بسم الله الرحمن الرحیم

آزمایشگاه سیستم‌های کنترل خطی (سیمولینک)

دانشگاه علمی کاربردی ایران خودرو

بهزاد سامانی

www.تدریس.com

www.تدریس .com

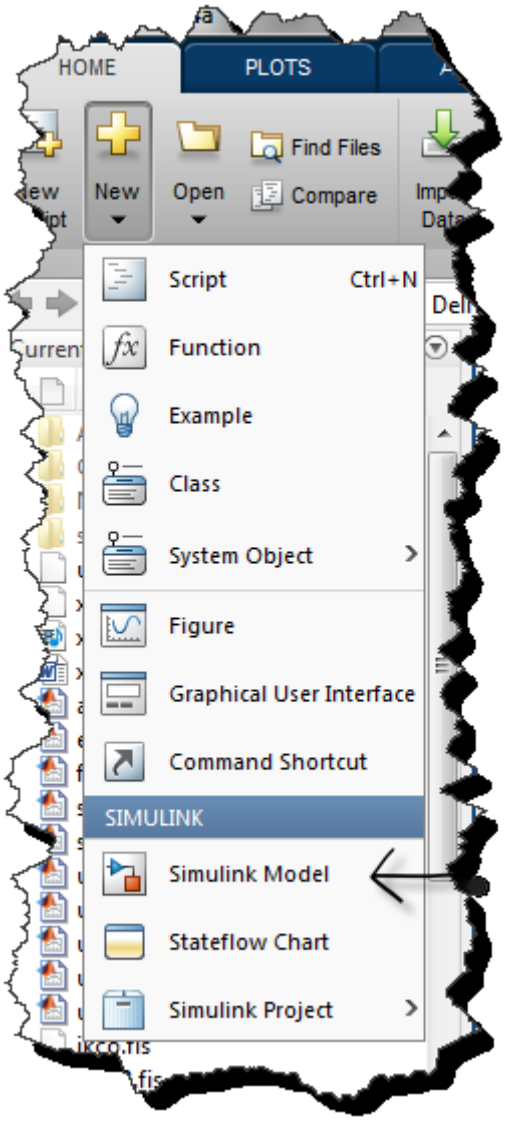
پاییز ۱۳۹٤

استفاده از این جزوه و نشر آن با ذکر صلوات بر محمد(ص) و آل محمد(ص) برای همگان کاملاً مجاز است.

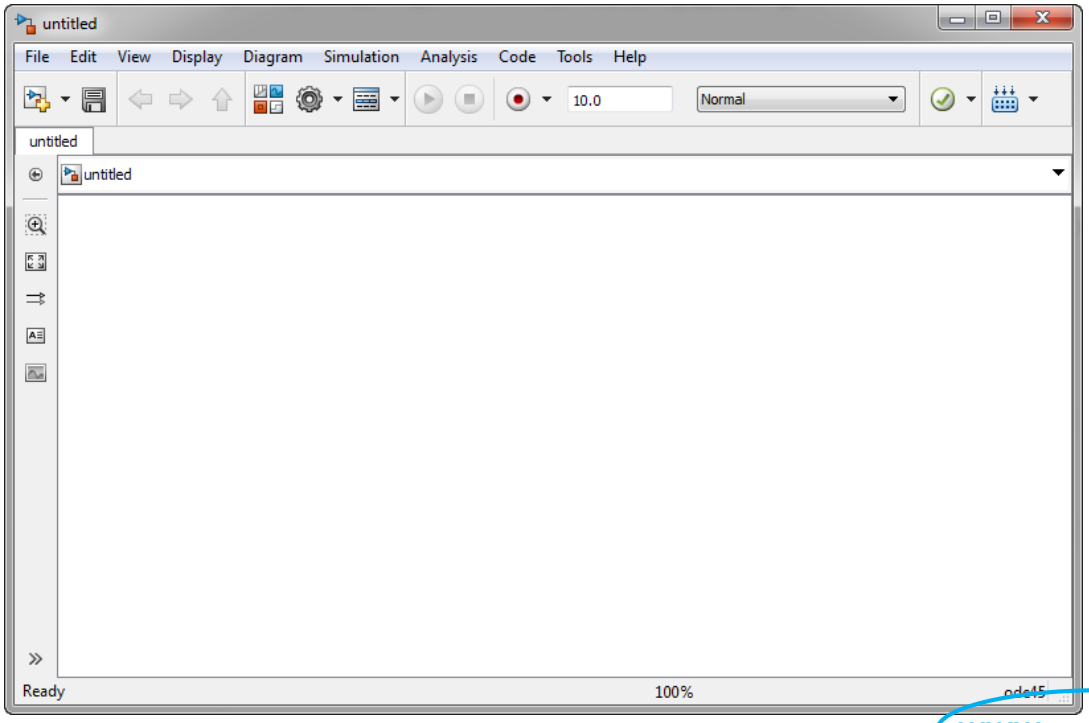
سیمولینک (**SIMULINK**) نرم‌افزاری است که همراه با نرم‌افزار متلب (**MATLAB**) ارائه می‌شود و برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی سیستم‌های مختلف به صورت گرافیکی به کار می‌رود. این نرم‌افزار امکانات بسیار خوبی در زمینه‌های عمومی و نیز تخصصی رشته‌های مختلف مهندسی دارد.

برای استفاده از سیمولینک، ابتدا باید نرم‌افزار متلب را اجرا کنیم.

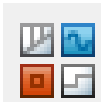
بر روی آیکون **New** و سپس بر روی **Simulink Model** کلیک می‌کنیم.

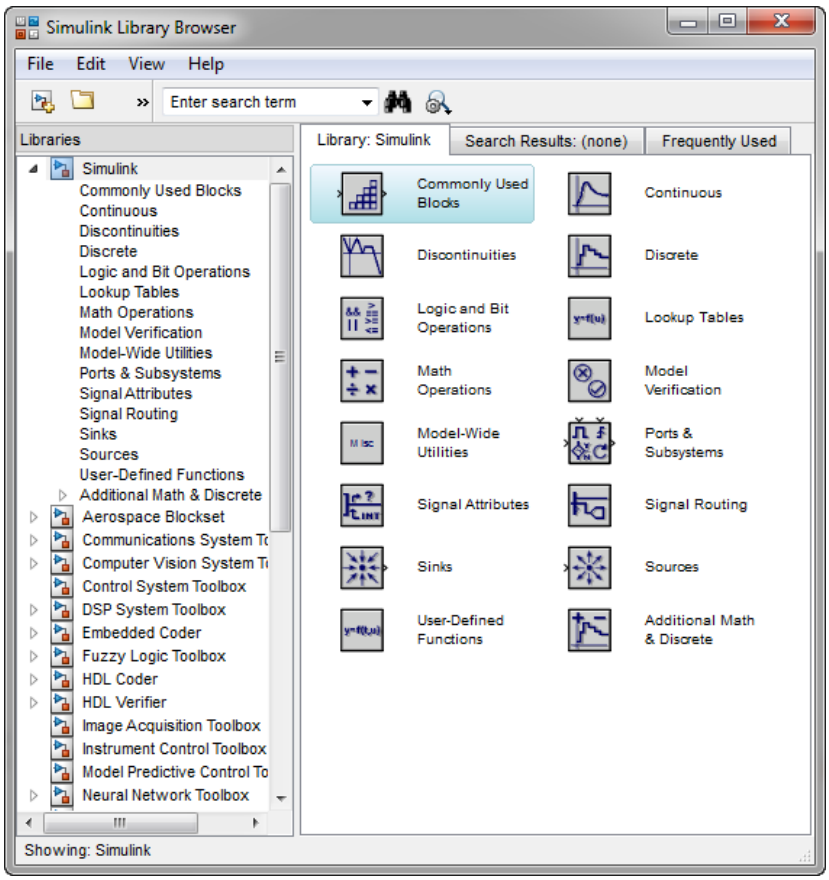


صبر می کنیم تا پنجره زیر باز شود. اینجا محیط سیمولینک است.



www.تدریس .com

برای دسترسی به بلوک‌های سیمولینک، بر روی آیکون  در بالای صفحه کلیک کنید تا پنجرهٔ **Simulink Library Browser** باز شود (پنجرهٔ کتابخانه مدل).



تمام بلوک‌های سیمولینک در این پنجره و در پوشه‌هایی ذخیره شده‌اند. بلوک‌های موجود در پوشه اول یعنی پوشه **Simulink**، بلوک‌های عمومی هستند و پوشه‌های دیگر حاوی بلوک‌های تخصصی هستند.

پوشه **Simulink** خودش حاوی چند زیرپوشه است. مثلاً زیرپوشه **Sources** حاوی بلوک‌های منابع تولید سیگنال و زیرپوشه **Sinks** حاوی بلوک‌های نمایشگر است. پوشه اول یعنی **Commonly Used Blocks** حاوی پراستفاده‌ترین بلوک‌ها است که از پوشه‌های دیگر گلچین شده‌اند.

در ادامه، با ذکر مثال‌های متنوع با مهم‌ترین بلوک‌ها و روش استفاده از آن‌ها آشنا خواهیم شد.

