

دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده برق - گروه مکترونیک

تمرین درس کنترل مبتنی بر پیش بینی مدل دوره کارشناسی ارشد

رشته مهندسی مکترونیک

عنوان

تمرین درس کنترل مبتنی بر پیش بینی مدل

نگارش

علیرضا امیری

آذر ۱۴۰۳

پاسخ سوالات سری چهارم

پاسخ سوال ۱

سوال یکم

در سوال اول با توجه به معادلات حالت سیستم که به صورت زیر داده شده است، می توانیم درکی از سیستم به دست

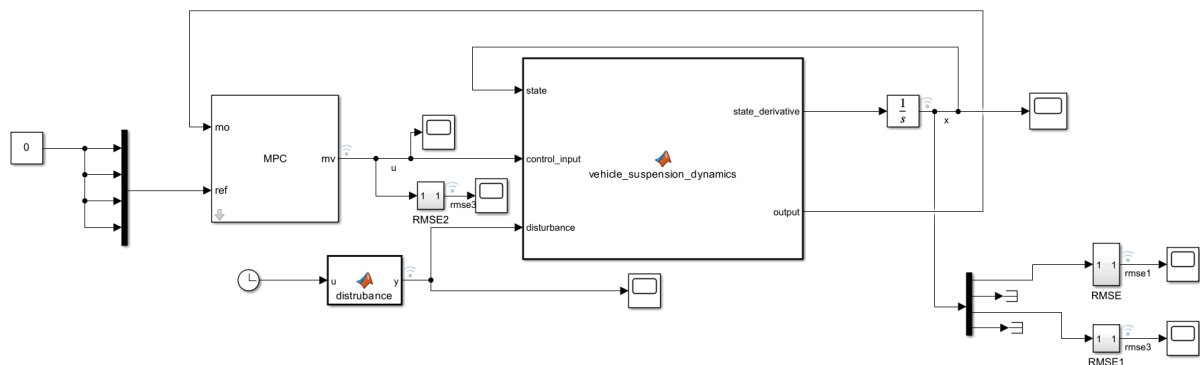
بیاوریم:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{c_S}{M_S} & \frac{k_S}{M_S} & \frac{c_S}{M_S} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\frac{k_U}{M_U} & \frac{c_S}{M_U} & \frac{k_S+k_U}{M_U} & \frac{-c_S+c_U}{M_U} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{c_S c_U}{M_S M_U} \\ -\frac{c_U}{M_U} \\ \frac{c_U}{M_U} \left(\frac{k_U}{c_U} - \frac{c_S}{M_U} - \frac{c_U}{M_U} \right) \end{bmatrix} d + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{M_S} \\ 0 \\ -\frac{1}{M_U} \end{bmatrix} u$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} d + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

مشاهده می شود که سیستم دارای چهار حالت و سه خروجی مشاهده پذیر است. ساختار کنترلی پیش بین خطی

برای این سوال به صورت زیر طراحی می شود.



شکل ۱: بلوک دیاگرام LMPC

لازم به ذکر است که با توجه به محدودیت های متلب برای ابعاد ورودی ها، خروجی ها و حالت های سیستم، چهار خروجی برای سیستم تعریف شده است، اما خروجی چهارم که نیازی نیست در نظر گرفته شود با مقدار ۰ در نظر گرفته می شود. معادلات سیستم را به صورت زیر در یک سیستم تعریف می کنیم.

```
function [state_derivative, output] = vehicle_suspension_dynamics(state, control_input, disturbance)
% Parameters of the suspension system
sprung_mass = 2500; % Sprung mass (kg)
unsprung_mass = 320; % Unsprung mass (kg)
spring_constant_s = 80000; % Spring constant of the suspension (N/m)
spring_constant_u = 500000; % Spring constant of the tire (N/m)
damping_coefficient_s = 350; % Damping coefficient of the suspension (Ns/m)
damping_coefficient_u = 15020; % Damping coefficient of the tire (Ns/m)

% State-space matrices
% State vector: [x_s; v_s; x_u; v_u]
% x_s: Displacement of the sprung mass
% v_s: Velocity of the sprung mass
% x_u: Displacement of the unsprung mass
% v_u: Velocity of the unsprung mass

A_matrix = [
    0, 1, 0, 0;
    -damping_coefficient_s/sprung_mass, -spring_constant_s/sprung_mass, damping_coefficient_s/sprung_mass, 0;
    0, 0, 0, -1;
    -spring_constant_u/unsprung_mass, damping_coefficient_s/unsprung_mass, (spring_constant_s + spring_constant_u)/unsprung_mass, -(damping_coefficient_s + damping_coefficient_u)/unsprung_mass
];

% Input matrices
B_disturbance = [
    0;
    damping_coefficient_s * damping_coefficient_u / (sprung_mass * unsprung_mass);
    -damping_coefficient_u / unsprung_mass;
    damping_coefficient_u / unsprung_mass * (spring_constant_u / damping_coefficient_u - damping_coefficient_s / unsprung_mass - damping_coefficient_u / unsprung_mass)
];

B_control = [
    0;
    1 / sprung_mass;
    0;
    -1 / unsprung_mass
];

% Compute state derivative
state_derivative = A_matrix * state + B_disturbance * disturbance + B_control * control_input;

% Compute output vector
% Output vector is [x_s; v_s; x_u; placeholder], where placeholder is fixed at 0
output = zeros(4, 1);
output(1) = state(1); % Sprung mass displacement
output(2) = state(2); % Sprung mass velocity
output(3) = state(3); % Unsprung mass displacement
output(4) = 0; % Placeholder
end
```

شکل ۲: کد پلنت سیستم

همچنین، اغتشاش وارد شده به سیستم توسط کد زیر ایجاد می شود.

