d} \quad (2)$$

θ_{1d} مفاصل ۱ در مدتی T

$$\dot{\theta}_i(0) = \dot{\theta}_i(S) = 0 \quad (3,4)$$

شکل ۱: معادله‌ی چندجمله‌ای و شرایط مرزی آن

$$BC1: a_0 = \theta_{1i} \rightarrow BC3: a_1 = 0 \rightarrow$$

$$\begin{cases} BC2: \theta_{1i} + a_2 S^2 + a_3 S^3 = \theta_{1d} \\ BC4: 2a_2 S + 3a_3 S^2 = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} a_2 = \frac{3}{S^2} (\theta_{1d} - \theta_{1i}) \\ a_3 = \frac{2}{S^3} (\theta_{1i} - \theta_{1d}) \end{cases}$$

$$\theta_1(t) = \theta_{1i} + \frac{3}{S^2}(\theta_{1d} - \theta_{1i})t^2 + \frac{2}{S^3}(\theta_{1i} - \theta_{1d})t^3 (E - 1)$$

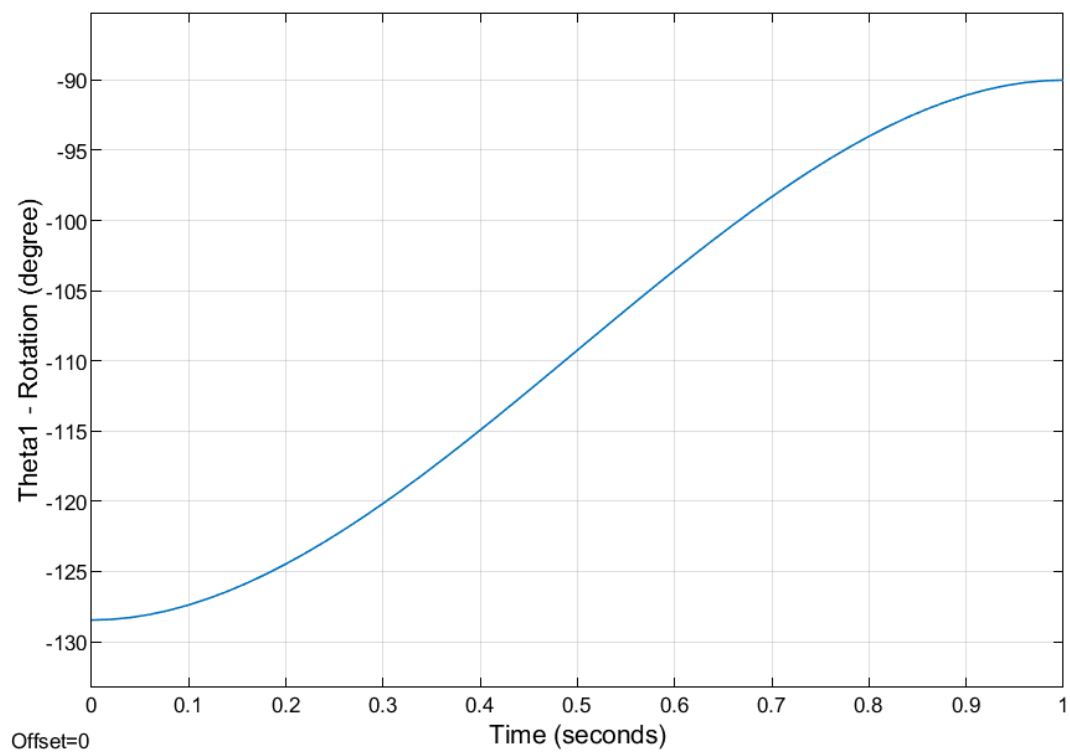
همان گونه که مشخص است، برای استفاده از رابطه‌ی فوق، در ابتدا باید وضعیت مفاصل در ابتدا و انتها را به دست بیاوریم. برای انجام این کار، به کمک برنامه‌ی *InversePos_Puma.m* سینماتیک معکوس ربات را حل می‌کنیم. نتایج در جدول زیر نشان داده شده‌اند.