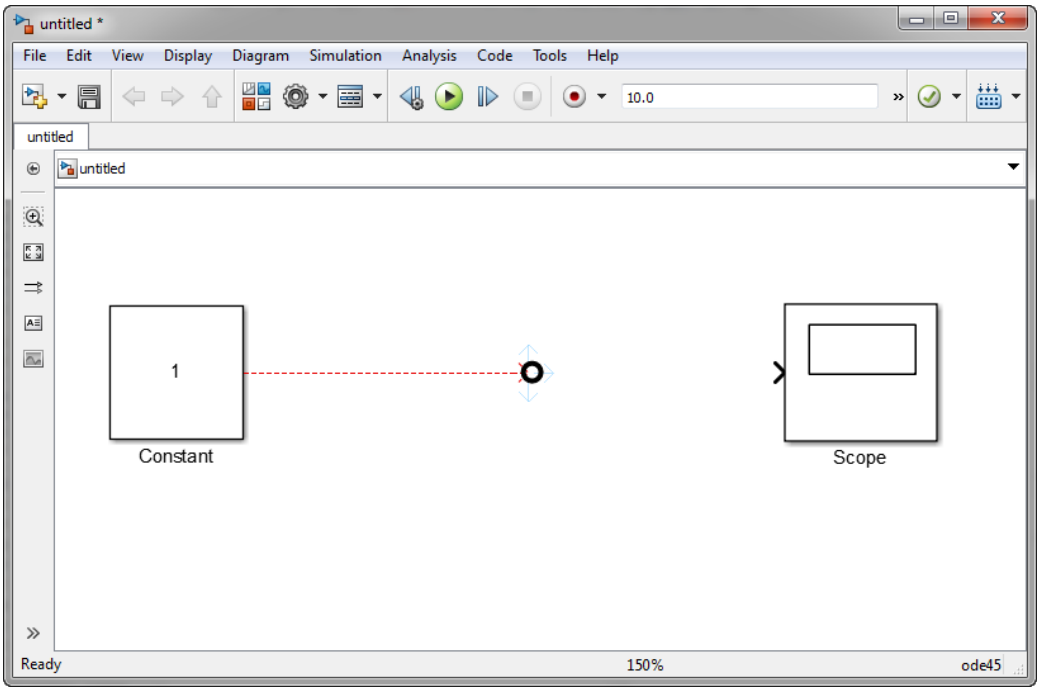
www.تدریس.com

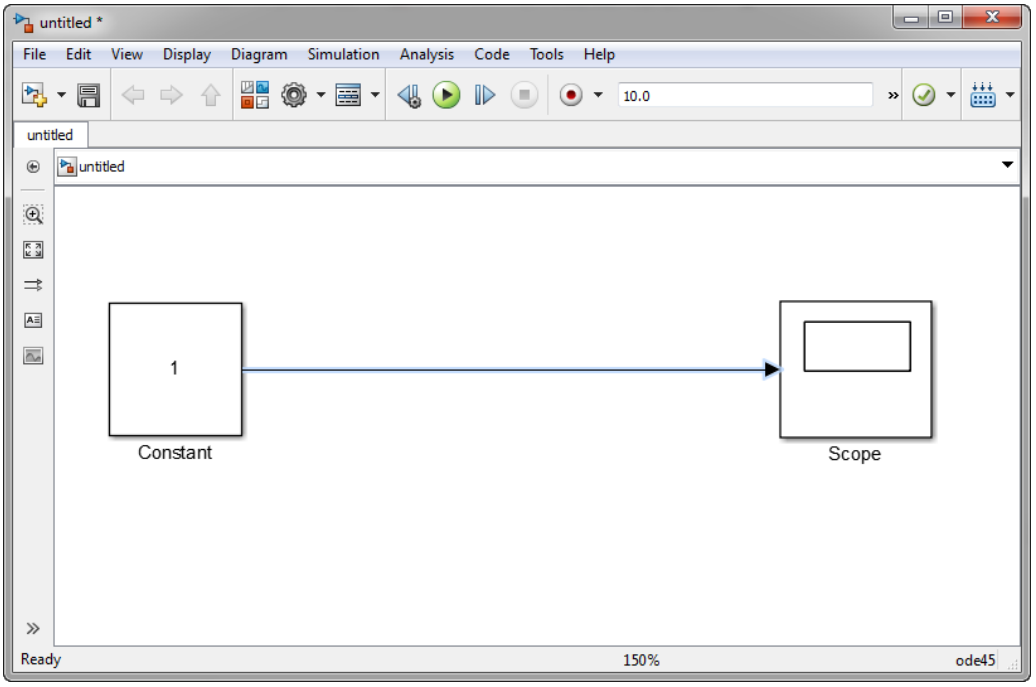
برای وارد کردن بلوک از کتابخانه مدل، باید با کلید چپ موس ( ) آن را به داخل صفحه سیمولینک درگ کنیم (درگ یعنی این که *بگیریم‌بکشیم‌بندازیم!*).

بلوک‌ها به فراخور ماهیت آن‌ها، ممکن است دارای تعدادی ورودی یا خروجی باشند. مثلاً بلوک‌های تولید سیگنال فقط خروجی دارند و بلوک‌های نمایشگر فقط ورودی دارند. برخی بلوک‌ها نیز مانند بلوک عملیات ریاضی هم ورودی دارند و هم خروجی.

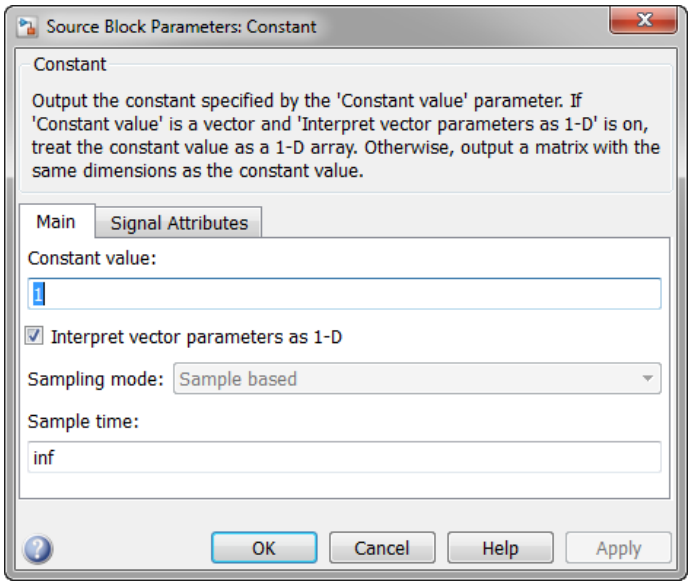
برای اتصال بلوک‌ها باید آن‌ها را با سیگنال (خط) به هم وصل کنیم. موس را که نزدیک هر پورت وردی یا خروجی کنیم، نشانگر آن به شکل + می‌شود. یعنی الان می‌توانیم ارتباط را برقرار کنیم. حالا باید در حالی که کلید چپ موس را نگه داشته‌ایم خطی را از پورت مذکور بکشیم. تا

وقتی که خط را به پورتی مناسب از بلوک دیگری وصل نکنیم، این خط به صورت خط‌چین قرمز خواهد بود. به محض این‌که به پورت مناسب رسیدیم خط به رنگ مشکی در می‌آید و می‌توانیم با رها کردن کلید موس ارتباط را برقرار کنیم.

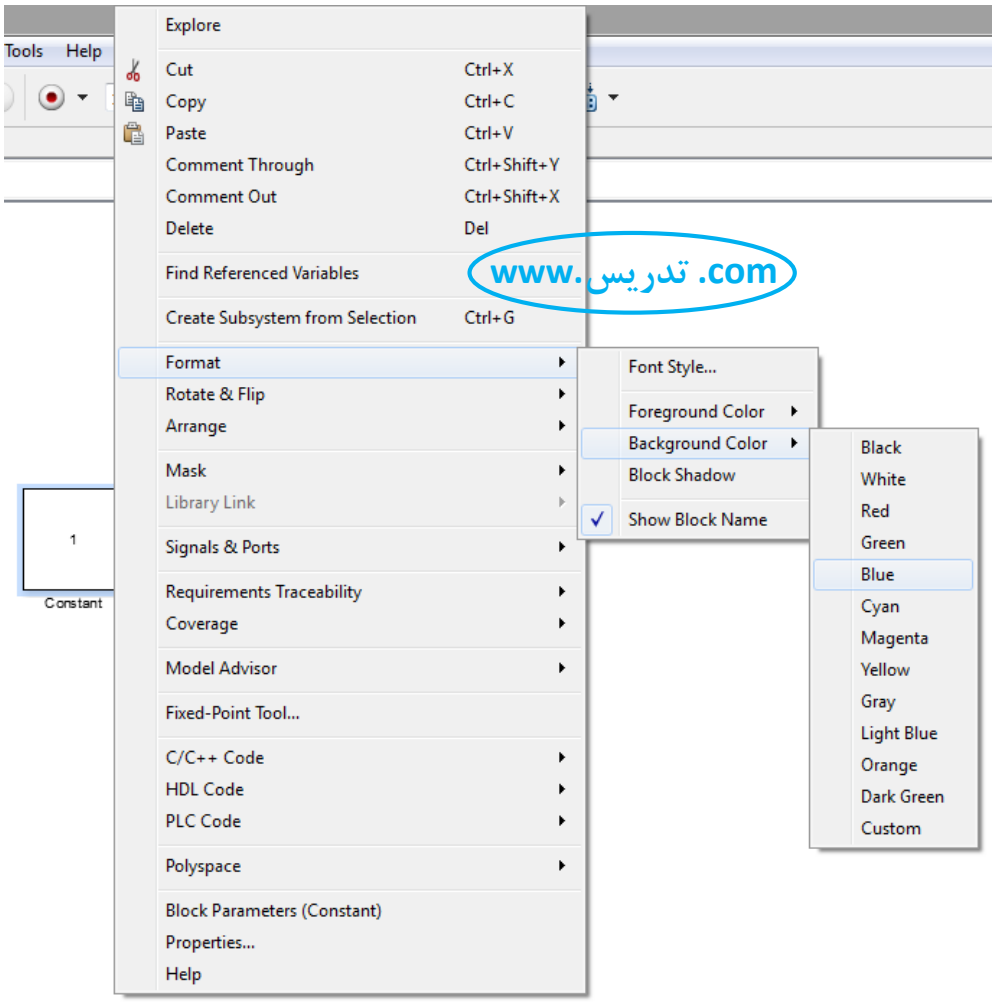




با دوبار کلیک کردن (دبل‌کلیک) بر روی هر بلوک، پنجره تنظیمات آن بلوک باز می‌شود.



برای تغییر مشخصات ظاهری هر بلوک نیز باید بر روی بلوک، راست‌کلیک کنیم.



می‌توان رنگ بلوک (**Background Color**) و رنگ نوشته روی بلوک (**Foreground Color**) را انتخاب کرد. می‌توانیم نمایش یا عدم نمایش نام بلوک را انتخاب کنیم (**Show Block Name**). نوع فونت و سایه‌دار بودن بلوک و مواردی دیگر نیز قابل انتخاب است. همچنین می‌توان بلوک را با گزینه **Rotate&Flip** چرخاند.

برای چرخاندن بلوک می‌توان از میان‌برهای زیر نیز استفاده کرد:

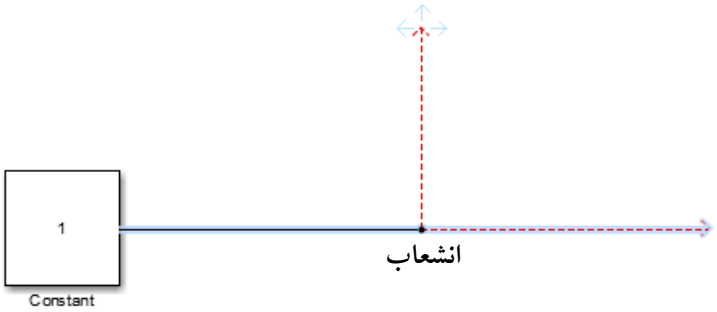
چرخش ساعت‌گرد بلوک: کلید کنترل (Ctrl) به همراه کلید **R**

چرخش پادساعت‌گرد بلوک: کلیدهای کنترل (Ctrl) و شیفت (Shift) و **R**

چرخش آیینه‌ای بلوک (همان **Flip**): کلید کنترل (Ctrl) به همراه کلید **I**

برای حرکت دادن سیگنال، کلید چپ موس ( ) را نگه داشته و سیگنال را جابجا می‌کنیم.

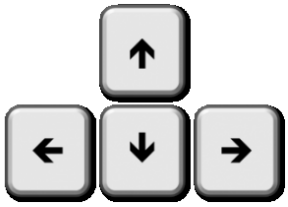
برای گرفتن انشعاب از هر سیگنال، در حالی که کلید کنترل (Ctrl) را نگه داشتیم، با کلید راست موس ( ) از جایی که می‌خواهیم انشعاب می‌گیریم.



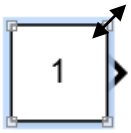
برای حذف یک بلوک، آن را انتخاب نموده و کلید **Delete** ( ) را از کیبرد می‌زنیم.

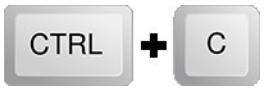
از طریق راست‌کلیک کردن روی بلوک نیز گزینه **Delete** در درسترس خواهد بود.

برای انتخاب یک بلوک، روی آن کلیک می‌کنیم. برای انتخاب همزمان چند بلوک، در حالی که کلید کنترل را نگه داشته‌ایم، بلوک‌های مورد نظر را انتخاب می‌کنیم و در پایان کلید کنترل را رها می‌کنیم. برای انتخاب یک محدوده که شامل بلوک‌ها و سیگنال‌های مختلف است، کلید چپ موس را نگه داشته و محدوده مورد نظر را می‌پیماییم و سپس کلید موس را رها می‌کنیم.

برای حرکت دادن بلوک، کلید چپ موس را نگه داشته و بلوک را جابجا می‌کنیم. همچنین می‌توانیم ابتدا بلوک را انتخاب کرده و سپس از کلیدهای جهت‌نما () روی کیبرد برای جابجایی بلوک استفاده کنیم.

www.تدریس .com

می‌توان سایز بلوک را با گرفتن گوشه آن و کشیدن آن تا اندازه دلخواه تغییر داد. برای تغییر اندازه به صورت هماهنگ با اندازه اولیه، باید کلید شیفت را هم نگه داریم. 