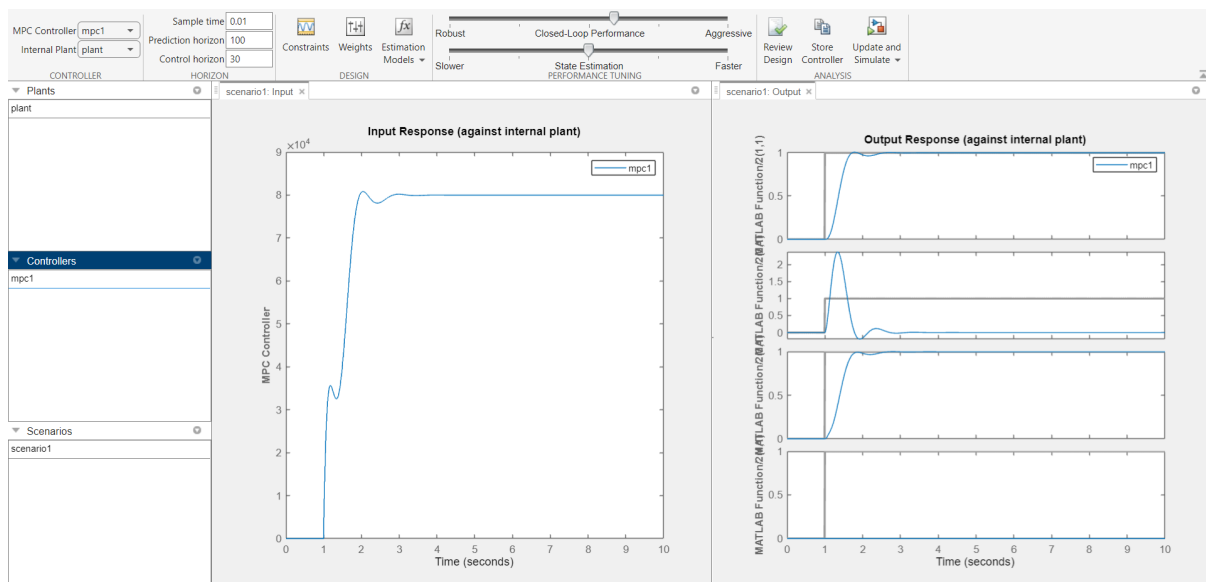
```
function y = distrubance(u)

if u>=4 & u<5
    y = (u-4);
elseif u>=5 & u<= 7
    y = 1;
elseif u>7 & u<8
    y = -u+8;
else
    y = 0;
end
```

شکل ۳: اغتشاش

در ادامه، با طراحی کنترلر MPC برای این سیستم با تنظیمات زیر، می توانیم نتایج به دست آمده از سیستم را مشاهده

کنیم:



شکل ۴

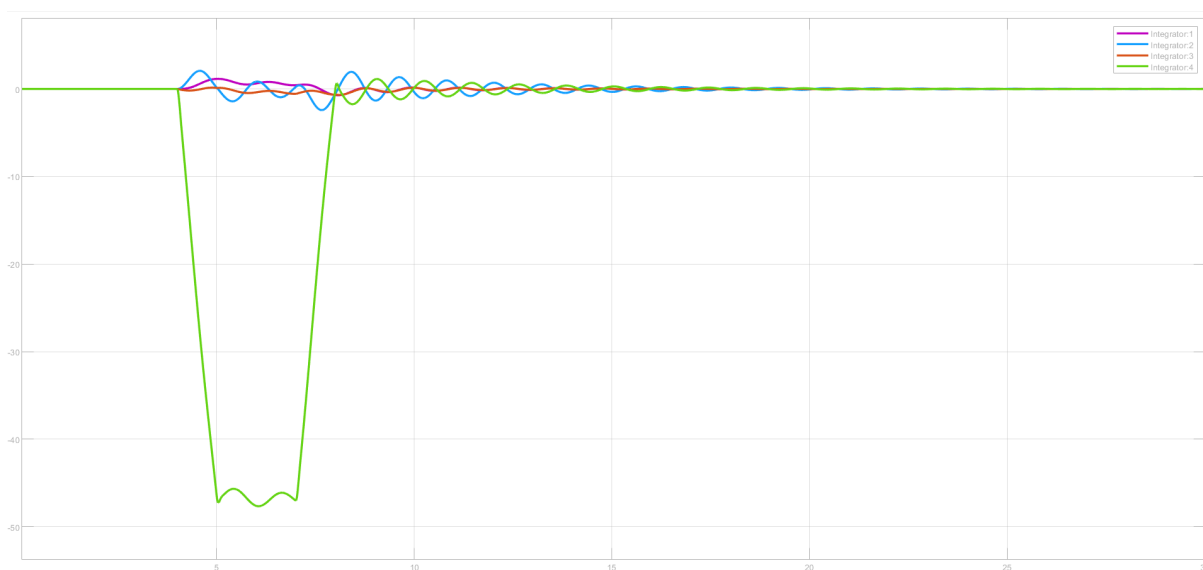
همچنین باید توجه شود که قید هایی برای حالت اول سیستم در نظر گرفته شده است تا مقدار آن از ۱ بیشتر نشود.

