دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی مکانیک

طراحی مسیر حرکت ربات کروی (RRP)

تمرین پنجم درس رباتیک

هانیه زهرا بوداغی - ۹۹۱۰۵۹۵۶

استاد

دکتر بهزادی پور

ترم اول سال ۱۴۰۲

فهرست مطالب

۱. صورت سوالات 1

۱.۱ سوال اول 1

۲.۱ سوال دوم 1

۲. پاسخ سوالات 2

۱.۲ سوال اول 2

۲.۲ سوال دوم 8

۱. صورت سوالات

مدل ربات RRP این مسئله کاملا مشابه مدل ربات مسئله‌ی تمرین سوم می‌باشد. بنابراین مدل‌ها و کدها را از آن تمرین نیاز خواهیم داشت.

۱.۱ سوال اول

در بخش اول مسئله، دو نقطه به ما داده شده و خواسته این است که با توجه به این نقاط (که مختصات شروع و پایان حرکت عملگر نهایی هستند)، تراژکتوری چند جمله‌ای برای مفاصل طراحی شود. نکات مد نظر، پیوستگی سرعت و شتاب حرکت و نرم بودن حرکت ربات می‌باشند. سپس خواسته شده که تراژکتوری طراحی شده در سیمولینک به ربات اعمال شده و منحنی‌های حرکت مفاصل و مختصات عملگر نهایی بر حسب زمان رسم شوند.

نقاط شروع و پایان عملگر نهایی به شرح زیر می‌باشند.

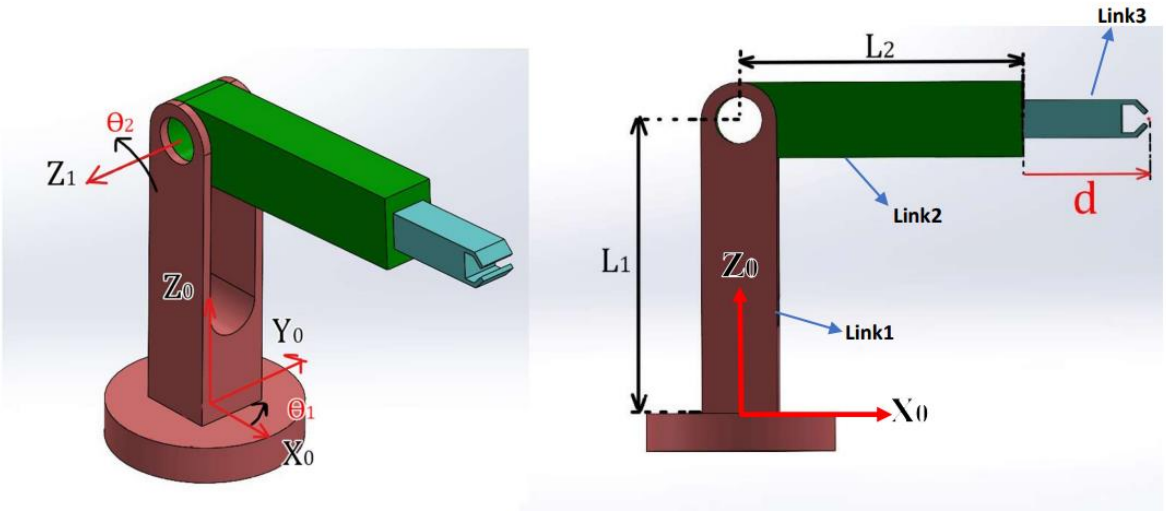
X_i (mm)	Y_i (mm)	Z_i (mm)
284.829	-164.446	190.293

X_f(mm)	Y_f(mm)	Z_f(mm)
91.203	340.373	605.682

۲.۱ سوال دوم

در این قسمت، فرض می‌شود که عملگر روی یک خط راست حرکت می‌کند و خواسته شده که تراژکتوری مفاصل بر اساس پروفیل ذوزنقه‌ای برای سرعت عملگر نهایی طراحی شود. تراژکتوری‌های طراحی شده باید به کمک بلاک Signal Builder به مدل اعمال شده و منحنی‌های حرکت مفاصل و مختصات عملگر نهایی برحسب زمان رسم شود.