وضعیت نهایی عملگر نهایی	وضعیت اولیه‌ی عملگر نهایی	پارامترها
-10	46	$X(cm)$
40	45	$Y(cm)$
55	-74	$Z(cm)$
0.0000	-38.4562	$\theta_1(^{\circ})$
-85.2762	-197.4471	$\theta_2(^{\circ})$
106.4291	54.9605	$\theta_3(^{\circ})$

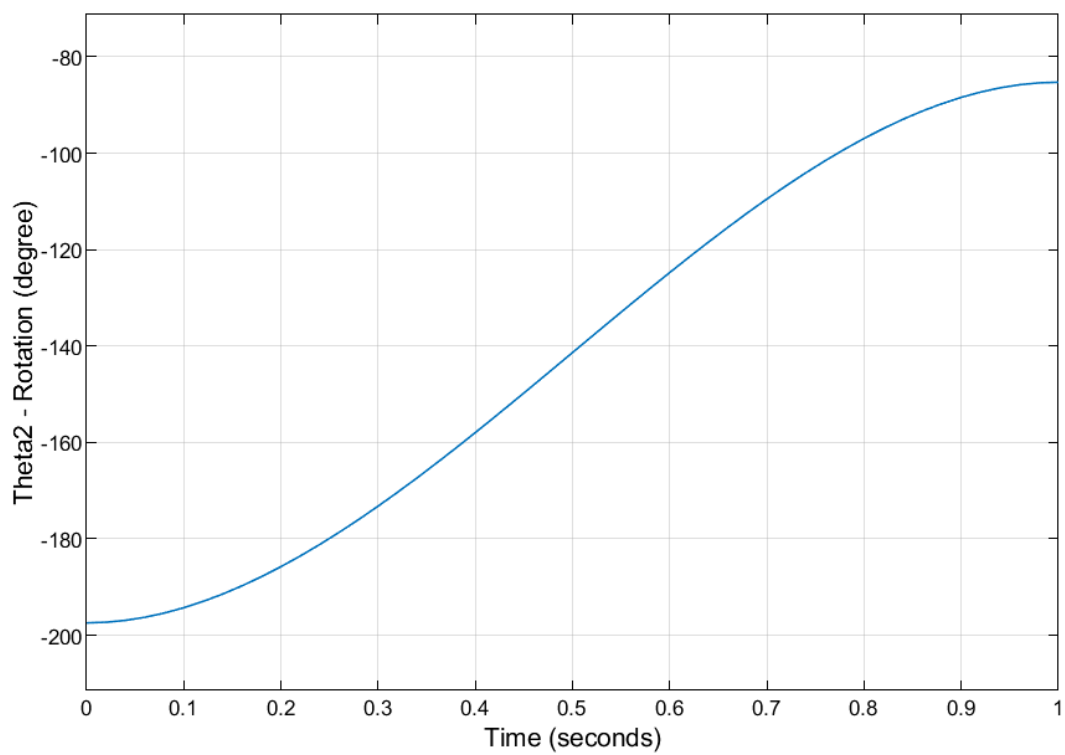
جدول ۱: مقادیر پارامترهای مفاصل با حل سینماتیک معکوس

حال با برنامه‌نویسی رابطه‌ی $E - 1$ در محیط *Simulink* با استفاده از بلوک *matlabFunction* به حل پرسش پرداخته و منحنی‌ها را رسم می‌کنیم. توجه شود که با توجه به تعریف θ_1 در جزوه‌ی جلسه‌ی ۷، ورودی مفصل ۱ در مدل *Simulink* را به صورت $\theta_1 - 90^{\circ}$ قرار می‌دهیم. داده‌های موجود در جدول ۱ با مدل طراحی شده صحت‌سنجی شدند.