Input and Output Constraints					
Channel	Type	Min	Max	RateMin	RateMax
▼ Inputs					
$u(1)$	MV	-Inf	Inf	-Inf	Inf
▼ Outputs					
$y(1)$	MO	-1	1		
$y(2)$	MO	-Inf	Inf		
$y(3)$	MO	-Inf	Inf		
$y(4)$	MO	-Inf	Inf		

Equal Constraint Relaxation (ECR)					
Channel	Type	MinECR	MaxECR	RateMinECR	RateMaxECR
▼ Inputs					
$u(1)$	MV	0	0	0	0
▼ Outputs					
$y(1)$	MO	1	1		
$y(2)$	MO	1	1		
$y(3)$	MO	1	1		
$y(4)$	MO	1	1		

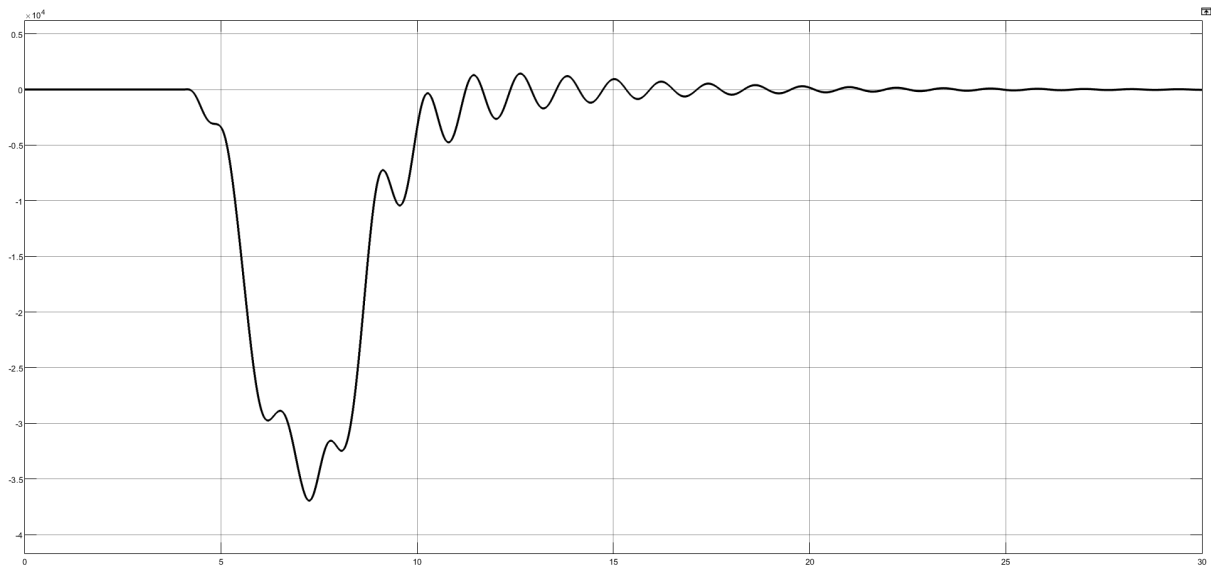
شکل ۵

با استفاده از سیستم تعریف شده، پاسخ های سیستم به صورت زیر به دست می آید.



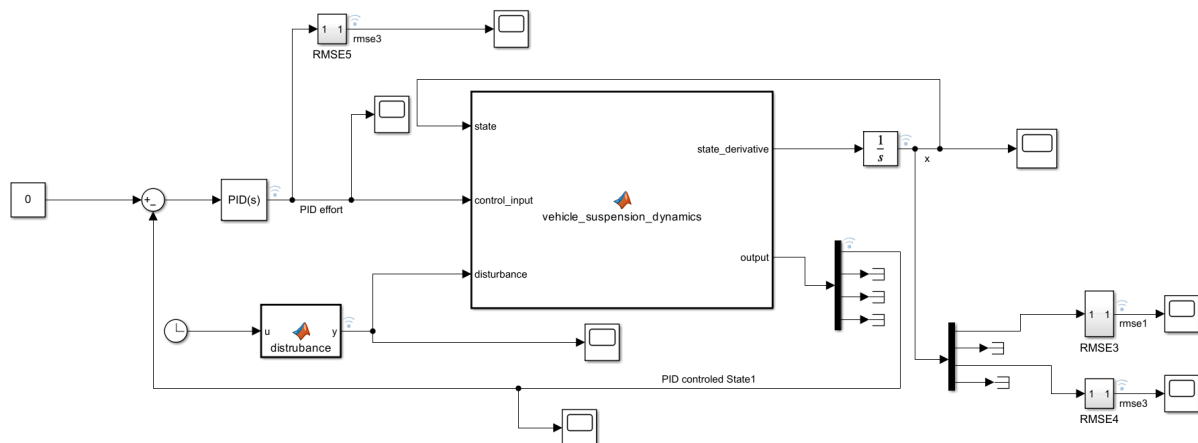
شکل ۶

همچنین نمودار تلاش کنترلی سیستم به صورت زیر به دست می آید.