÷برای کپی از روی یک بلوک، بلوک را در حالی که کلید راست موس را نگه داشته‌ایم، به جای دلخواه درگ می‌کنیم. یک روش دیگر برای کپی این است که در حالی که کلید کنترل را نگه داشته ایم، بلوک مذکور را به جایی دیگر در صفحه درگ کنیم. با کپی یک بلوک، تمام خصوصیات ظاهری و باطنی آن حفظ می‌شود. برای انجام عمل کپی، می‌توان از کنترل**C** () استفاده کرد و در جای دلخواه، کنترل**V** ( )

را زد تا عمل کپی تکمیل شود. از طریق راست‌کلیک کردن روی بلوک نیز گزینه‌های **Copy** و **Paste** در درسترس خواهند بود.

برای جدا کردن یک بلوک از سیگنال‌ها، در حالی که کلید شیفت ( ) را نگه داشته‌ایم، بلوک را به جایی دیگر در صفحه درگ می‌کنیم.

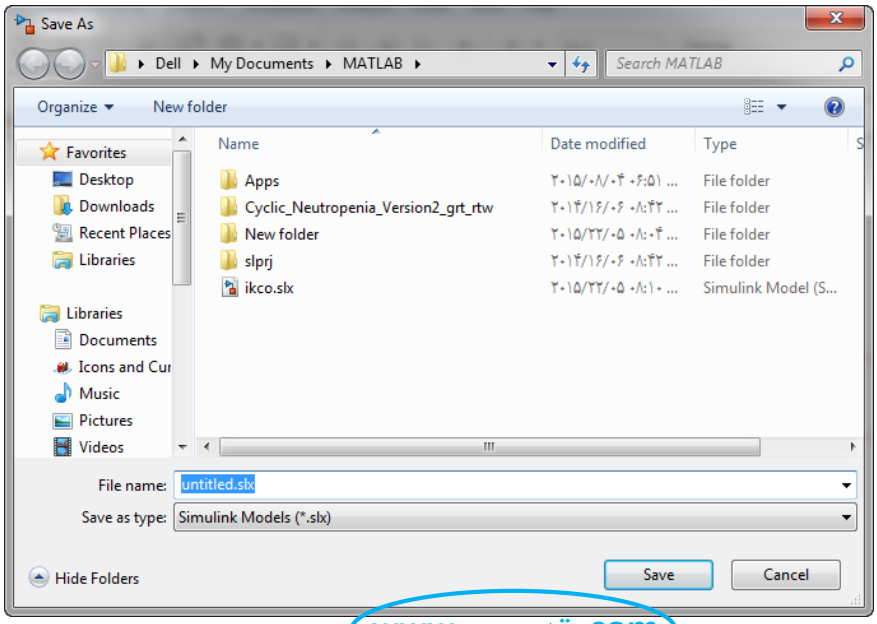
برای جدا کردن سیگنال از بلوک، سیگنال را از محل اتصال آن به بلوک (یعنی پورت) با کلید چپ موس جدا می‌کنیم (در این حالت نشانگر موس به شکل دایره ○ تبدیل می‌شود).

با چرخاندن چرخ وسط موس می‌توانیم نمایش سیستم را بزرگ و کوچک کنیم. با فشردن چرخ وسط موس و درگ سیستم می‌توانیم آن را روی صفحه جابجا کنیم.

هر زمان کاری انجام دادیم ولی مطلوب ما نبود و خواستیم به وضعیت قبل از آن کار برگردیم، کلید کنترل را نگه داشته و کلید **Z** ( ) را می‌زنیم. با هر بار تکرار این عمل، یک مرتبه به عقب برمی‌گردیم. ترکیب کلیدهای کنترل و **Y** ( ) عکس این عمل را انجام می‌دهد و اثر کنترل**Z** را از بین می‌برد.

برای ذخیره کار خود، از ترکیب کلیدهای کنترل و **S** ( ) استفاده نموده و در پنجره باز شده، نامی برای فایلمان انتخاب نموده و مسیر ذخیره آن را انتخاب می‌کنیم. عمل ذخیره کردن، با زدن آیکون در بالای صفحه نیز امکان‌پذیر است.

پنجره ذخیره:



www.تدریس .com

برای ایجاد یک فایل جدید، از ترکیب کلیدهای کنترل و **N** (Ctrl N) استفاده می‌کنیم. این کار با زدن آیکون در بالای صفحه نیز امکان‌پذیر است.

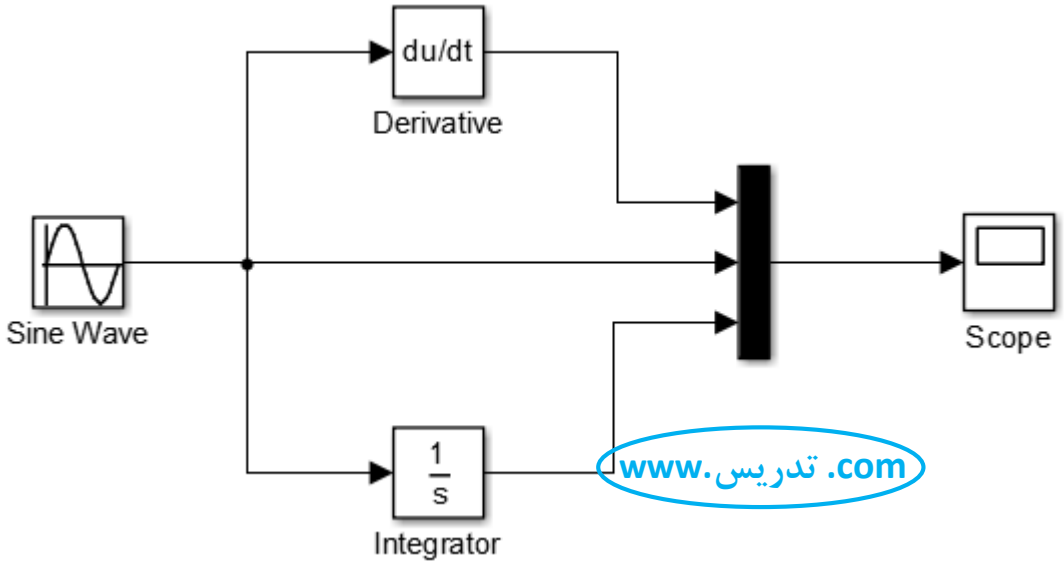
برای اجرای شبیه‌سازی (**Run** کردن)، روی آیکون در بالای صفحه کلیک می‌کنیم.

زمان شبیه‌سازی را نیز در کادر جلوی آن

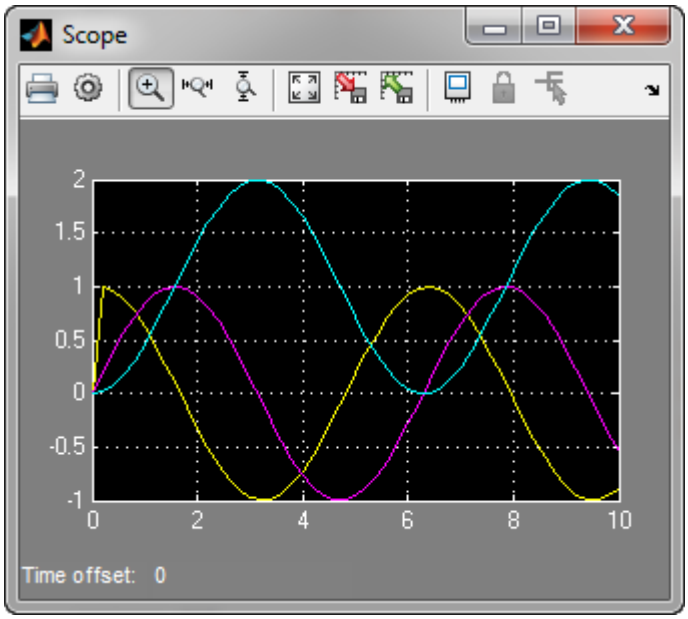
وارد می‌کنیم.

مثال ۱) ایجاد یک موج سینوسی و ترکیب آن با مشتق و انتگرالش و مشاهده نتیجه:

بلوک‌های زیر را از کتابخانه مدل وارد محیط سیمولینک کنید و آن‌ها را مانند شکل زیر به هم ارتباط دهید. سپس شبیه‌سازی را با کلیک بر روی اجرا کنید.



برای مشاهده نتیجه، روی بلوک **Scope** دبل‌کلیک کنید.



با کلیک بر روی آیکون ، نمودار به منظور نمایش مناسب‌تر، بزرگ یا کوچک می‌شود.

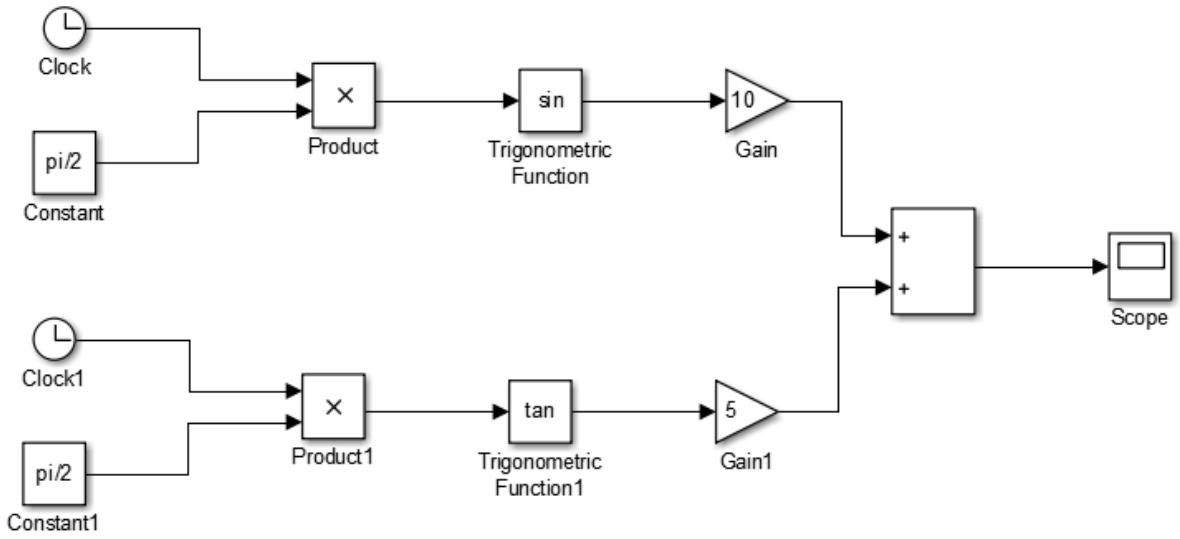
مثال ۲) ایجاد یک موج متناوب:

می‌خواهیم موج متناوب زیر را شبیه‌سازی کنیم:

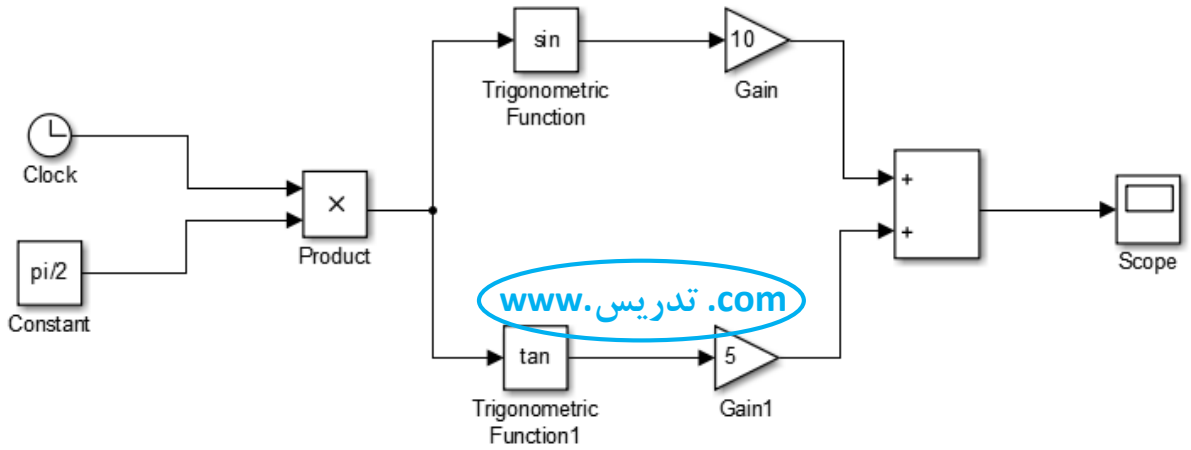
$$y=A\sin(\omega t)+B\tan(\omega t)$$

که **t** زمان است و مقادیر ثابت آن به شرح روبرو است: **A=10**، **B=5** و $\omega=\pi/3$.