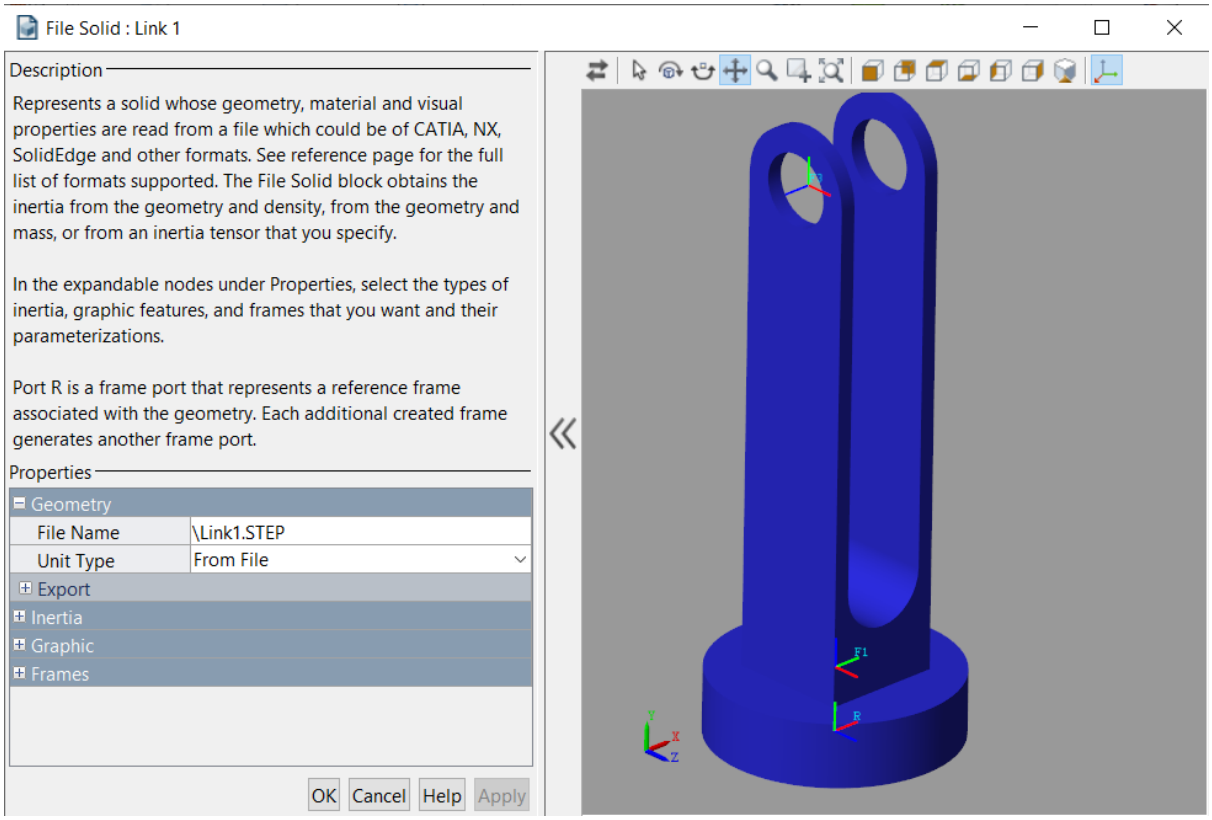
($L_1 = 31$ cm , $L_2 = 30$ cm)



۲. پاسخ سوالات

۱.۲ سوال اول

در ابتدا، اشکالات تمرین ۳ را برطرف می‌کنیم. دستگاه مختصات صفر را به شکل زیر روی لینک ۱ اعمال می‌کنیم:



سپس، کد تابع InvKin را تصحیح می‌کنیم. با توجه به مختصات نهایی عملگر نهایی در H_3^0 به شرح زیر، داریم:

$$\overrightarrow{O_0O_3} = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 \cos\theta_1 * (d+300) \\ \cos\theta_2 \sin\theta_1 * (d+300) \\ \sin\theta_2 * (d+300) + 310 \end{bmatrix}$$

$$\theta_1 = \operatorname{atan}\left(\frac{y}{x}\right)$$

$$d = \sqrt{x^2 + y^2 + (z-310)^2} - 300$$

$$\theta_2 = \operatorname{acos}\left(\frac{x}{\cos\theta_1 * (d+300)}\right)$$

بنابراین تابع InvKin (برای به دست آوردن دو دسته جواب) به شکل زیر در می‌آید:

```
function [theta1_1,theta1_2,theta2_1, theta2_2 ,d1, d2] = InvKin(x,y,z)

theta1_1 = (180/pi)*atan(y/x);
theta1_2 = 180+theta1_1;

c = sqrt(x^2+y^2+(z-310)^2); %c = d + 300

d1 = c - 300;
d2 = -c - 300;

b = x / (cosd(theta1_1)*(d1+300)); %b = cos theta2

theta2_1 = (180/pi)*acos(b);
theta2_2 = -theta2_1;

end
```

حال، با استفاده از این تابع، متغیرهای مفاصل را در مختصات شروع و پایان عملگر نهایی به دست می‌آوریم:

$$X_i = [284.829; -164.446; 190.293]$$

$$X_f = [90.203; 340.373; 605.682]$$

Mode	1	2
$x\ (mm)$	284.829	90.203
$y\ (mm)$	-164.446	340.373
$z\ (mm)$	190.293	605.682
θ_{11}	-30	75
θ_{12}	150	255
θ_{21}	20	40
θ_{22}	-20	-40
d_1	50	160
d_2	-650	-760

دسته جواب‌های $[\theta_{11}, \theta_{21}, d_1]$ را از هر حالت انتخاب می‌کنیم و داریم:

حالت ۱:

$$[\theta_{11}, \theta_{21}, d_1] = [-30,20,50]$$

حالت ۲:

$$[\theta_{11}, \theta_{21}, d_1] = [75,40,160]$$

حال، برای هر مفصل تراژکتوری چندجمله‌ای حرکت را طراحی می‌نماییم:

$$T = 1s$$

مفصل ۱:

$$\theta_1(0) = -30° \qquad \dot{\theta}_1(0) = 0$$

$$\theta_1(1) = 75° \qquad \dot{\theta}_1(1) = 0$$

$$\theta_1(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3$$

$$a_0 = \theta_1(0) = -30°$$

$$a_1 = \dot{\theta}_1(0) = 0$$

$$\begin{cases} 75 = -30 + a_2 + a_3 \\ 0 = 2a_2 + 3a_3 \end{cases} \Longrightarrow a_2 = 315, a_3 = -210$$

$$\theta_1(t) = -30 + 315t^2 - 210t^3$$

با انجام عملیات مشابه برای مفاصل ۲ و ۳ نیز خواهیم داشت:

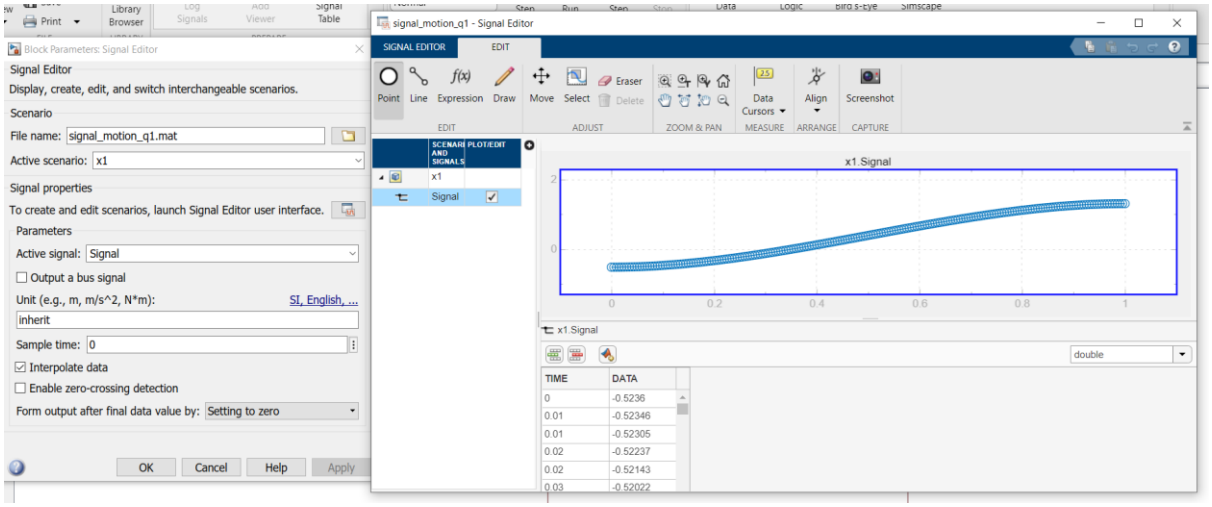
$$\theta_2(t) = 20 + 60t^2 - 40t^3$$

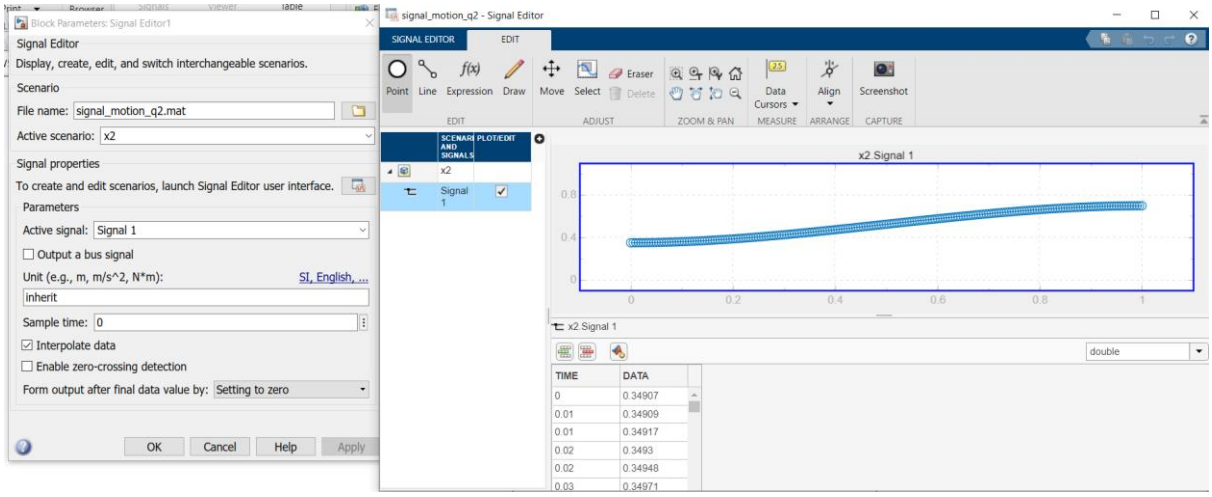
$$d(t) = 50 + 330t^2 - 220t^3$$

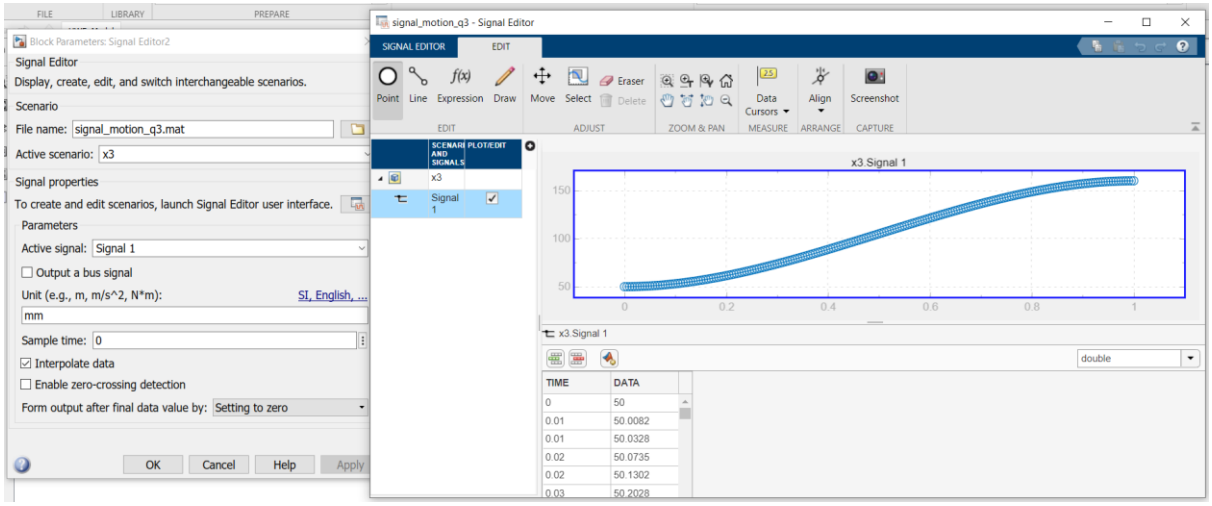
با استفاده از کد زیر، دیتاهای مربوط به هر مفصل را در ورک‌اسپیس پیاده‌سازی و ذخیره می‌کنیم:

```
t = 0:0.005:1;
theta1 = (-30 + 315*t.^2 - 210*t.^3)*(pi/180);
theta2 = (20 + 60*t.^2 - 40*t.^3)*(pi/180);
d = (50 + 330*t.^2 - 220*t.^3)/1000;
```

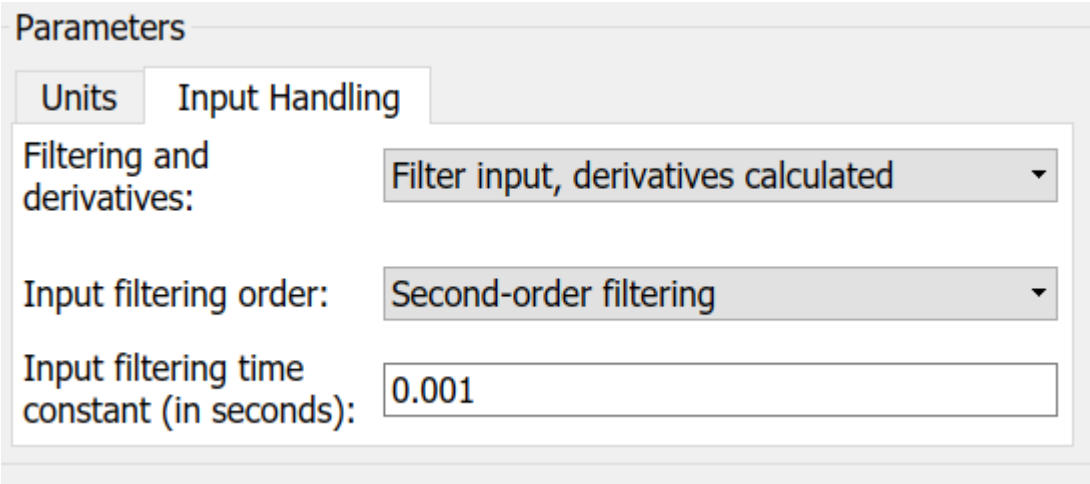
سپس، در سیمولینک، از بلاک ***Signal Builder*** برای ساختن سیگنال‌های مربوط به هر مفصل استفاده می‌نماییم:

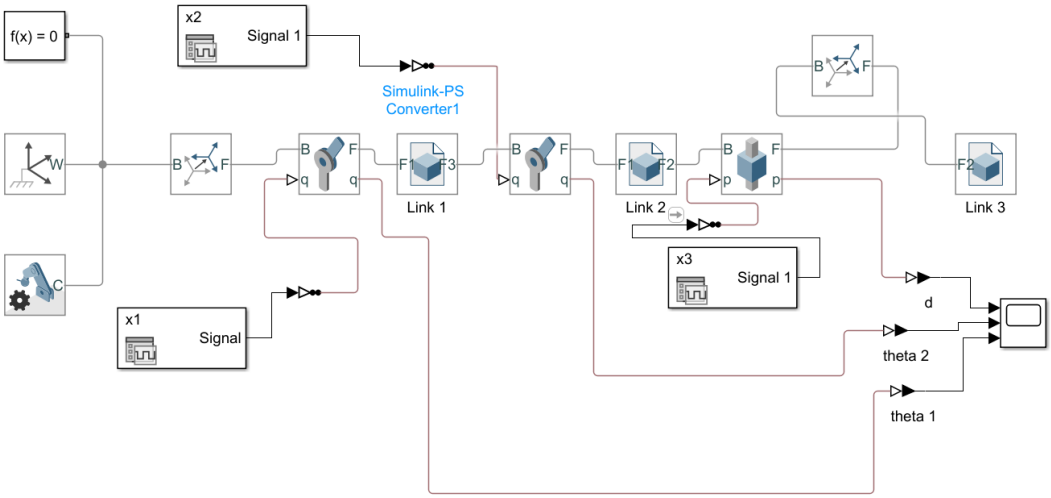




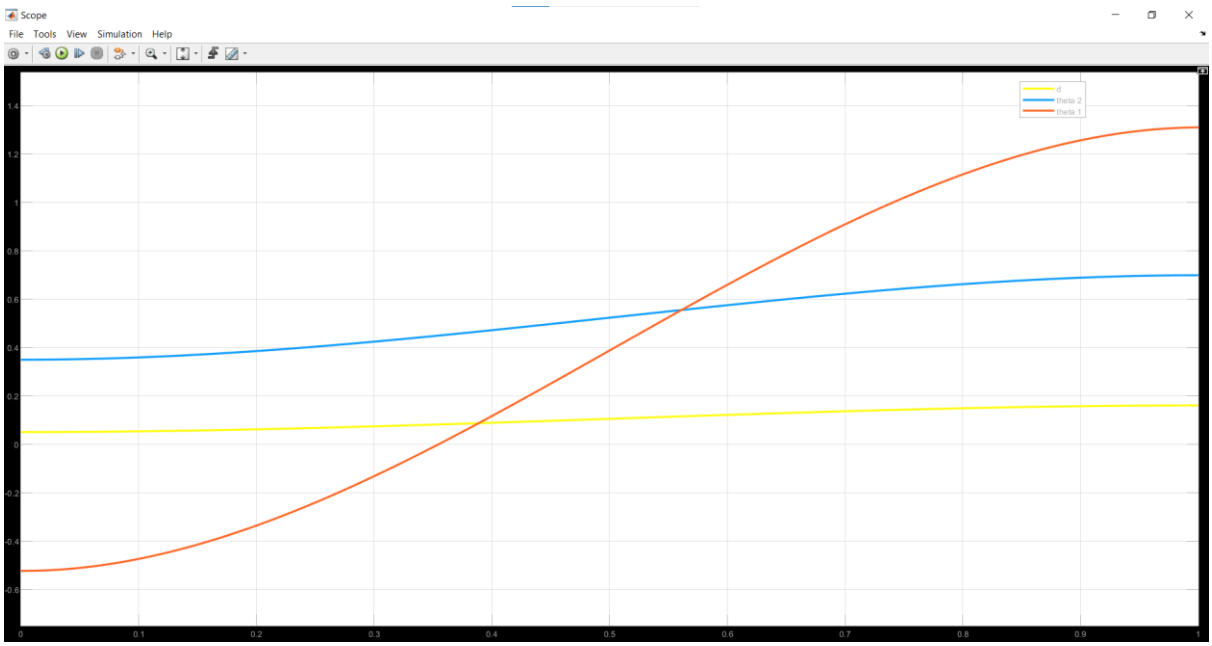


با استفاده از تنظیمات زیر در *Simulink-PS Converter*، هر سیگنال را به ورودی حرکتی مربوط خود وصل می‌نماییم:

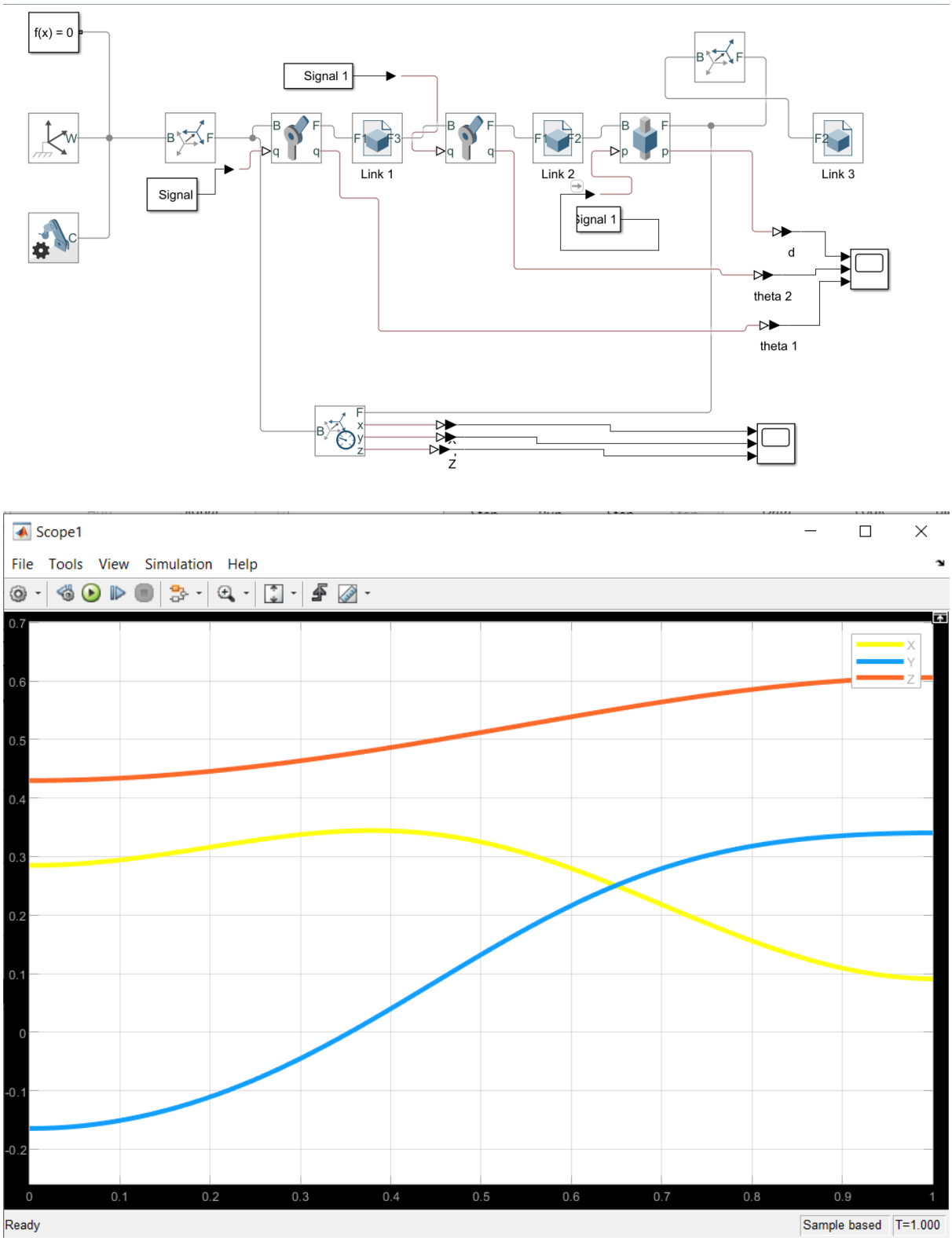




ابتدا با زدن تیک *Position* در منوی *Sensing* هر مفصل، از موقعیت آن خروجی گرفته و سپس با استفاده از بلاک *Scope*، آن‌ها را رسم می‌نماییم:



به منظور رسم مختصات عملگر نهایی نیز از بلاک *Transform Sensor* استفاده کرده و از *X*، *Y* و *Z* آن روی یک *Scope* مجزا خروجی می‌گیریم:



حرکت نرم ربات را می‌توانید در ویدیوی پیوست *HW5_Q1.mp4* مشاهده کنید.

۲.۲ سوال دوم

به منظور انجام سوال دوم، باید پروفایل ذوزنقه‌ای برای عملگر نهایی طراحی کرده و سپس با استفاده از آن، s(t) را بدست بیاوریم. سپس، با استفاده از نقاط شروع و پایانی، بردار یکه‌ی مسیر حرکت را ساخته و طی هر مرحله از حرکت، پرمایش مسیر حرکتی را بدست می‌آوریم و ماتریسی از مختصات عملگر نهایی در نقاط مختلف می‌سازیم.

$$V_{\max=300\frac{mm}{s}}, a_{\max=\pm\frac{g}{4}}$$