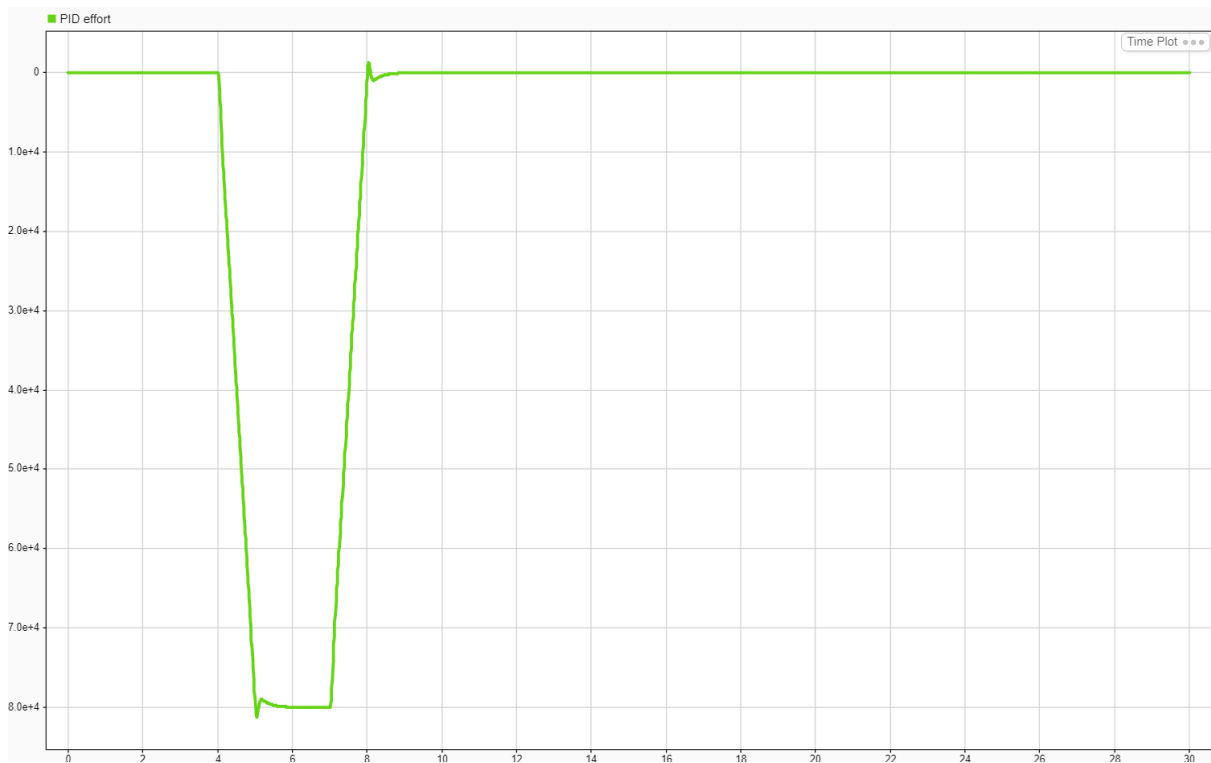
شکل ۷

با در اختیار داشتن نتایج به دست آمده و به منظور تحلیل این نتایج، کنترلر PID نیز برای سیستم طراحی و بررسی می شود. دیاگرام این سیستم به شرح زیر خواهد بود:



شکل ۸

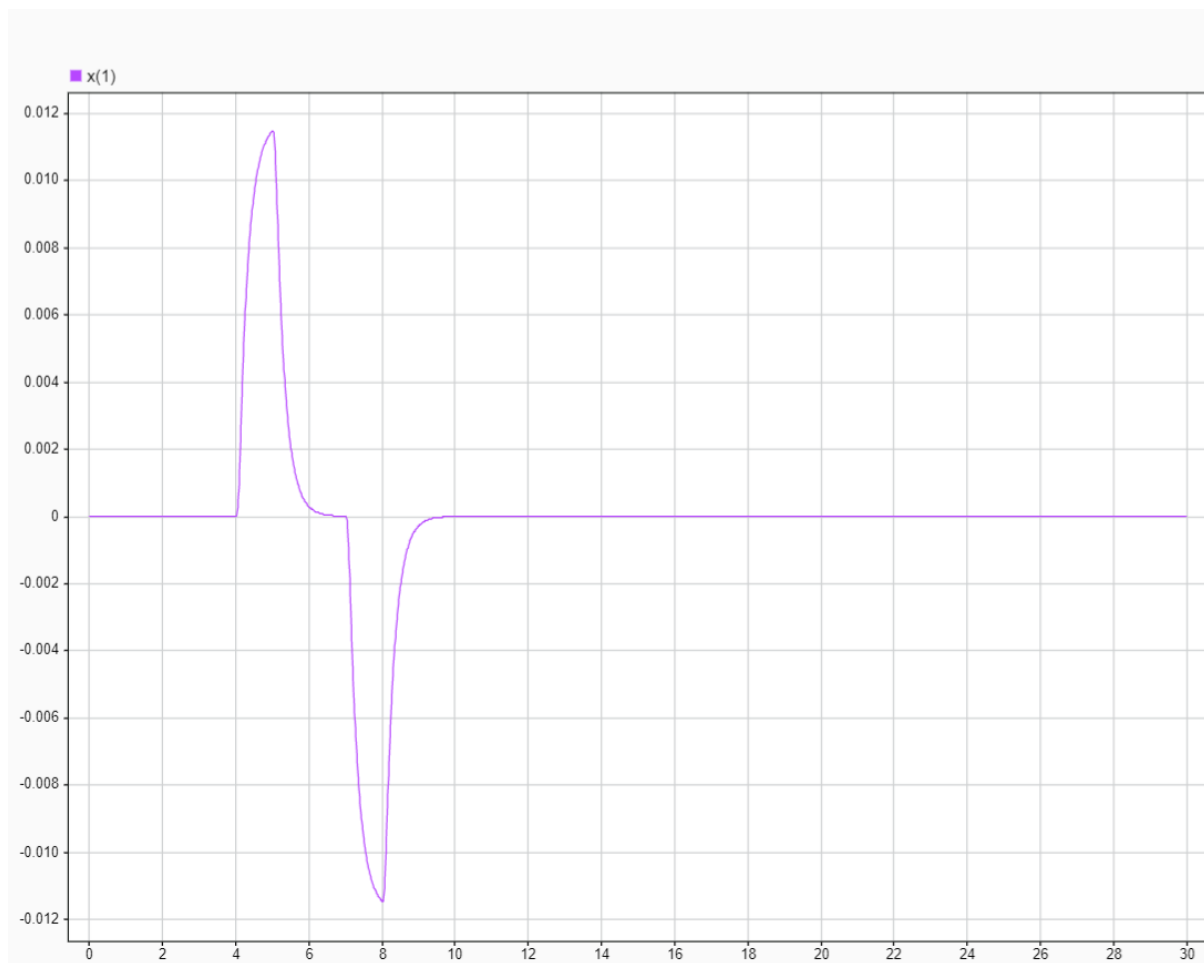
لازم به ذکر است که برای این سیستم، تنها حالت اول به عنوان خروجی سیستم در نظر گرفته شده است. پاسخ سیستم به صورت زیر به دست می آید و مشاهده می شود که می تواند به خوبی اغتشاش وارد شده را رفع کند. اما با در نظر گرفتن ضرایب PID و همچنین نمودار تلاش کنترلی مشاهده می شود که در نهایت این کنترلر در سیستم های واقعی قابل پیاده سازی نمی باشد.