بلوک‌های زیر را از کتابخانه مدل وارد محیط سیمولینک کنید و آن‌ها را مانند شکل زیر به هم ارتباط داده و شبیه‌سازی را انجام دهید.



همچنین می‌توان به فرم زیر پیاده‌سازی نمود:



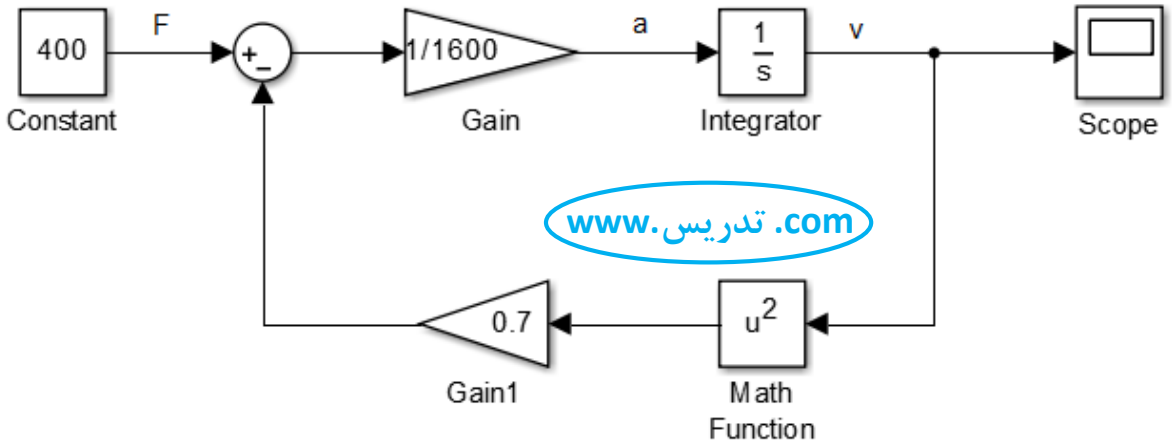
مثال ۳) مدل‌سازی دینامیکی ساده یک خودرو:

با فرض این که نیروهای وارد بر خودرو، فقط نیروی موتور (**F**) و نیروی آیرودینامیکی (**CV^2**) هستند، داریم:

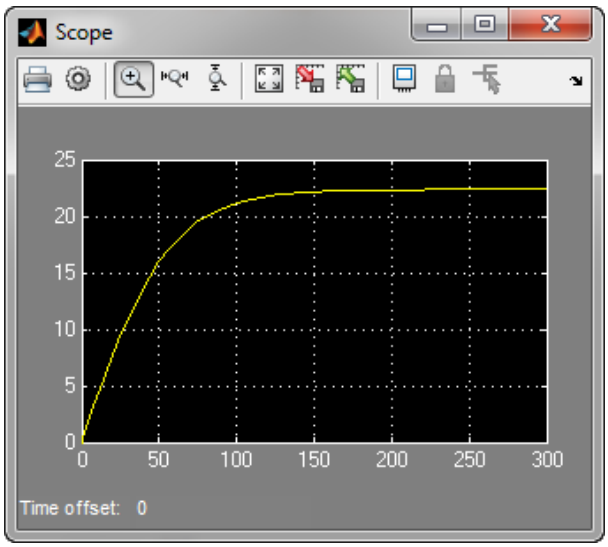
$$\Sigma F_X = M a_X \Rightarrow F - CV^2 = M a = M \, dv/dt \Rightarrow (F - CV^2) / M = dv/dt$$

با فرض **F=400N**، **C=0.7**، **M=1600kg**، نشان دهید که تغییرات سرعت خودرو با گذشت زمان به چه صورت خواهد بود؟

حل: بلوک‌های زیر را از کتابخانه مدل وارد محیط سیمولینک کنید و آن‌ها را مانند شکل زیر به هم ارتباط داده و شبیه‌سازی را انجام دهید.

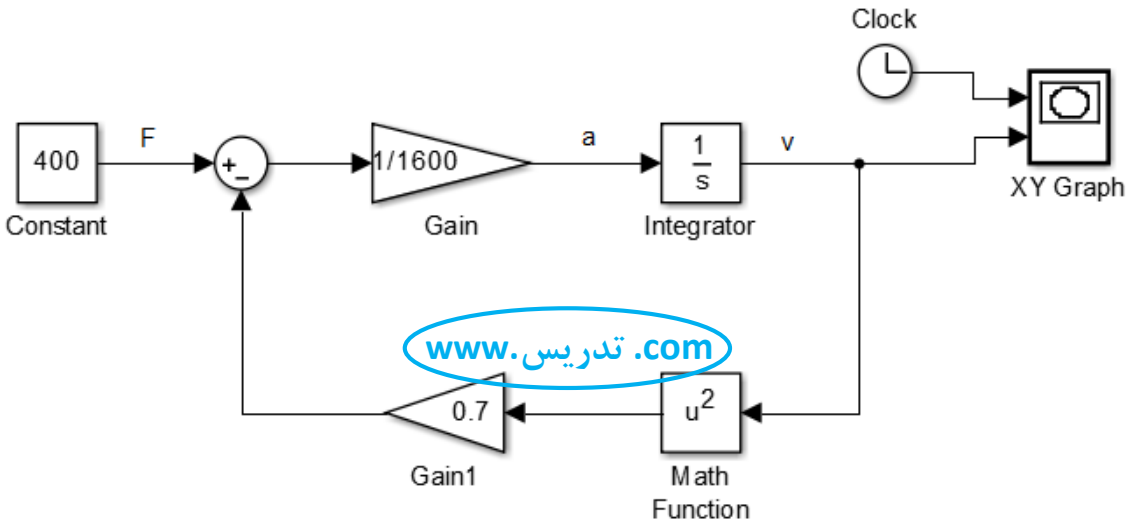


مشاهده خروجی: (زمان شبیه‌سازی: ۳۰۰ ثانیه)

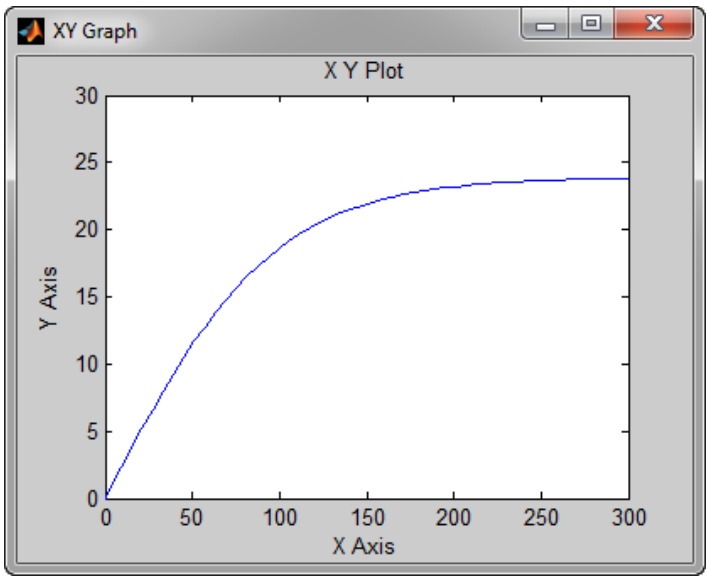


استفاده از نمایشگر xyGraph :

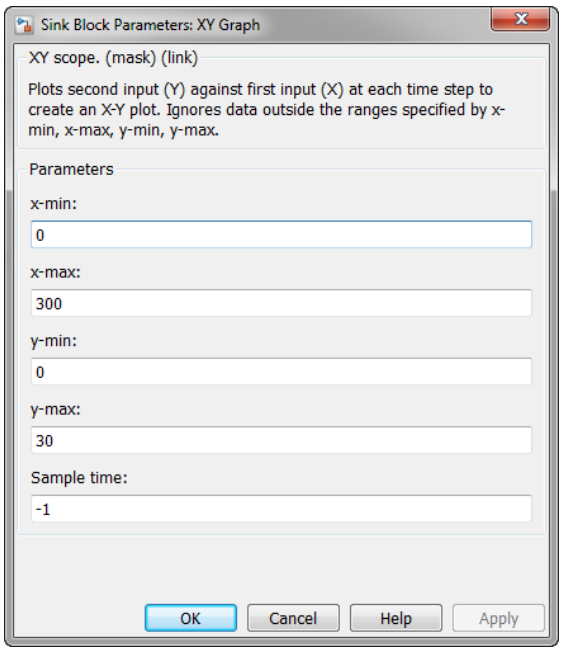
نمایشگر **Scope** را با نمایشگر **XY Graph** جایگزین نمایید. این نمایشگر، سیگنال پورت دوم را بر حسب پورت اول رسم می‌کند. زمان را با بلوک **Clock** لحاظ کنید:



نمودار سرعت بر حسب زمان:

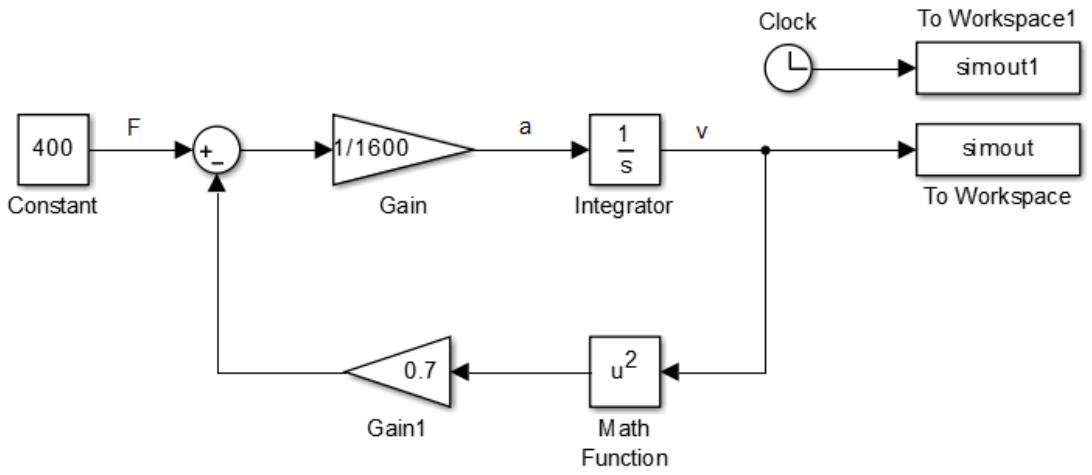


تنظیم بازه نمایش نمودار:



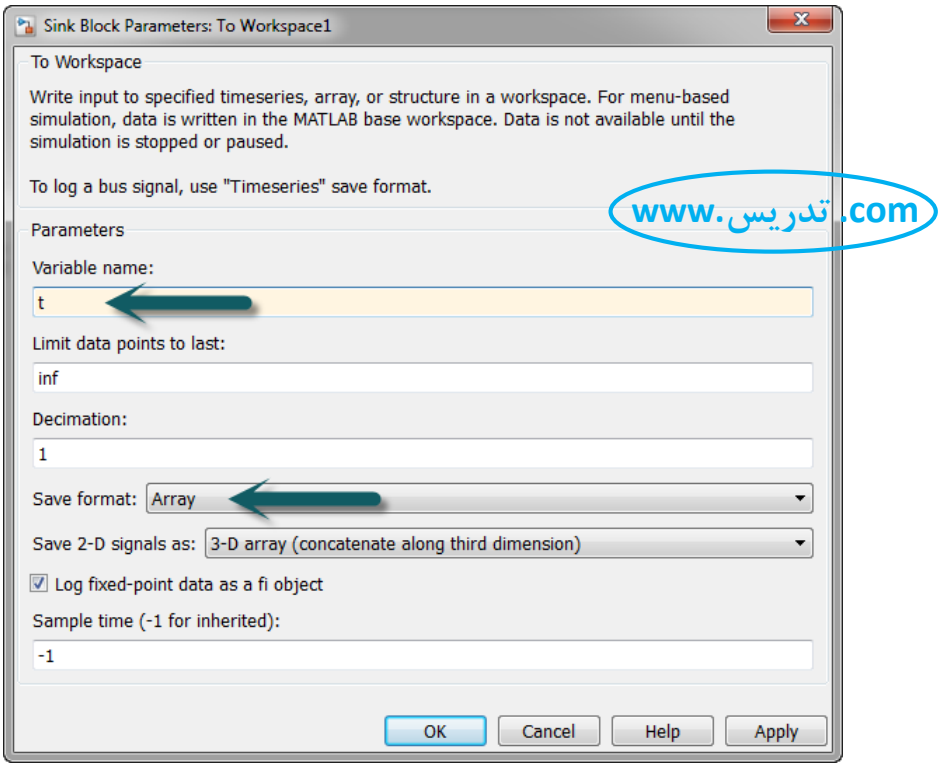
فرستادن متغیرها به محیط متلب:

متغیرهای زمان و سرعت را با استفاده از بلوک **To Workspace** به محیط متلب بفرستید:

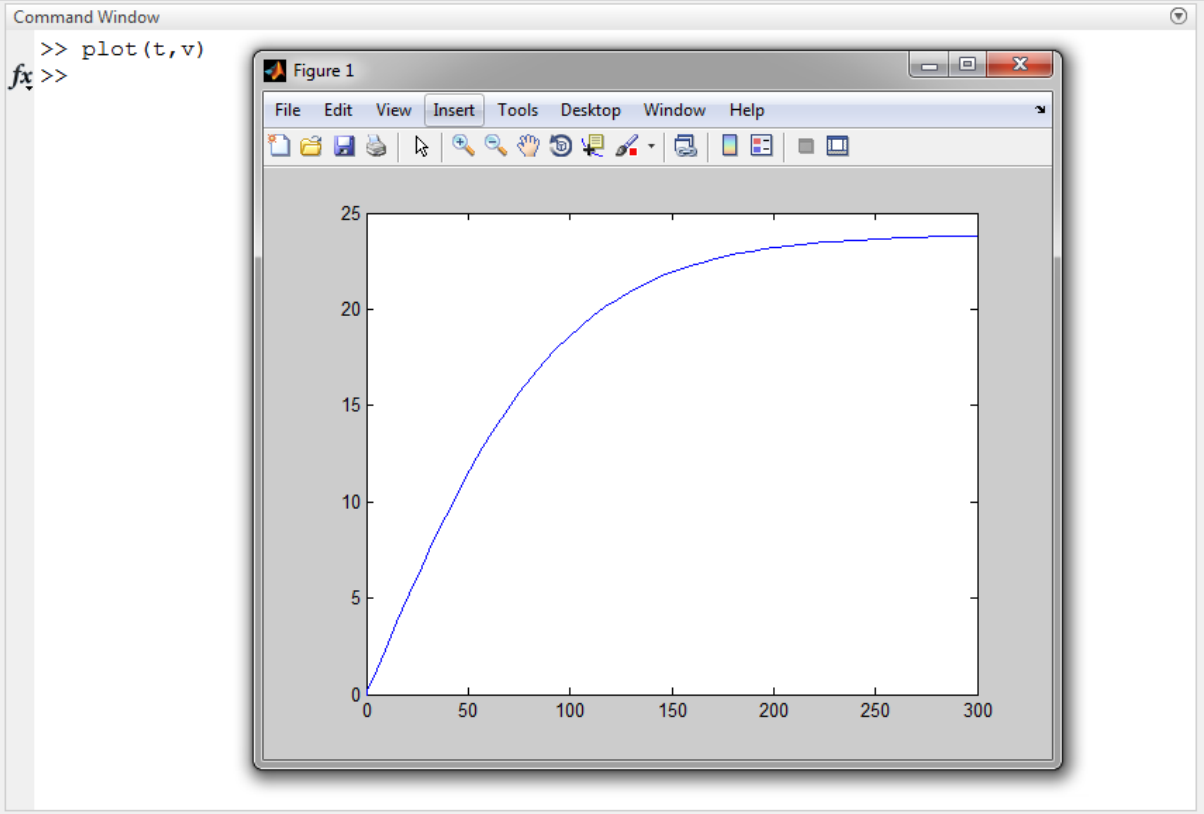


در تنظیمات بلوک‌های **To Workspace**، باید **Save Format** را بر روی **Array** قرار دهیم.

نام متغیر مربوط به زمان را **t** و نام متغیر مربوط به سرعت را **v** می‌گذاریم. از این پس، متلب این متغیرها را به همین نام‌ها خواهد شناخت.



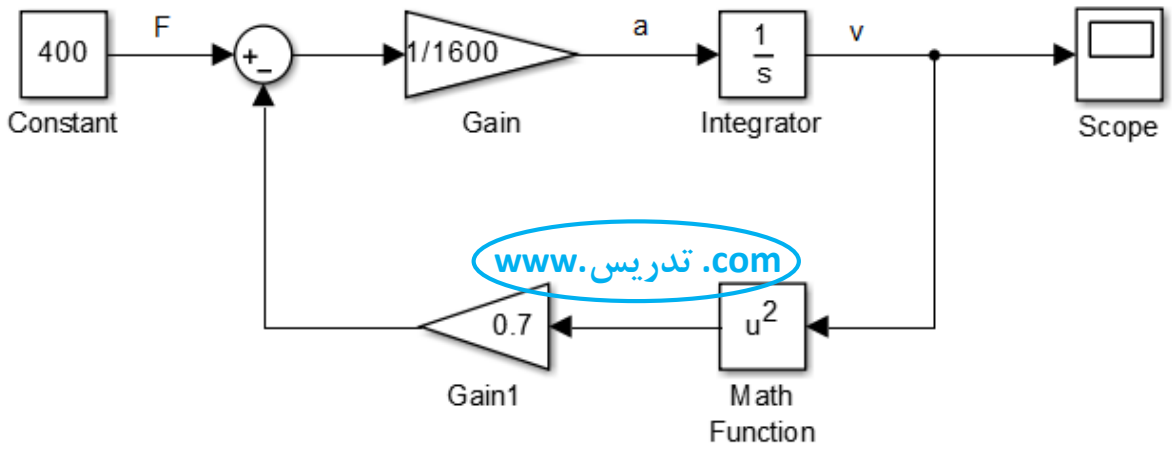
برای رسم نمودار سرعت بر حسب زمان با استفاده از دستورات متلب، دستور **plot(t,v)** را در محیط متلب تایپ نموده و کلید اینتر را می‌زنیم. نمودار در پنجرهٔ نمودارِ متلب رسم و امکانات فراوانی برای ویرایش نمودار در اختیار ما قرار خواهد گرفت.



همچنین می‌توان از این متغیرها در برنامه‌نویسی در محیط متلب استفاده کرد.

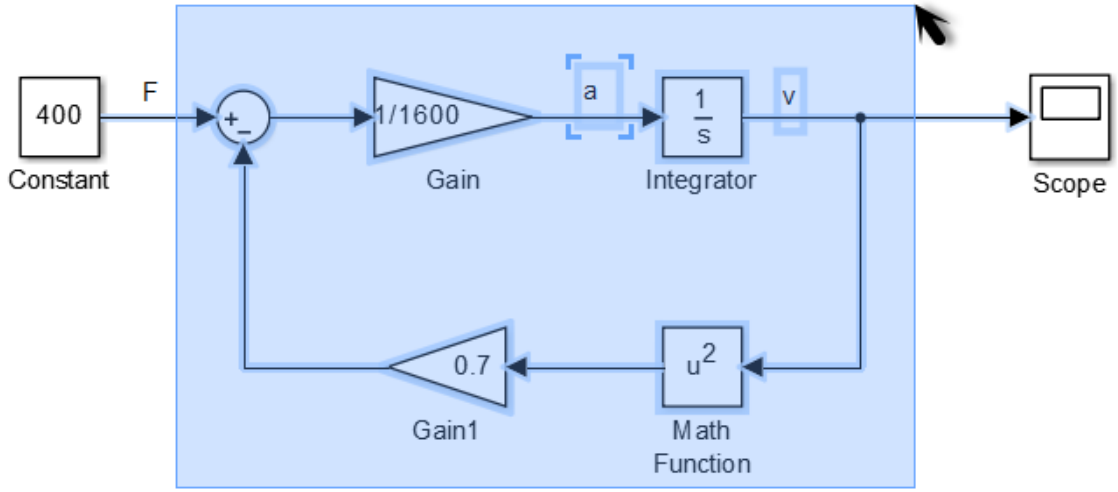
ایجاد زیرسیستم (Subsystem):

می‌توان قسمت‌های دلخواهی از سیستم را انتخاب نموده و تحت یک زیر سیستم قرار داد. این کار به منظم شدن سیستمِ مدل شده بسیار کمک می‌کند و جزئیاتِ زیرسیستم را از نظر پنهان می‌کند. مجدداً خودروی مدل شده در مثال را در نظر بگیرید:

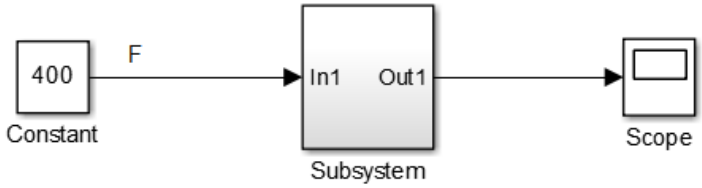


www.تدریس .com

می‌خواهیم به جز نیروی ۴۰۰ نیوتنی، بقیهٔ سیستم را در یک زیر سیستم قرار دهیم. ناحیه مذکور را انتخاب نموده و سپس با استفاده از کلیدهای کنترل و **G** (ctrl + G) زیرسیستم را تشکیل می‌دهیم. این کار با راست کلیک کردن روی ناحیه مذکور و انتخاب **Create Subsystem** نیز ممکن است. مانند شکل زیر:



نتیجه به این شکل خواهد بود:



با دبل‌کلیک روی زیرسیستم، وارد آن می‌شویم و با زدن کلید Esc ( ) خارج می‌شویم:

بلوک‌های **In** و **Out** ورودی و خروجی زیرسیستم هستند. اگر بخواهیم ورودی‌ها یا خروجی‌های زیرسیستم را افزایش دهیم، باید بلوک **In** را از پوشه **Sources** و بلوک **Out** را از پوشه **Sinks** از کتابخانه مدل بیاوریم و سیگنال مورد نظرمان را به آن‌ها وصل کنیم.

برای این که زیرسیستم را مجدداً با سیستم اصلی تلفیق کنیم، روی آن کلیک نموده و همزمان کلیدهای کنترل و شیفت و **G** را می‌زنیم. این کار را با راست‌کلیک روی مدل و انتخاب **Expand Subsystem** نیز می‌توان انجام داد.