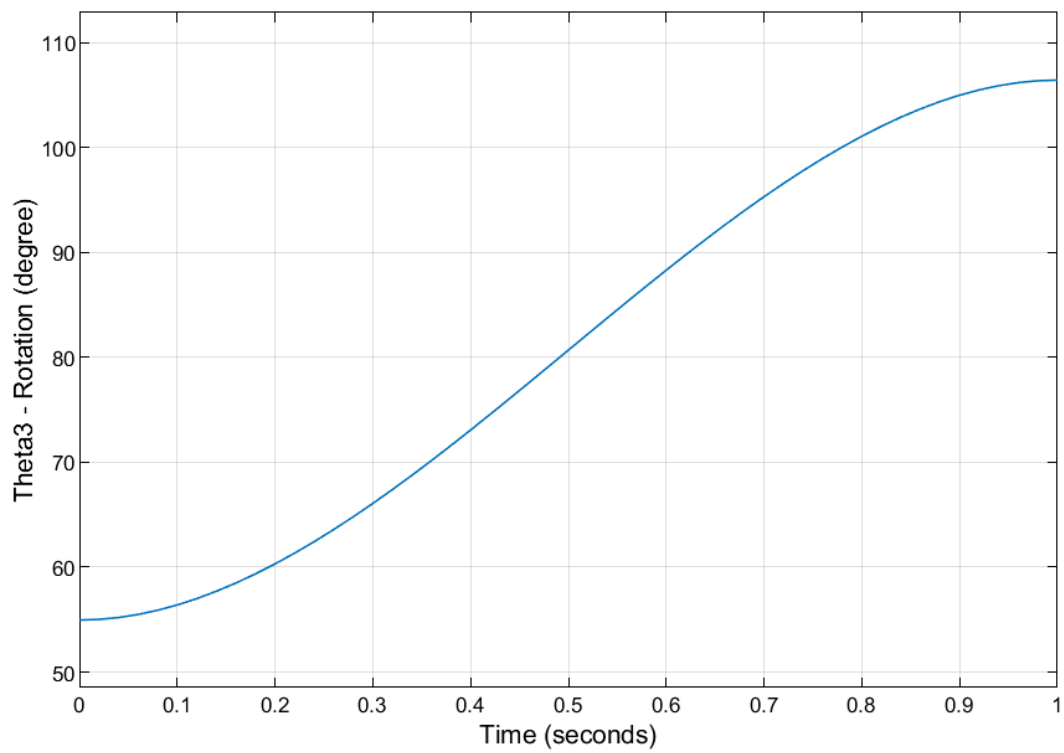
پرسش الف - رسم منحنی‌ها - مدل *Puma_a.slx* لازم به ذکر است که با توجه به توضیحات فوق، مقدار θ_1 در منحنی مربوطه به اندازه‌ی 90° کمتر از مقادیر موجود در جدول ۱ می‌باشد. زمان اجرای مدل فعلی نیز مطابق خواست پرسش، برابر با 1s در نظر گرفته شده است. همچنین اگر منحنی‌های مربوطه در بلوک *Scope* به درستی برای شما نمایش داده نشدند، از سربرگ *Tools* گزینه‌ی *Axis Scaling* را انتخاب نموده و مجدداً مدل را اجرا نمایید. در نمودارهای صفحه‌ی بعد مشاهده می‌شود که نقاط ابتدا و انتهای منحنی‌ها و همچنین رفتار آن‌ها با اطلاعات موجود در جدول ۱ و معادله‌ی درجه ۳ کاملاً هم‌خوانی دارد. شکل با کیفیت‌تر منحنی حرکت عملگر نهایی در همان بلوک *Scope* قابل مشاهده است.