شکل ۹

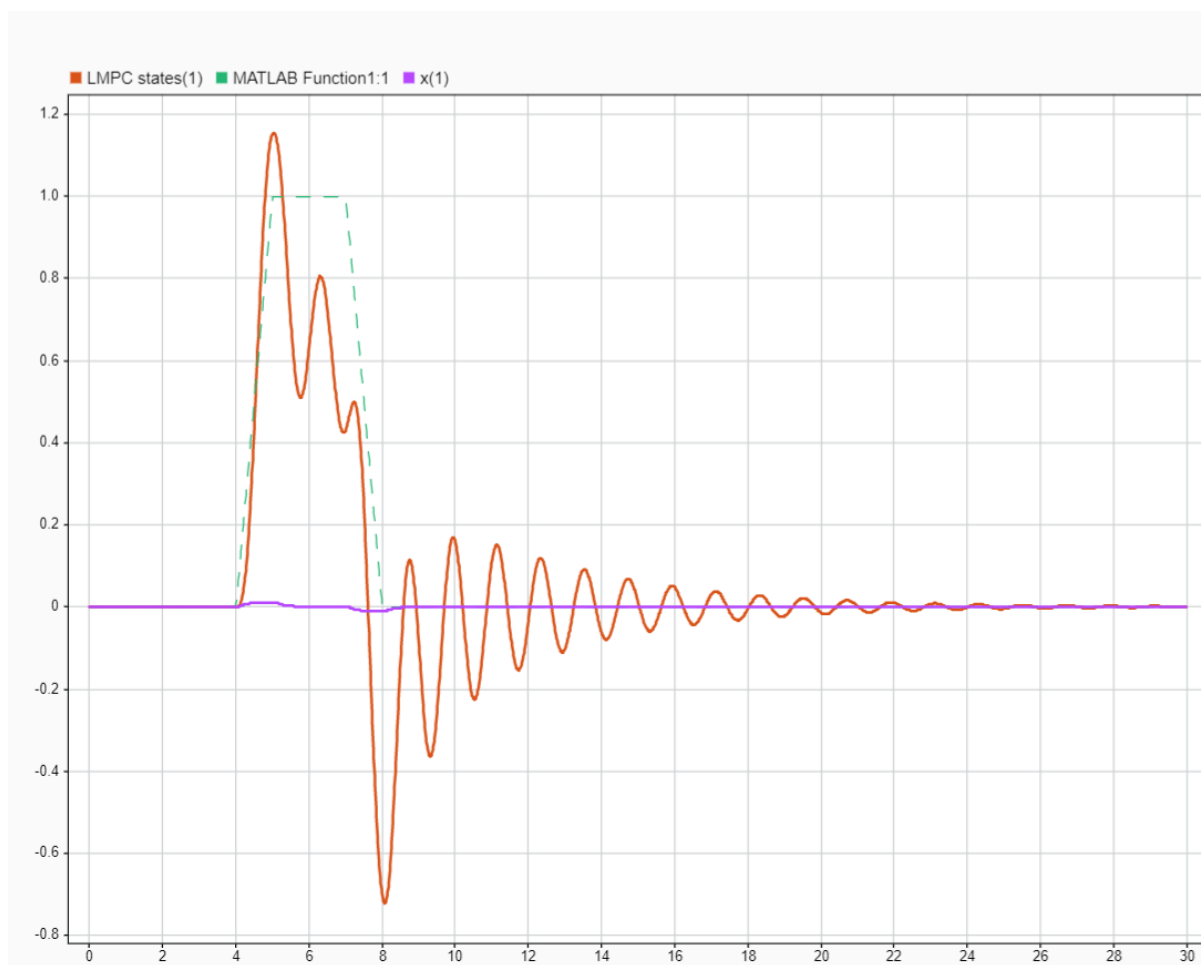
Proportional (P):	2115167.33224621	2.1152e+06	:
Integral (I):	6808255.34812067	6.8083e+06	:
		<input type="checkbox"/> Use I*Ts (optimal for codegen)	
Derivative (D):	134270.145058429	1.3427e+05	:
Filter coefficient (N):	315.344677005256	315.34	:
		<input checked="" type="checkbox"/> Use filtered derivative	