$$t_a = v_\max/a_{max}$$

$$t_d = \frac{\Delta s}{v_max}$$

$$t_f = t_d + t_a$$

مراحل حرکتی:

$$\begin{cases} 1)\ 0 < t < t_a \\ 2)\ t_a < t < t_d \\ 3)\ t_d < t < t_f \end{cases}$$

برای هر کدام از این مراحل، با توجه به جزوه درس، از پروفایل ذوزنقه‌ای انتگرال گرفته شده و s(t) مربوط به هر مرحله بدست آمده است. سپس، با استفاده از رابطه‌ی

$$X_s = X_i + s * unit_x$$

که در آن

$$unit_x = \frac{\overrightarrow{X_f} - \overrightarrow{X_a}}{|\overrightarrow{X_f} - \overrightarrow{X_a}|}$$

می‌باشد، پرمایش کلی حرکت مسیر را انجام داده و مختصات عملگر نهایی را در هر زمان مشخص بدست می‌آوریم.

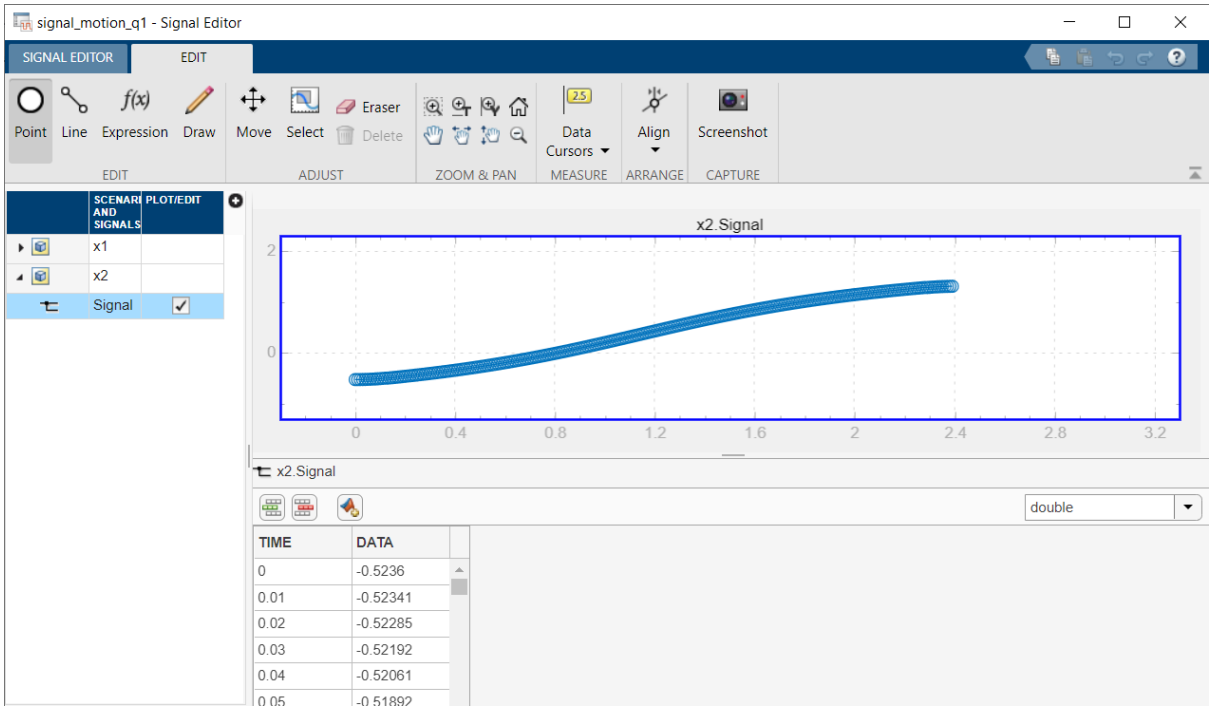
سپس، با استفاده از سینماتیک معکوس، مقادیر متغیرهای مفاصل را در هر مختصات بدست می‌آوریم.