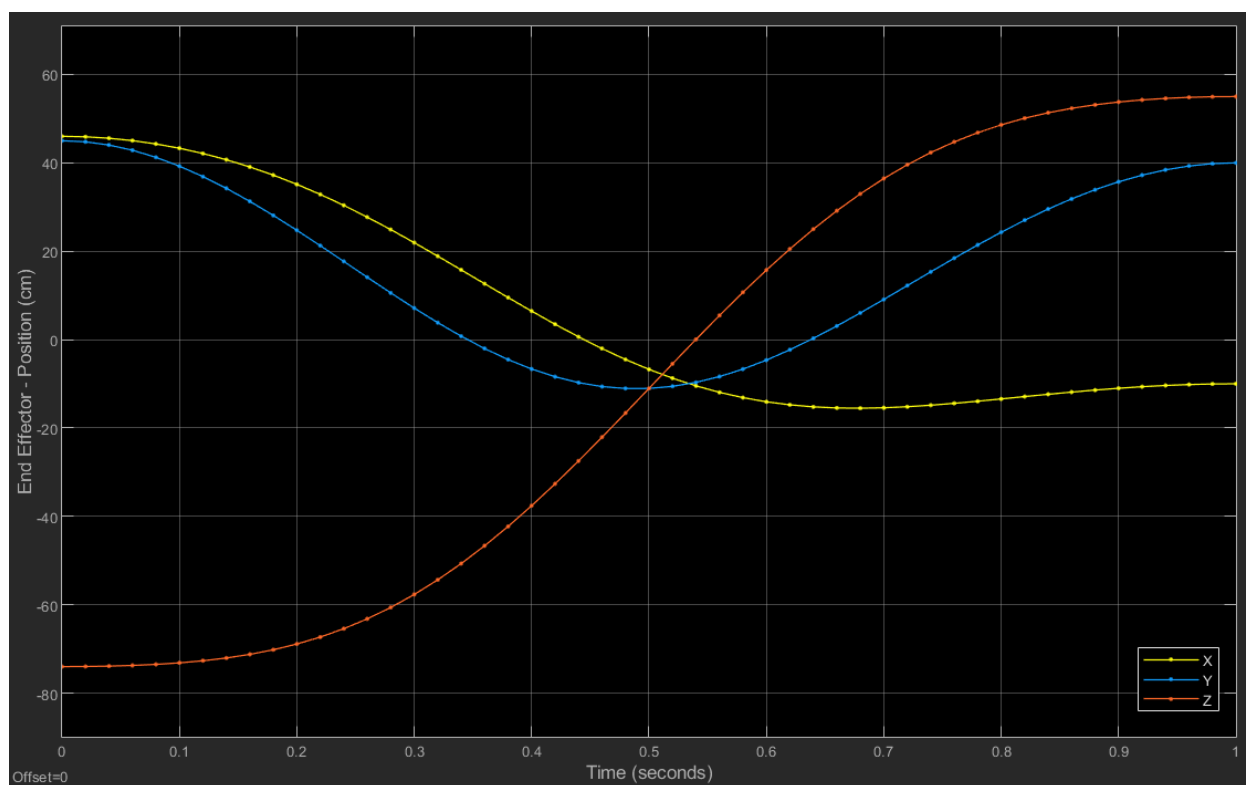
نمودار ۱: منحنی حرکت مفصل ۱ - پرسش الف



نمودار ۲: منحنی حرکت مفصل ۲ - پرسش الف

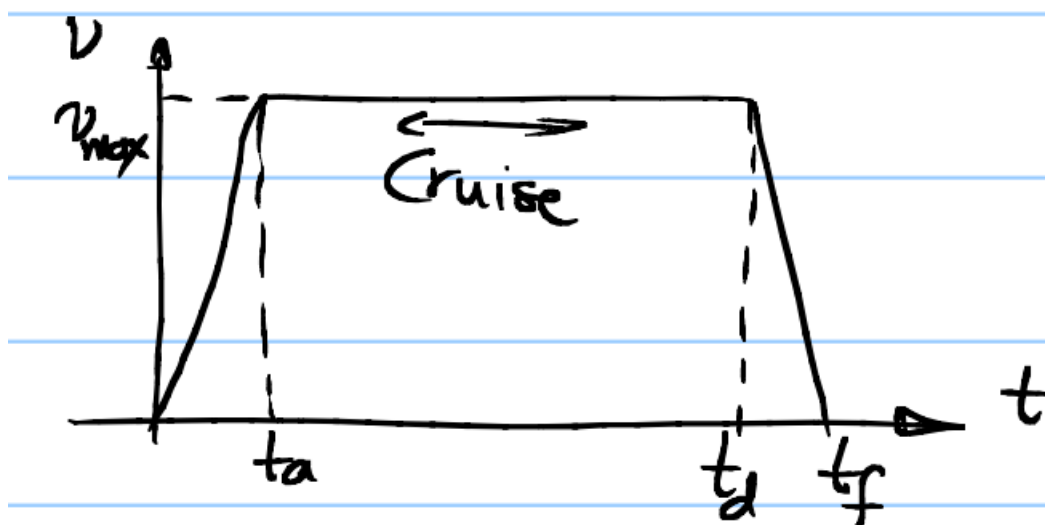


نمودار ۳: منحنی حرکت مفصل ۳ - پرسش الف



نمودار ۴: منحنی حرکت عملگر نهایی - پرسش الف

پرسش ب - حل) برای طراحی پروفیل دوزنقه‌ای متقارن برای سرعت عملگر نهایی، از روابط $LSPB$ موجود در جزوه‌ی جلسه‌ی ۱۵ برای مفصل ۱ و به طور مشابه برای باقی مفاصل استفاده می‌کنیم.



شکل ۲: پروفیل دوزنقه‌ای