شکل ۱۰

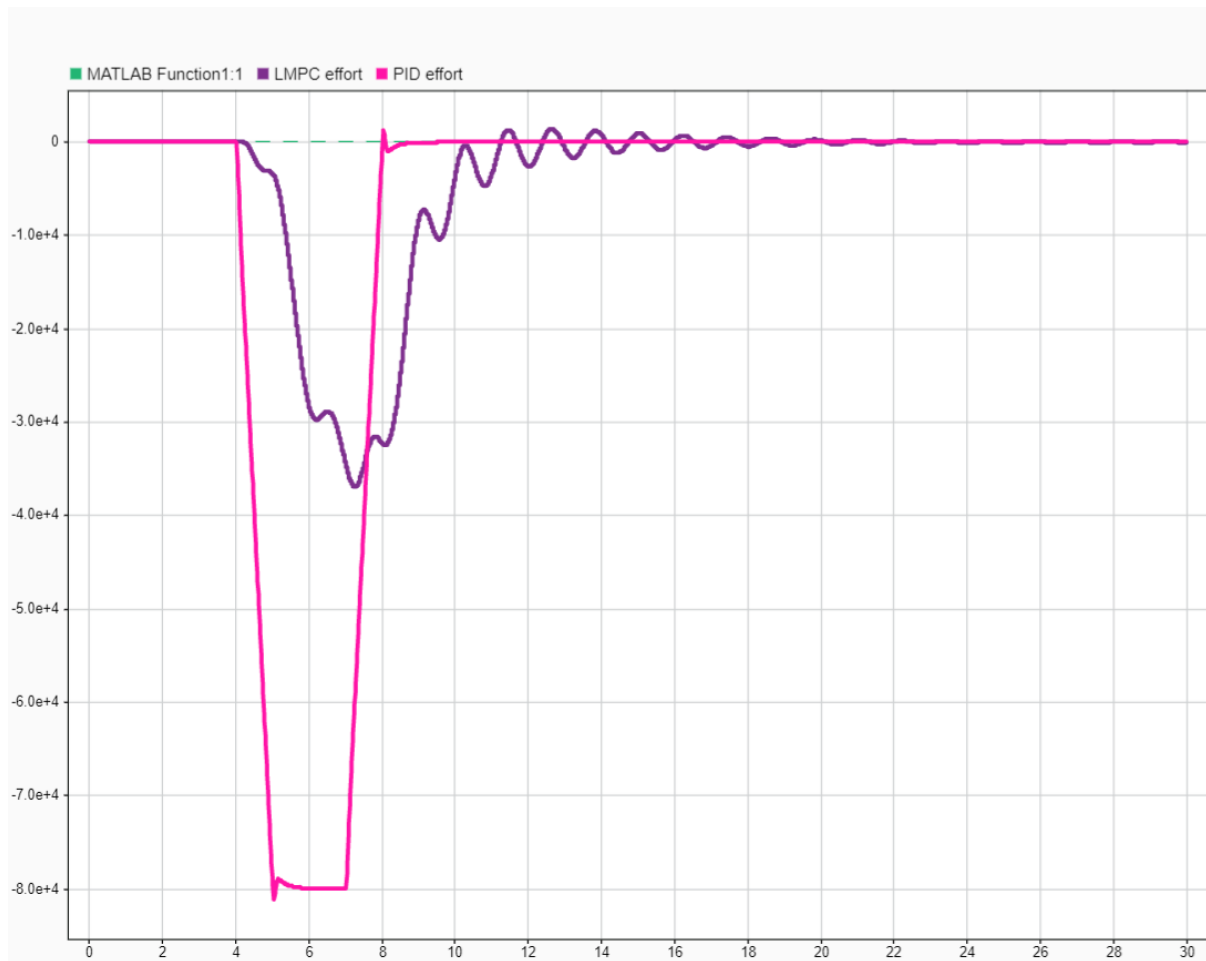


شکل ۱۱

در اینجا با در نظر گرفتن نتایج به دست آمده از MPC و PID می توانیم مقایسه ای در عملکرد آنها داشته باشیم. نتایج به دست آمده از خروجی کنترلی حالت اول با این دو کنترلر و تلاش کنترلی برای رفع آن به صورت زیر خواهد بود.