ایجاد ماسک (Mask):

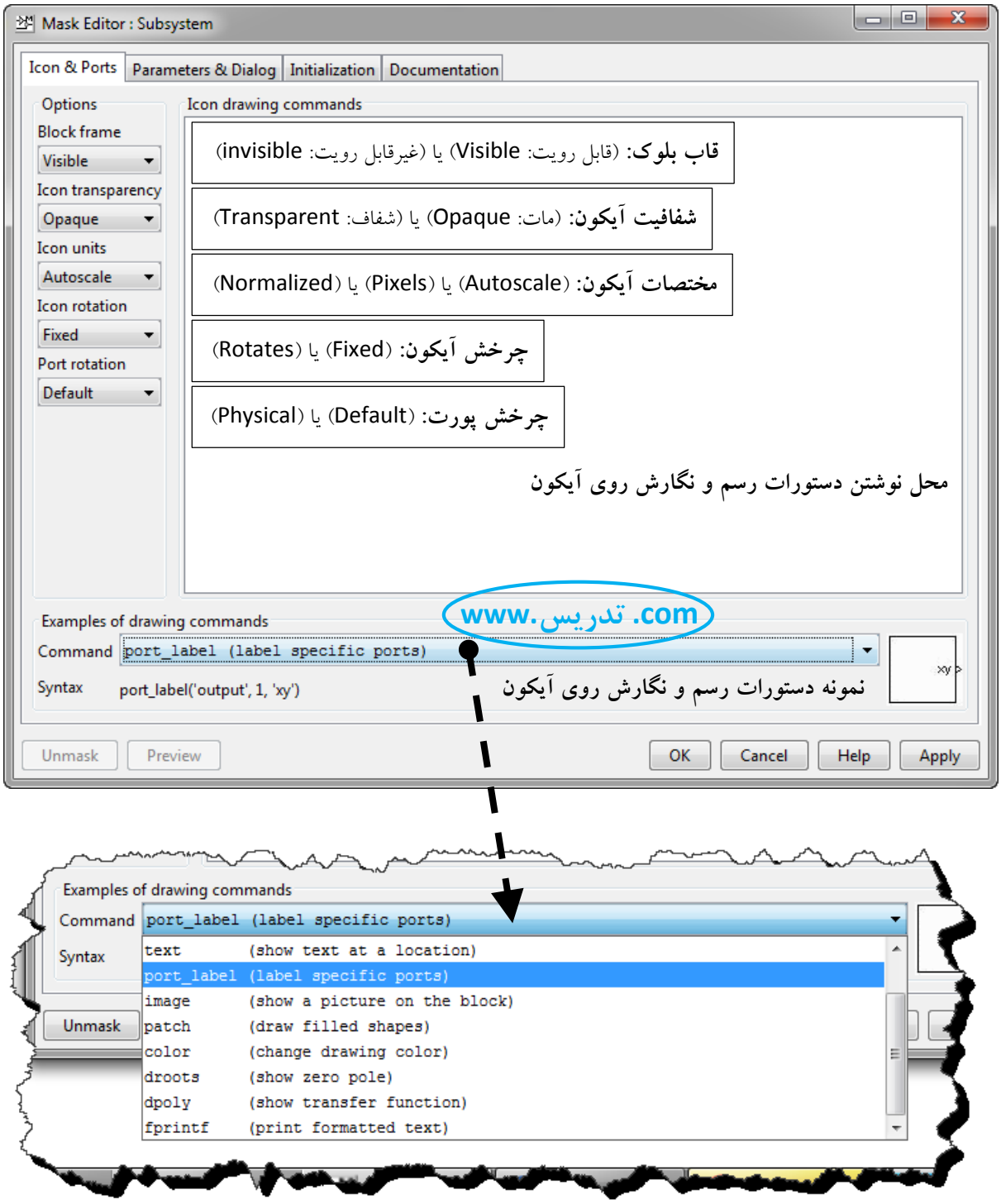
در این مثال، اگر بخواهیم نمودار سرعت بر حسب زمانِ یک خودروی دیگر با مشخصات جرم و ضریب‌درگ آیرودینامیکی و نیروی موتور متفاوتی را بینیم، باید مقادیر بلوک Constant و Gainهای مربوط به این پارامترها را تغییر دهیم. پیشنهاد من این است که کل خودرو را به صورت یک زیرسیستم دربیاوریم و کاری کنیم که کاربر با دبل‌کلیک بر روی آن، به جای ورود به زیرسیستم، با یک پنجره مواجه شود که مقادیر پارامترهای لازم را از او بگیرد و روی خودرو اِعمال کند. این کار علاوه بر این که سیستمِ شبیه‌سازی شده را بسیار حرفه‌ای و کاربرپسند می‌کند، کاربر را با پیچیدگی‌های زیرسیستم روبرو نمی‌کند و فقط مقادیر لازم را از او دریافت می‌کند. این عمل، کار خود ما را نیز در شبیه‌سازیِ سیستم‌های بزرگ و پیچیده بسیار راحت نموده و احتمال خطا را بسیار پایین آورده و در زمان ما برای تغییرات روی سیستم نیز صرفه‌جویی می‌شود.

ابتدا در سیستم، مقادیر مربوط به جرم، ضریب‌درگ و نیرو را به ترتیب به M، C و F تغییر بدهید.

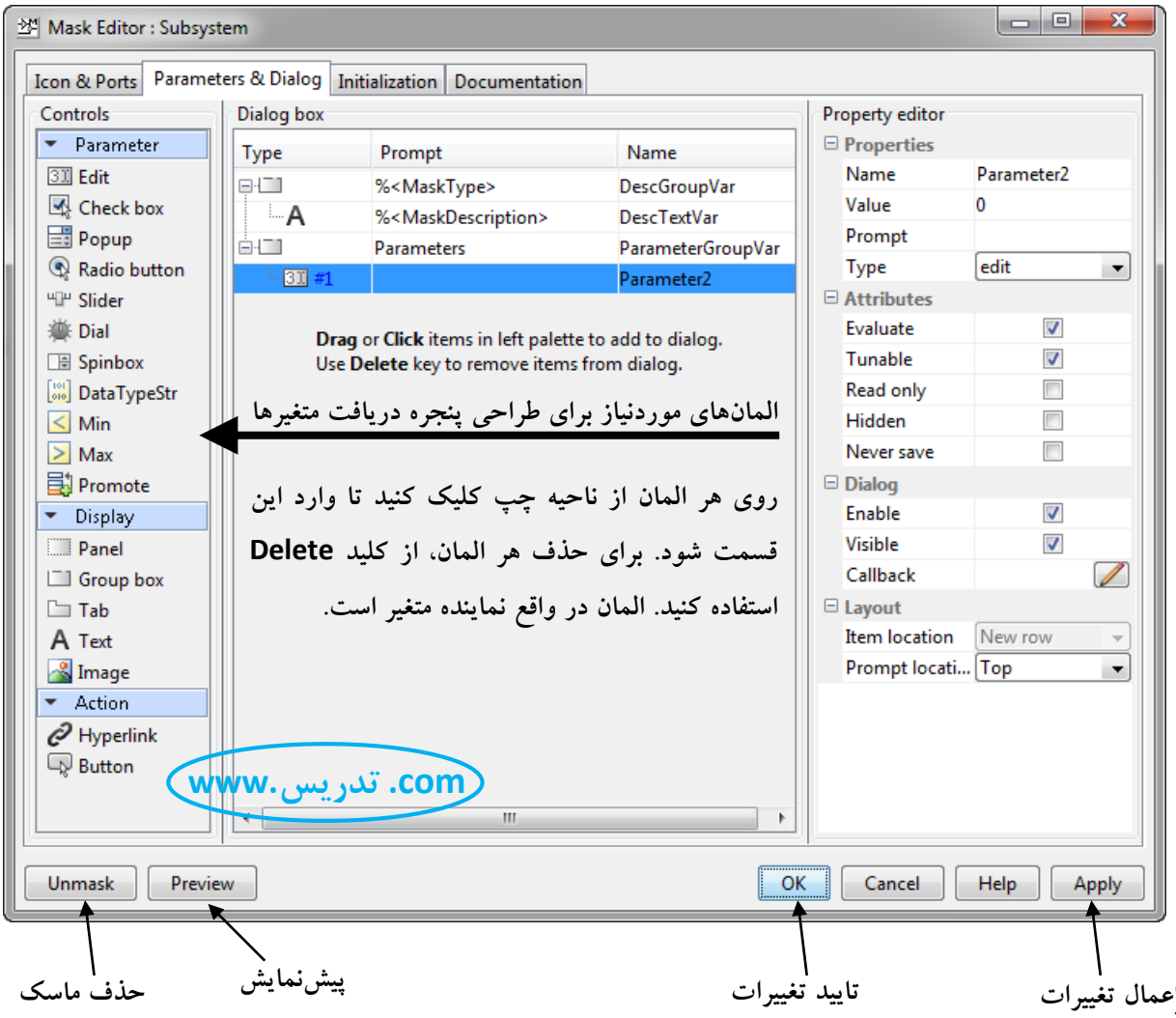
سپس کل خودرو را به یک زیرسیستم تبدیل کنید که خروجیِ آن به Scope برود:

حالا روی زیرسیستم کلیک کرده و کلیدهای کنترل و M را می‌زنیم. این کار با راست‌کلیک کردن روی زیرسیستم و انتخاب Mask > Create Mask نیز ممکن است. با این کار، پنجرهٔ Mask Editor باز خواهد شد.

سربرگ **Icon & Ports** به تنظیمات شکل ظاهری آیکونِ زیرسیستم اختصاص دارد.



سربرگ **Parameters & Dialog** به تنظیمات متغیرها و نیز پنجرهٔ دریافت متغیرها می‌پردازد.



نام متغیر
مقدار متغیر
برچسب متغیر
نوع متغیر

تاثیر در محاسبات
تنظیم حین شبیه‌سازی
غیرقابل تغییر کردن
مخفی شدن از پنجره
عدم ذخیره در مدل

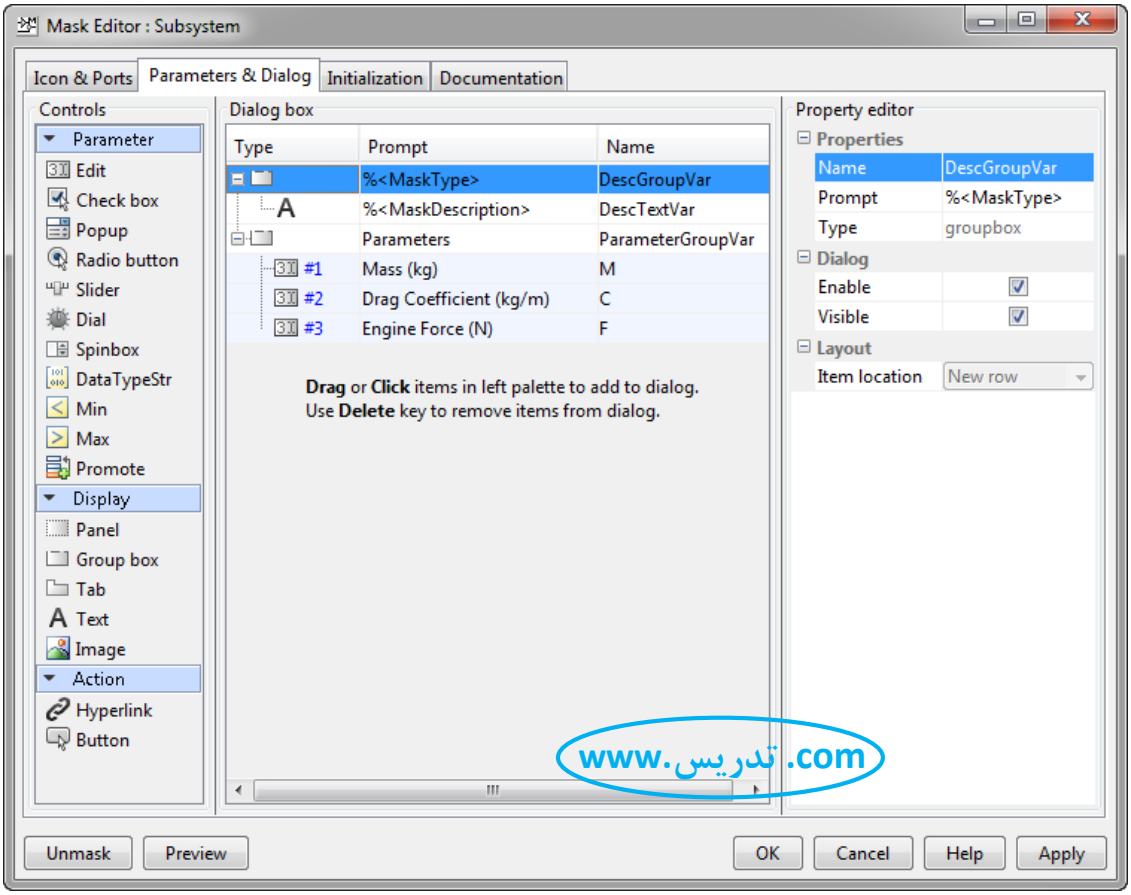
فعال بودن
نمایش در پنجره
کد متلب لازم الاجرا