$$t_a = \frac{V_{max}}{a_{max}}, t_d = \frac{S_{max}}{V_{max}}, t_f = t_a + t_d \quad (E-2)$$

$$0 < t \leq t_a: s(t) = \frac{1}{2} a_{max} t^2 + \theta_{1i} \quad (E-3)$$

$$t_a < t \leq t_d: s(t) = V_{max}(t - t_a) + \frac{1}{2} a_{max} t_a^2 + \theta_{1i} \quad (E-4)$$

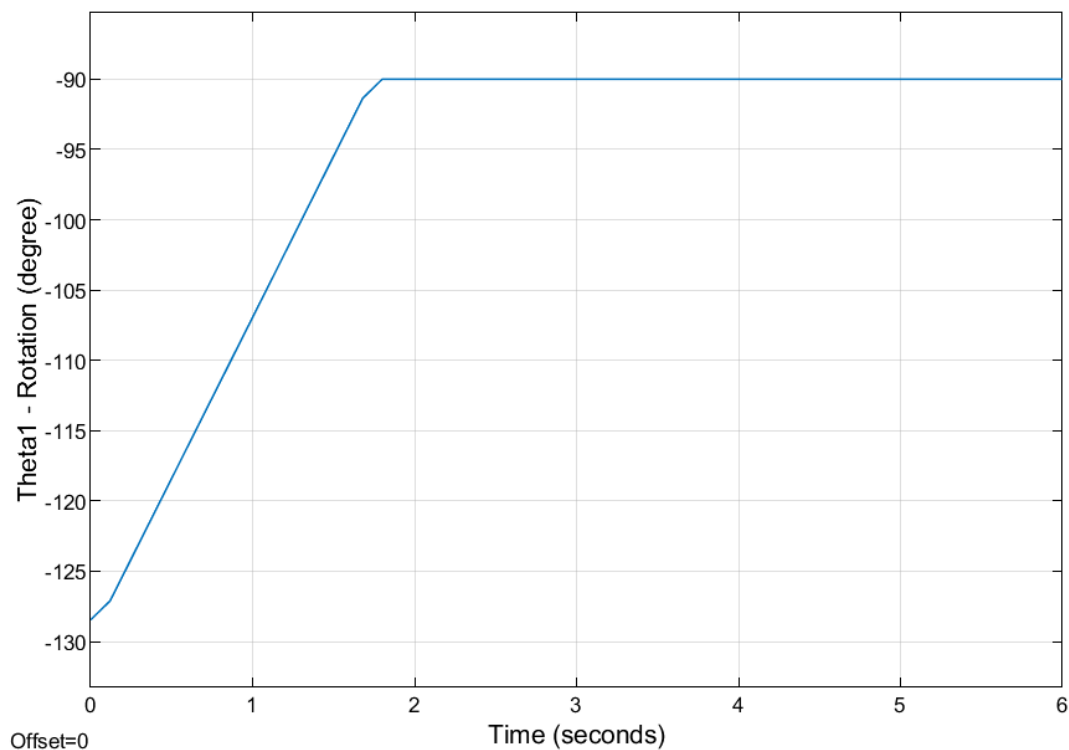
$$t_d < t \leq t_f: s(t) = V_{max}(t - t_d) - \frac{1}{2} a_{max}(t^2 - t_d^2) + a_{max} t_d(t - t_d) + V_{max} \left(t - \frac{1}{2} t_d \right) + \theta_{1i} \quad (E-5)$$