روند انجام تمامی اعمال بالا در کد زیر نمایان است (روابط طراحی پروفایل ذوزنقه‌ای از جزوه‌ی درس برگرفته شده می‌باشد):

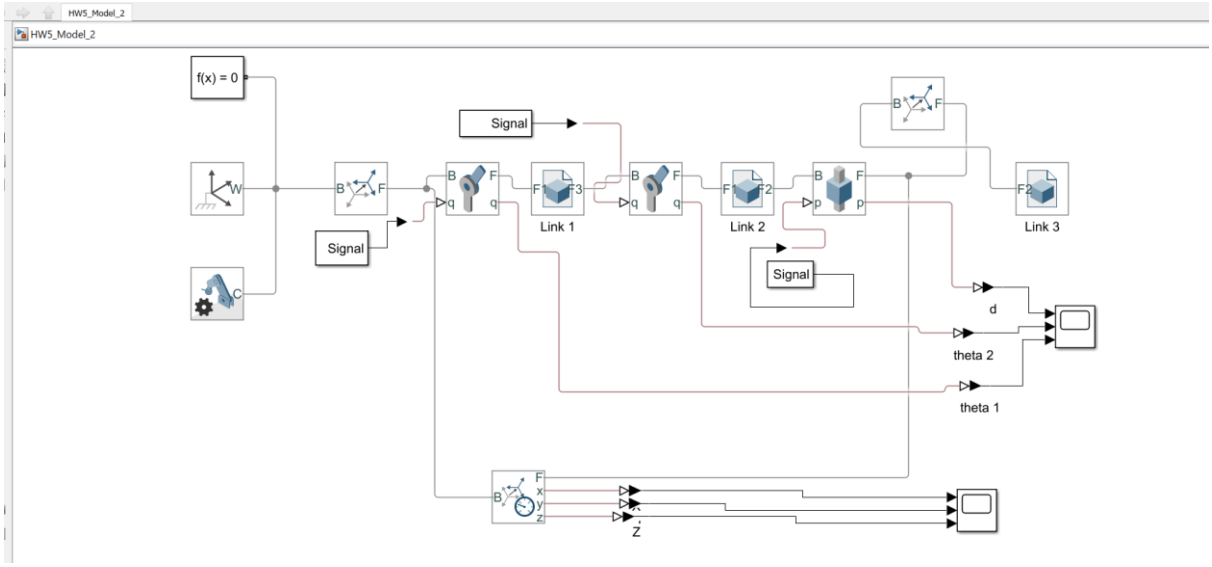
```
v_max = 300;
a_max = (9.81*1000)/4;
delta_s = sqrt(((Xf(1)-Xi(1)))^2+((Xf(2)-Xi(2))^2)+((Xf(3)-Xi(3))^2));
```

```
ta = v_max/a_max;
td = delta_s / v_max;
tf = td + ta;

t1 = 0:0.01:ta;
t2 = ta:0.01:td;
t3 = td:0.01:tf;
s1 = 0.5*a_max*t1.^2;
s2 = v_max*(t2-0.5*ta);
s3 = v_max*(t3-td) + a_max*td*(t3 - td) - .5*a_max*(t3.^2-td^2) + v_max*(td - .5*ta);

unit_x = (Xf - Xi)/delta_s;
s_len = length(s1)+length(s2)+length(s3)-2;
Xs = ones(3, s_len);

for i = 1:length(s1)
Xs(:,i) = Xi + s1(i).*unit_x;
end

for i = 1:length(s2)
   Xs(:,i+length(s1)) = Xi + s2(i).*unit_x;
end

for i = 1:length(s3)
   Xs(:,i+length(s1)+length(s2)) = Xi + s3(i).*unit_x;
end

Q = ones(3, s_len); %joint variables
for i = 1:s_len
   x = Xs(1, i); y = Xs(2, i); z = Xs(3, i);
   [a,b,c,d,e,f] = InvKin(x,y,z);
    Q(1, i) = a;
    Q(2, i) = c;
    Q(3, i) = e;
end

tt = 0:0.01:tf;
theta1_2 = Q(1, :)*(pi/180);
theta2_2 = Q(2, :)*(pi/180);
dis = Q(3, :)/1000;
```

سپس، هرکدام از متغیرهای مفاصل را به عنوان سیگنال در بلوک سیگنال ادیتور به عنوان یک سناریوی جدید می‌سازیم. (x2) (سناریوی x1 در هر بلوک signal editor مربوط به بخش اول تمرین می‌باشد).