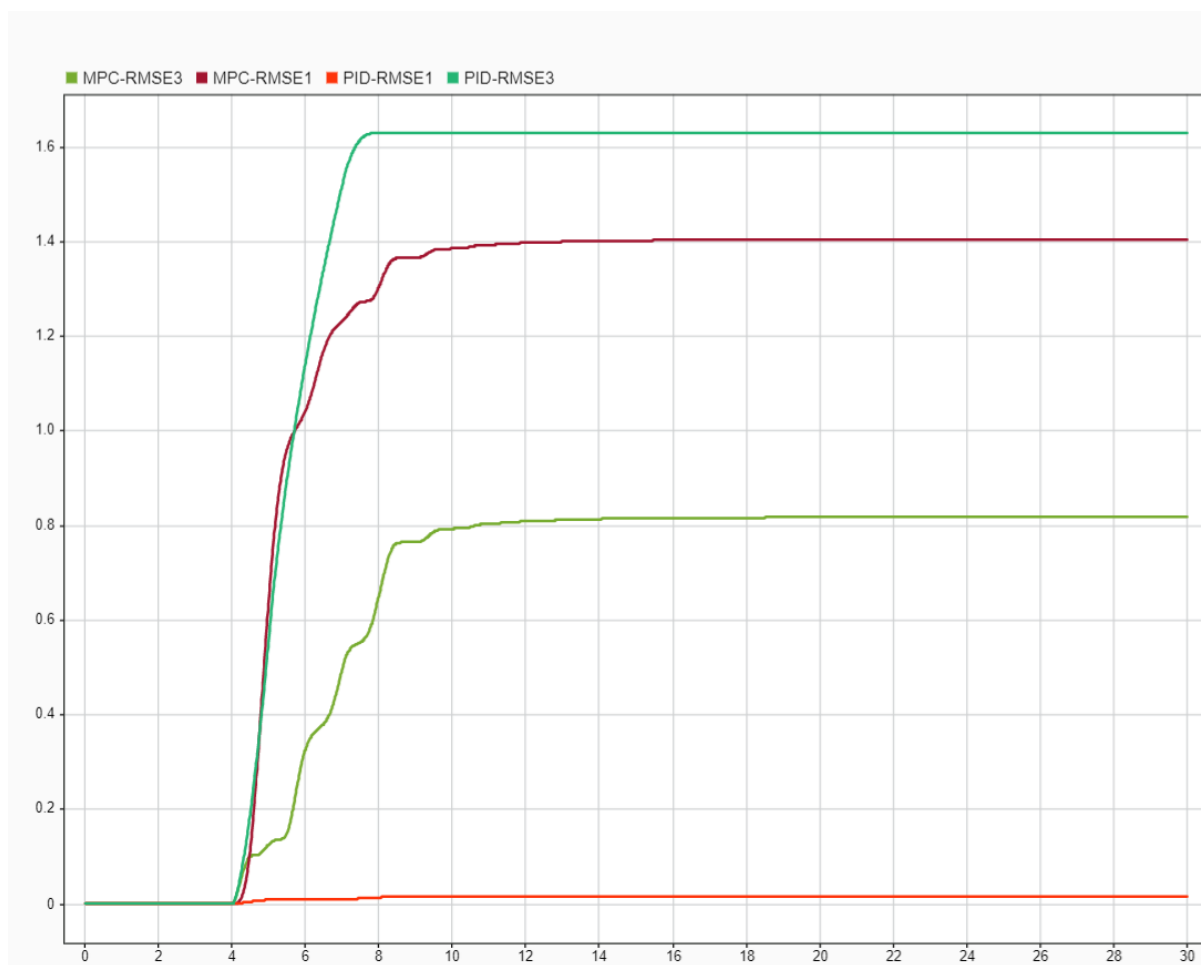


شکل ۱۲



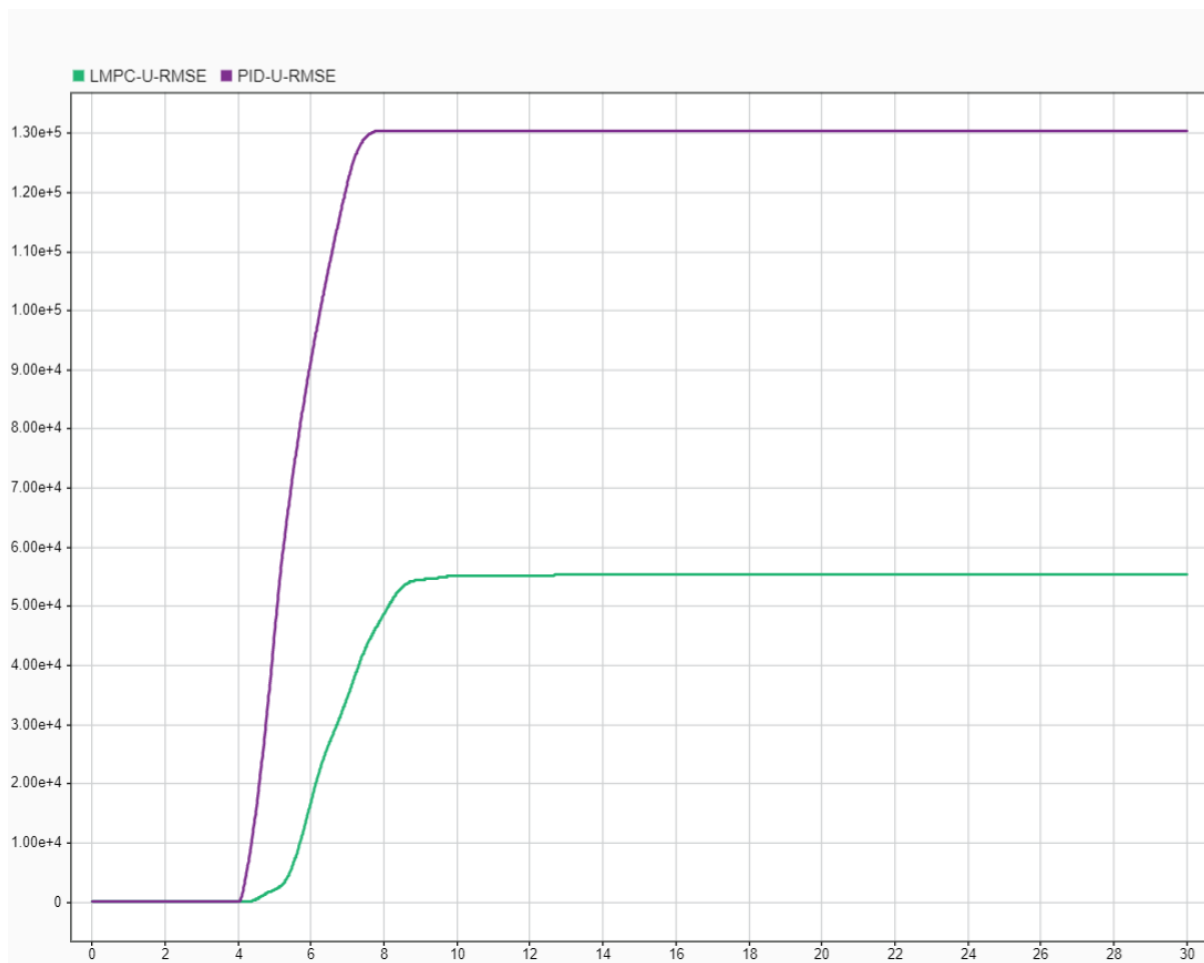
شکل ۱۳

همچنین مقادیر RMSE برای این دو کنترلر در دو حالت مورد نظر به صورت زیر به دست می آید.



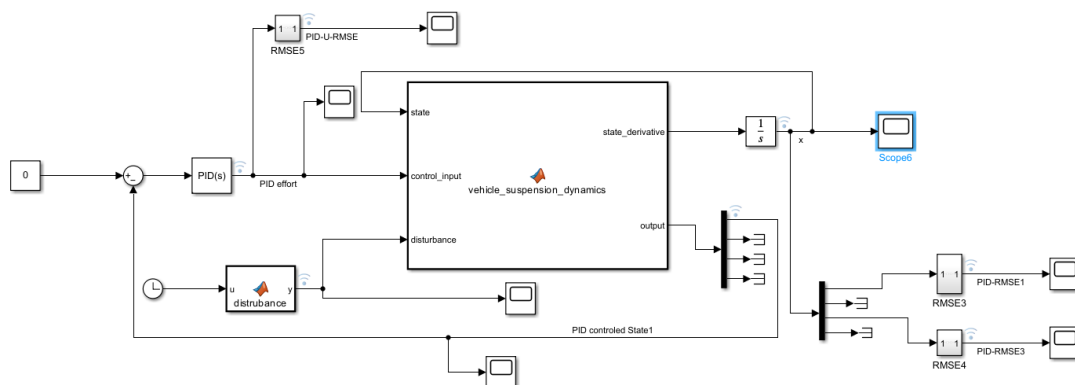
شکل ۱۴