$$t_f < t: s(t) = S_{max} + \theta_{1i} \quad (E-6)$$

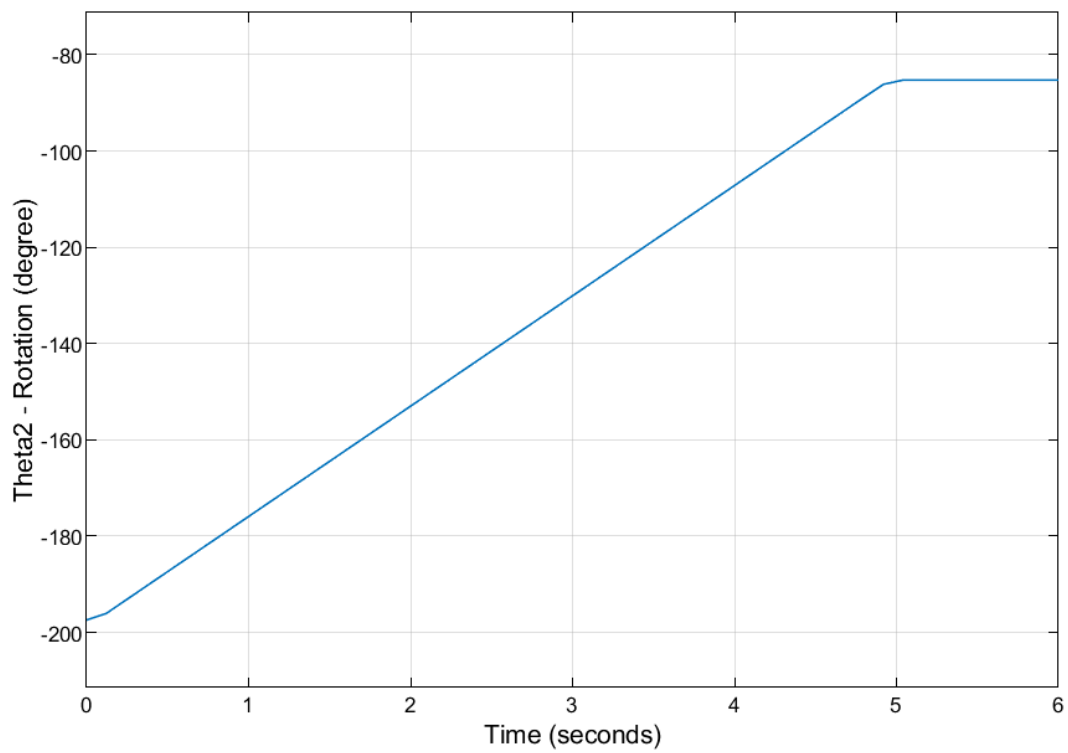
حال با برنامه‌نویسی روابط فوق در محیط *Simulink* با استفاده از بلوک *matlabFunction*، به حل پرسش پرداخته و منحنی‌ها را رسم می‌کنیم. توجه شود که با توجه به تعریف θ_1 در جزوه‌ی جلسه‌ی ۷، ورودی مفصل ۱ در مدل *Simulink* را به صورت $\theta_1 - 90^\circ$ قرار می‌دهیم.