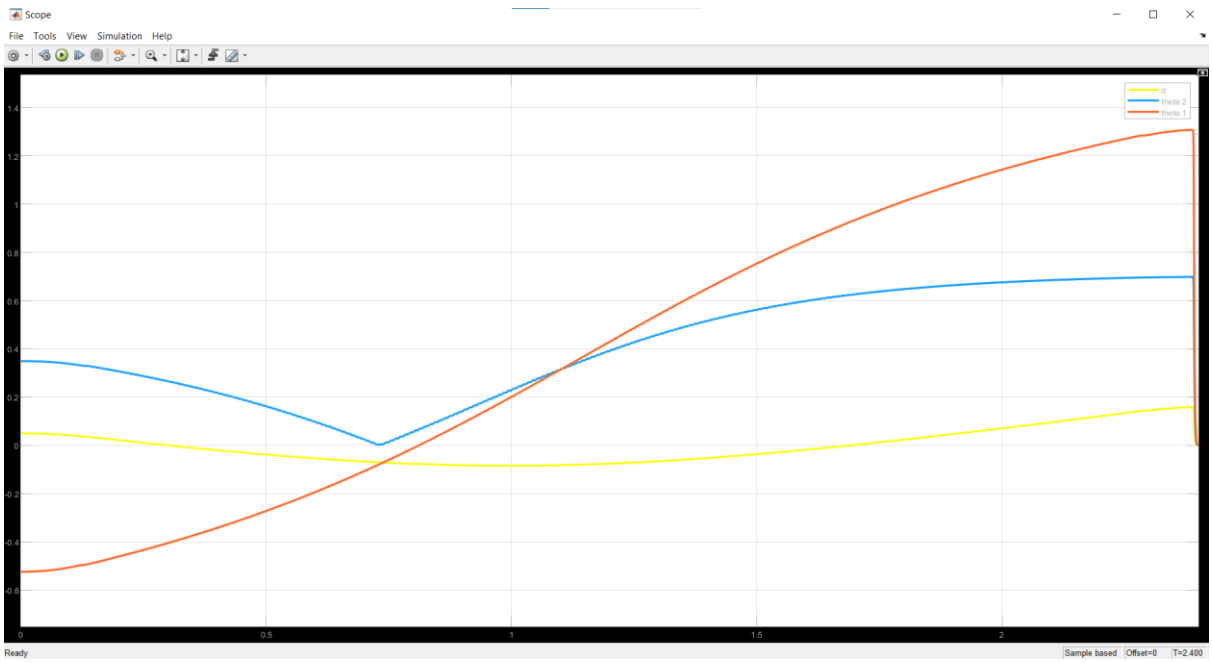


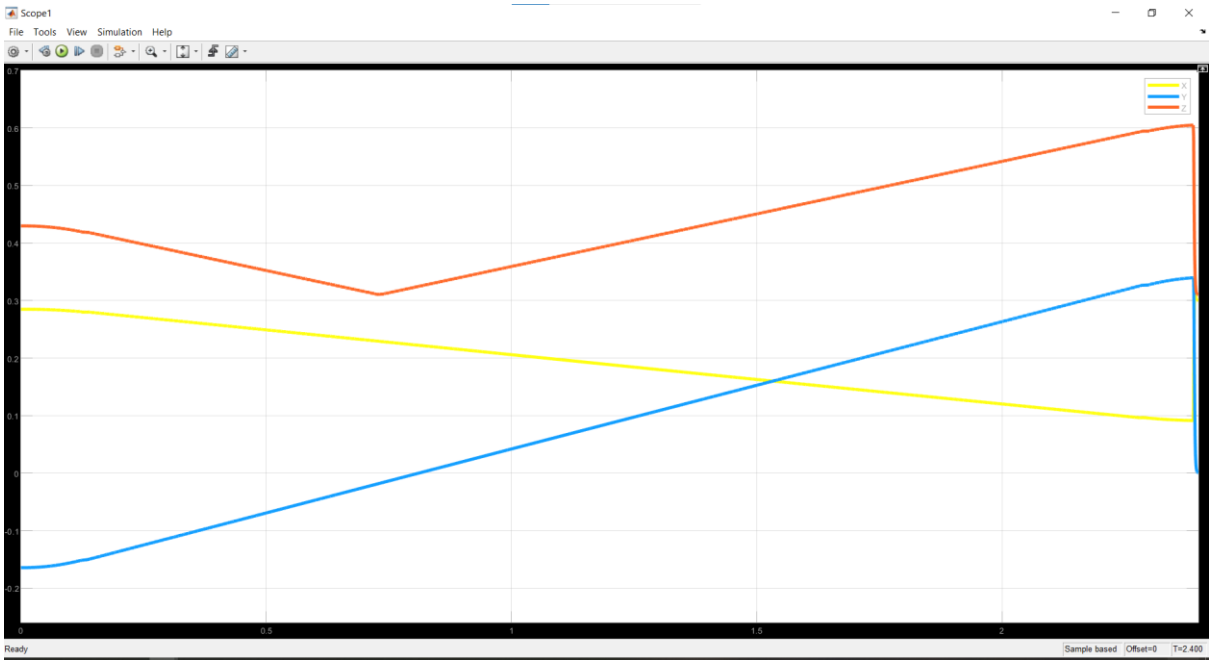
سپس، سیگنال‌ها را به مفاصل ورودی می‌دهیم و خروجی آن را در قالب دومین فایل سیمولینک (HW5_Model_2.slx) تحویل می‌گیریم.



(تنها تفاوت مدل یک با مدل دو، سناریوهای بلاک سیگنال ادیتور می‌باشد.)

منحنی‌های حرکت مفاصل و مختصات عملگر نهایی نیز به شرح زیر می‌باشند:





*کدها و مدل‌ها به پیوست قرار گرفته‌اند.