موقعیت آیتم در پنجره
موقعیت برچسب در پنجره

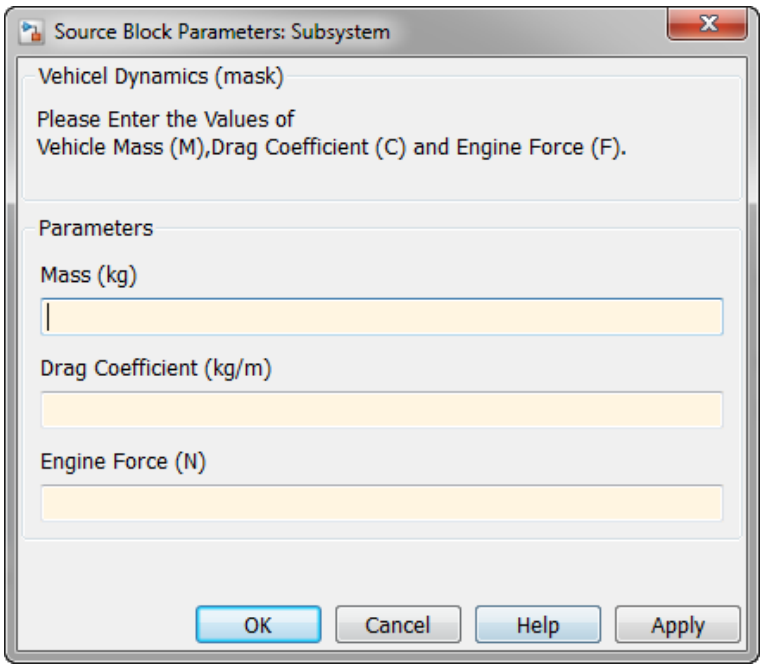
سربرگ **Initialization** به تنظیماتی در مورد اولین اجرای ماسک می‌پردازد.

سربرگ **Documentation** به درج توضیحات ماسک می‌پردازد.

حالا ادامه مثال را پی می‌گیریم. تنظیمات پنجره دریافت متغیرها به صورت زیر انجام می‌دهیم:



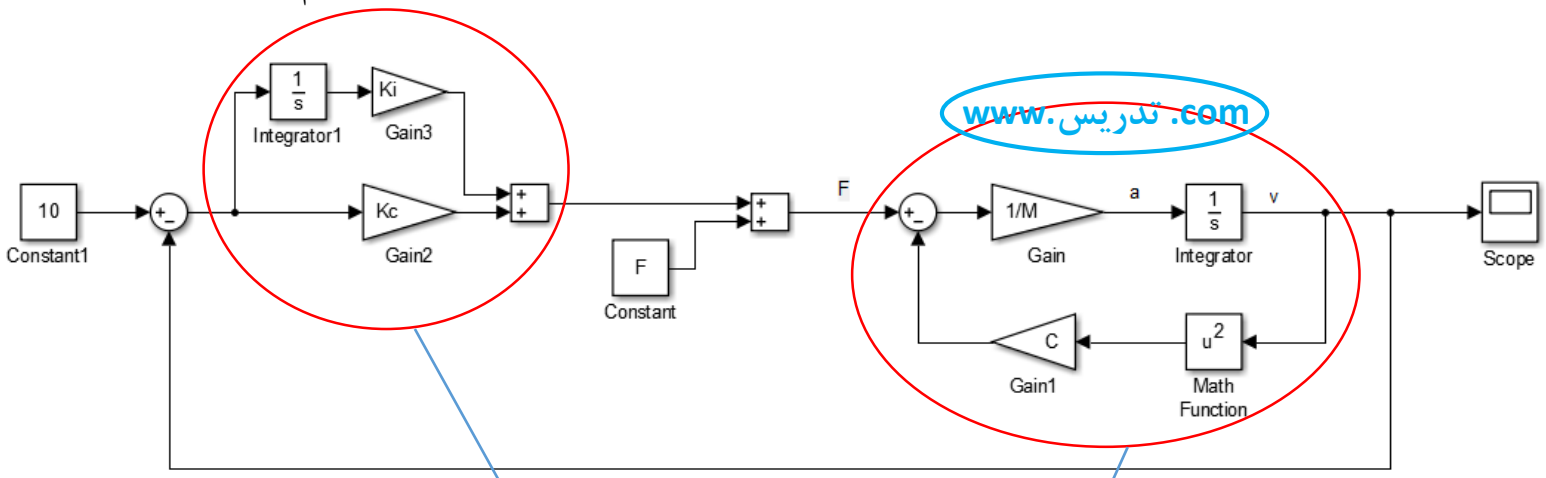
حالا با دبل‌کلیک بر روی بلوک ماسک شده، با پنجره زیر مواجه می‌شویم که منتظر دریافت اطلاعات از سوی کاربر است.



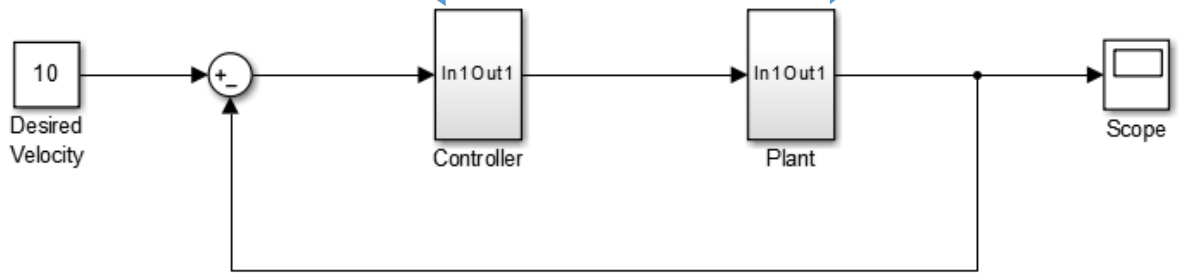
می‌توانید مقادیر مختلفی برای جرم خودرو، ضریب درگ آیرودینامیکی و نیروی موتور وارد نموده و رفتار خودرو بر حسب زمان را مشاهده نمایید.

مثال ۴) طراحی کروزکنترل برای حفظ سرعت خودرو:

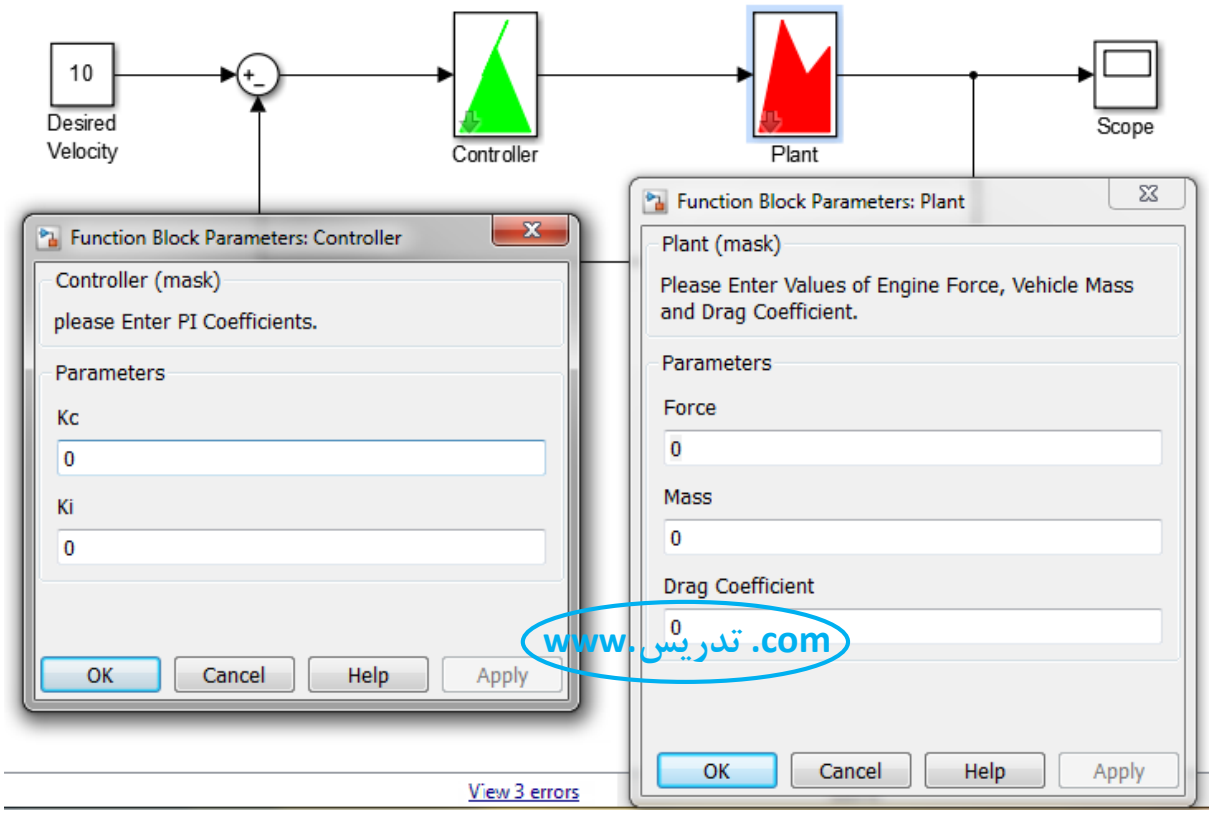
در این مثال قصد داریم یک سیستم کروزکنترل برای خودرو طراحی کنیم تا سرعت آن را در مقدار دلخواه ما حفظ کند. کنترلر را به صورت **PI** (تناسبی- انتگرالی) طراحی می‌کنیم.



حالا **Plant** و کنترلر را به صورت دو زیرسیستم درمی‌آوریم:

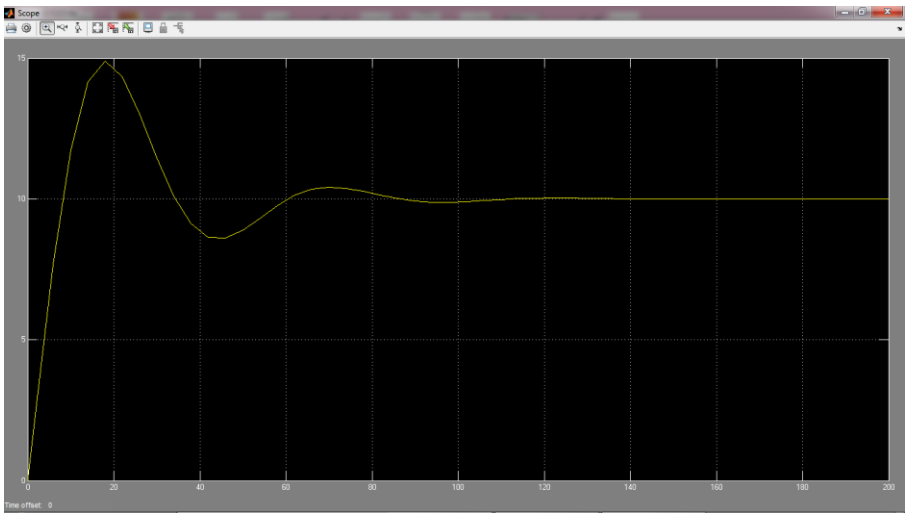


حالا زیرسیستم‌ها را ماسک می‌کنیم. برای زیرسیستم **Plant** باید مقادیر **F** و **M** و **C** را از کاربر دریافت کنیم و برای زیرسیستم کنترلر باید ضرایب **Kc** و **Ki** را دریافت نماییم.