نتایج به دست آمده نشان می دهد که مقادیر RMSE برای کنترلر MPC بیشتر از کنترلر PID است. همچنین، مقدار RMSE برای ورودی کنترلرها به صورت زیر خواهد بود:

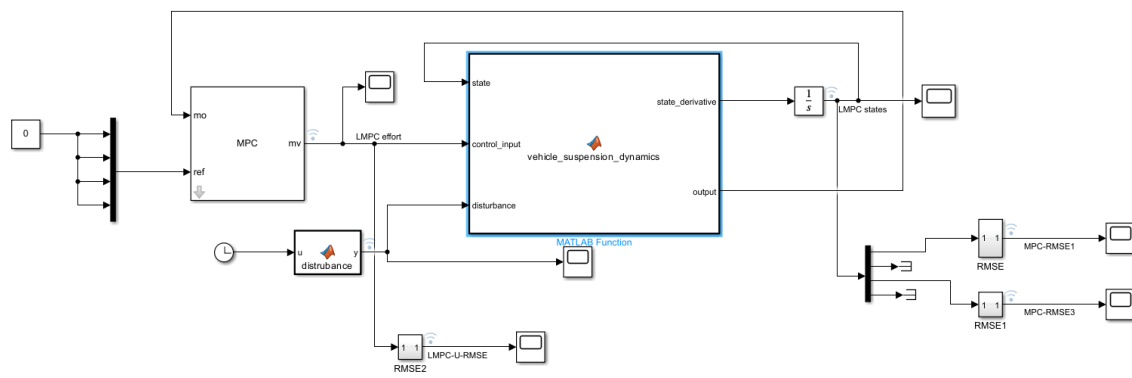


شکل ۱۵

در نتیجه دیاگرام های سیستم ها با توجه به تغییرات اعمال شده به صورت زیر برای دو کنترلر خواهد بود.



شکل ۱۶



شکل ۱۷