پرسش ب - رسم منحنی‌ها - مدل *Puma_b.slx* لازم به ذکر است که با توجه به توضیحات فوق، مقدار θ_1 در منحنی مربوطه به اندازه‌ی 90° کمتر از مقادیر موجود در جدول ۱ می‌باشد. زمان اجرای مدل

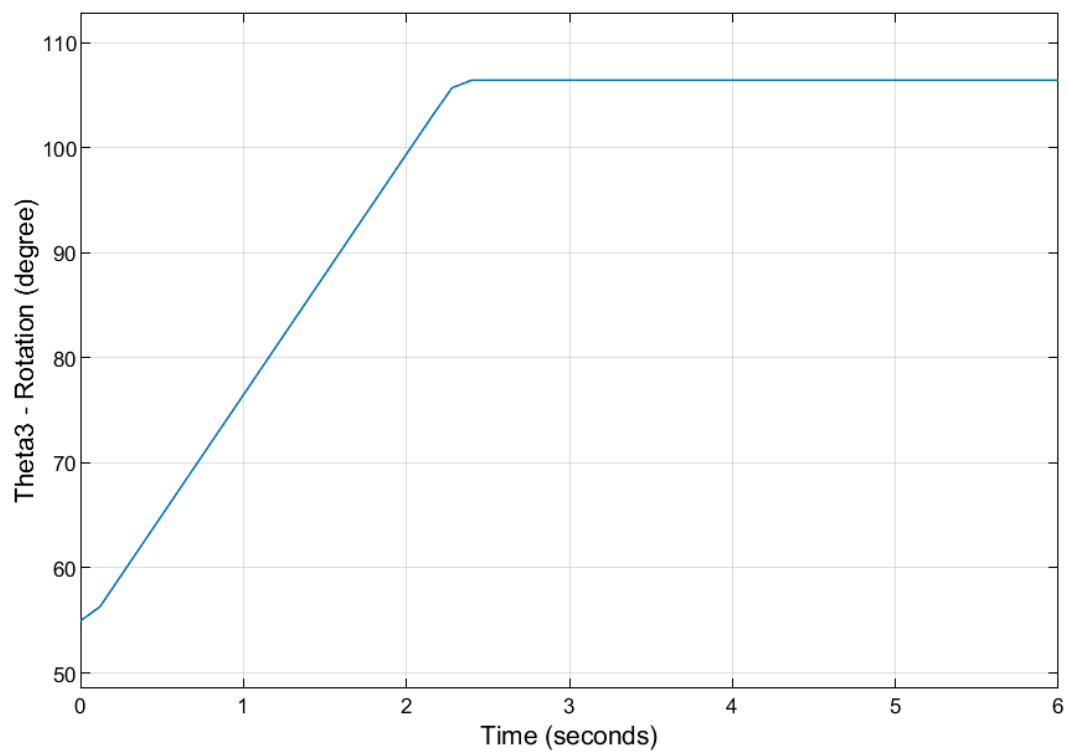
فعلی نیز برای این که تمام منحنی‌ها به صورت کامل مشاهده شوند، برابر با 6s در نظر گرفته شده است. همچنین اگر منحنی‌های مربوطه در بلوک *Scope* به درستی برای شما نمایش داده نشدند، از سربرگ *Tools* گزینه‌ی *Axis Scaling* را انتخاب نموده و مجدداً مدل را اجرا نمایید. در نمودارهای صفحه‌ی بعد مشاهده می‌شود که نقاط ابتدا و انتهای منحنی‌ها و همچنین رفتار آن‌ها با اطلاعات موجود در جدول ۱ و روابط پروفیل دوزنقه‌ای متقارن کاملاً هم‌خوانی دارد. شکل با کیفیت‌تر منحنی حرکت عملگر نهایی در همان بلوک *Scope* قابل مشاهده است.



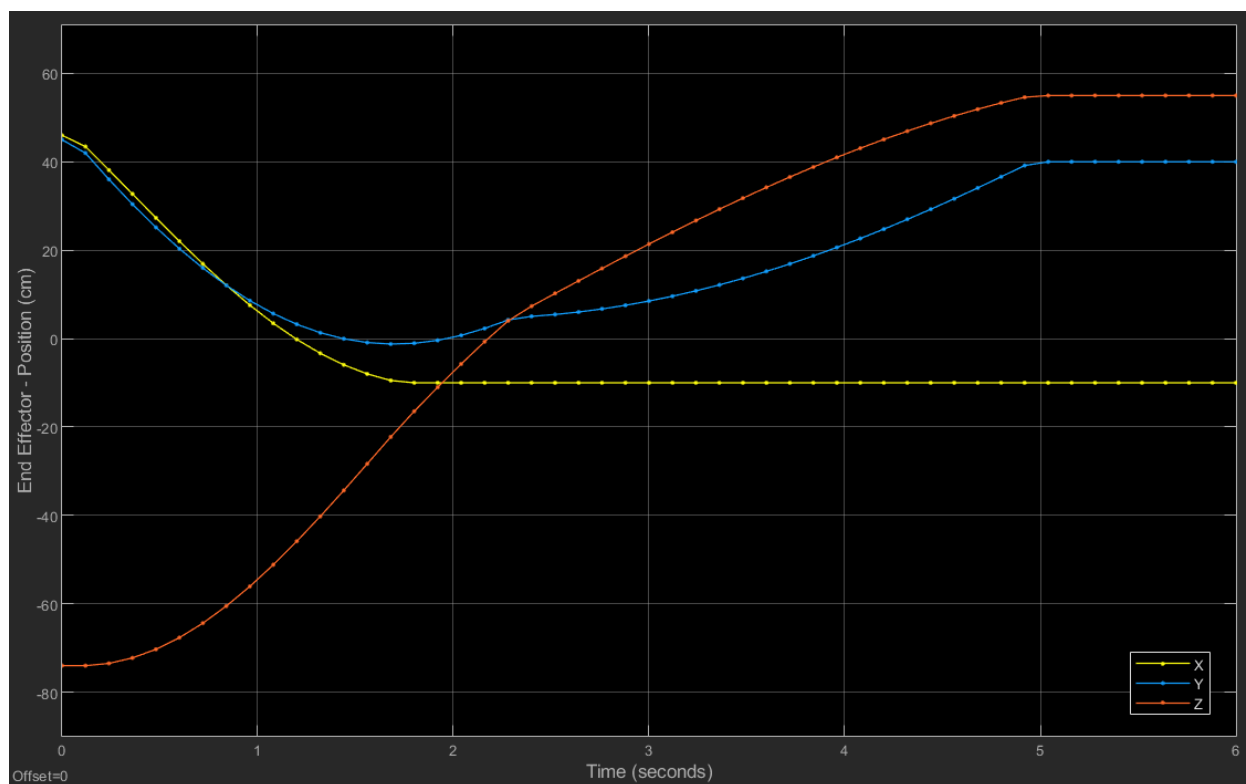
نمودار ۵: منحنی حرکت مفصل ۱ – پرسش ب



نمودار ۶: منحنی حرکت مفصل ۲ - پرسش ب



نمودار ۷: منحنی حرکت مفصل ۳ - پرسش ب



نمودار ۸: منحنی حرکت عملگر نهایی - پرسش ب