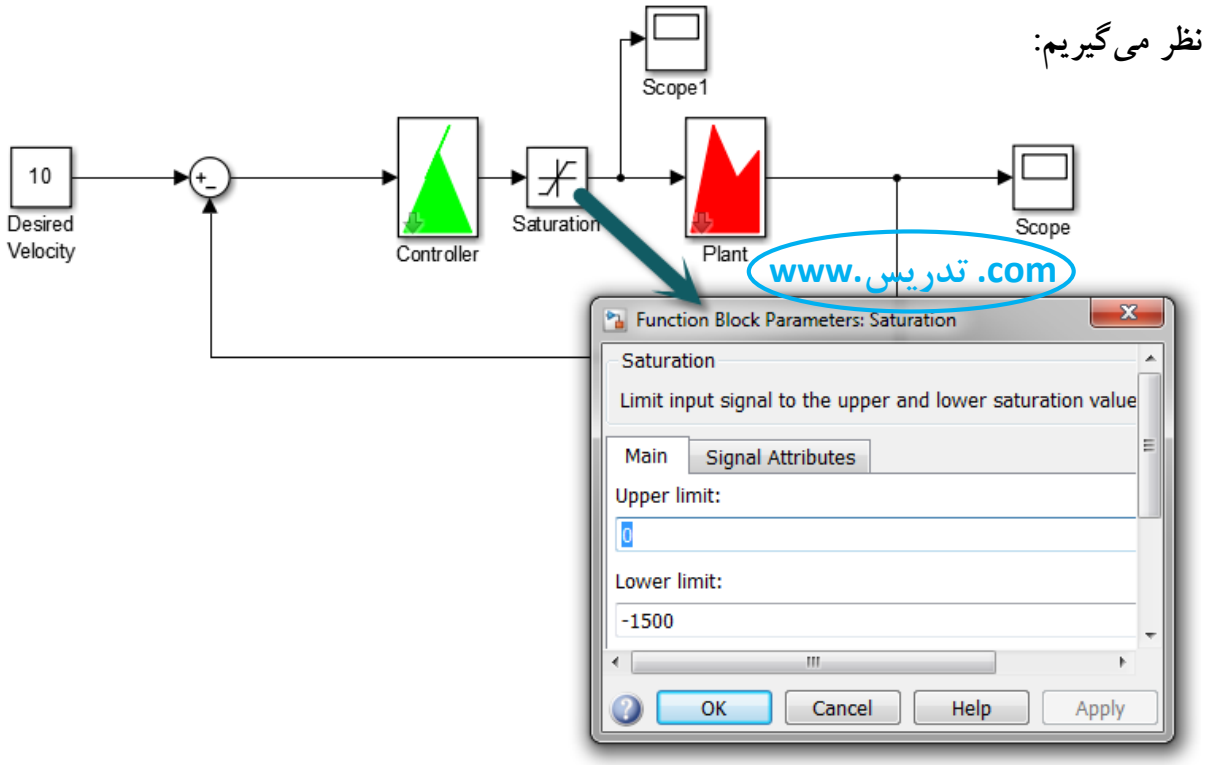


اکنون مقادیر خواسته شده را وارد نمایید و شبیه‌سازی را اجرا و نتیجه را با دبل‌کلیک بر روی **Scope** مشاهده نمایید. با تغییر ضرایب کنترلر، پاسخ را مناسب‌تر نمایید.

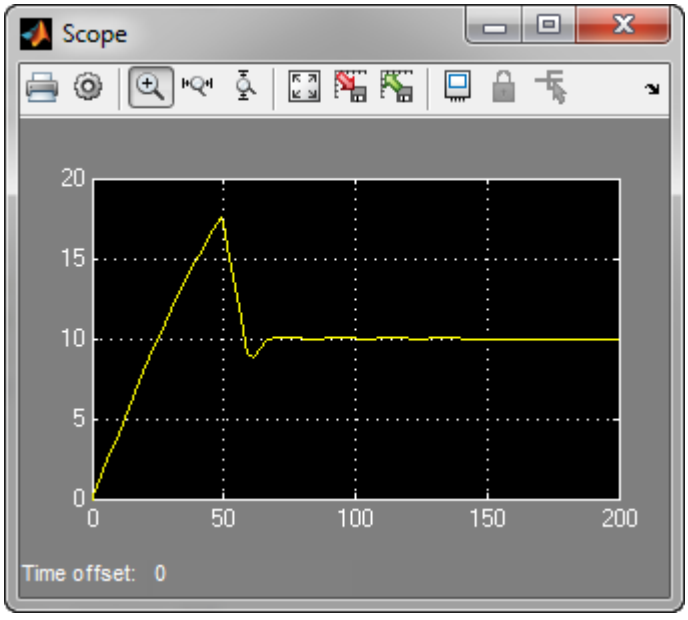
مثلاً برای خودرو با مشخصات جرم ۱۲۰۰ کیلوگرم، نیروی موتور ۵۰۰ نیوتن و ضریب درگ آیرودینامیکی ۰/۶ اگر ضرایب **Kc** و **Ki** را به ترتیب برابر ۱۰۰ و ۲۰ بگیریم، پاسخ سیستم به صورت زیر خواهد بود:



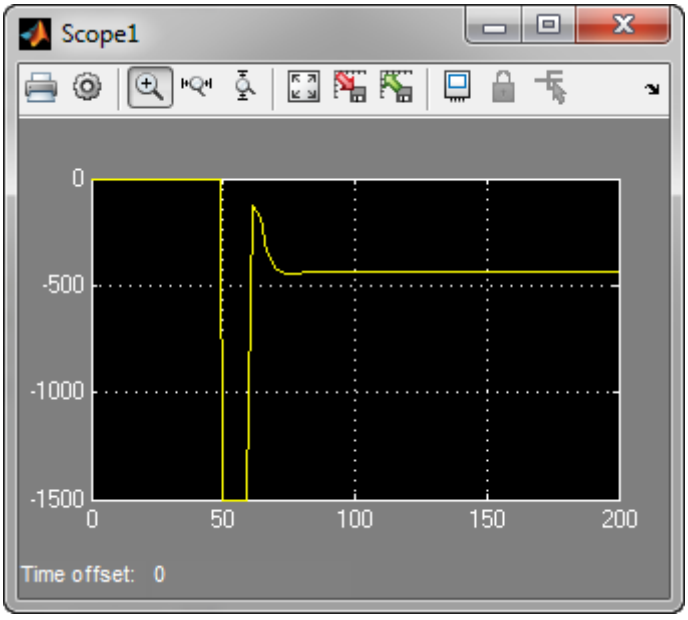
ممکن است با بالا بردن ضرایب کنترلر ظاهراً جواب بهتری بگیریم ولی باید به این نکته توجه کنیم که نیروی ترمزی خودرو مقداری محدود است و الزاماً هر مقداری که کنترلر تصمیم بگیرد را نمی‌تواند وارد کند. بنابراین می‌توانیم یک بلوک اشباع بعد از کنترلر قرار دهیم و محدودیت‌های ترمز را در آن وارد کنیم. برای مشاهده نیروی ترمزی اِعمال شده، یک نمایشگر نیز برای آن در نظر می‌گیریم:



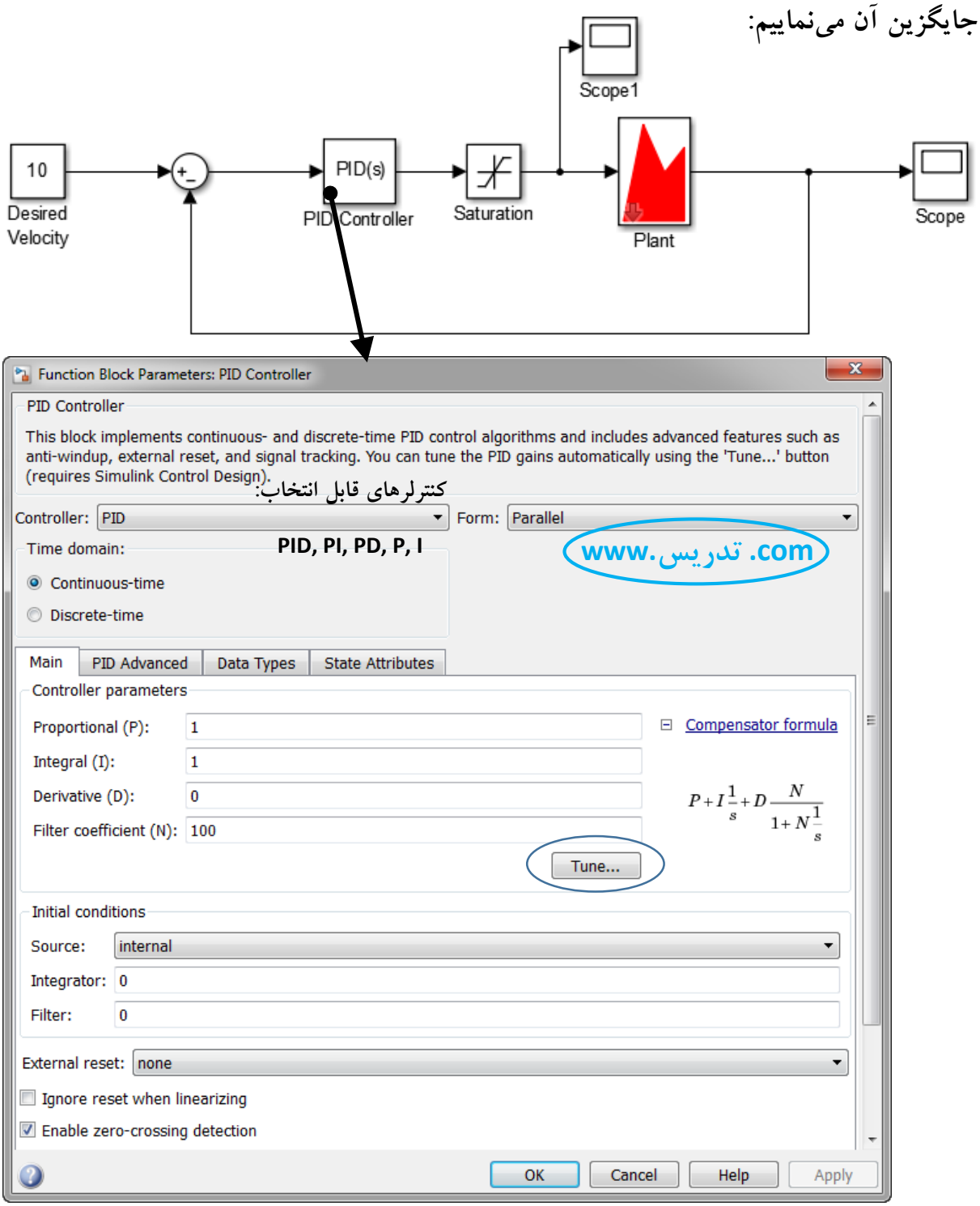
نمودار سرعت بر حسب زمان:



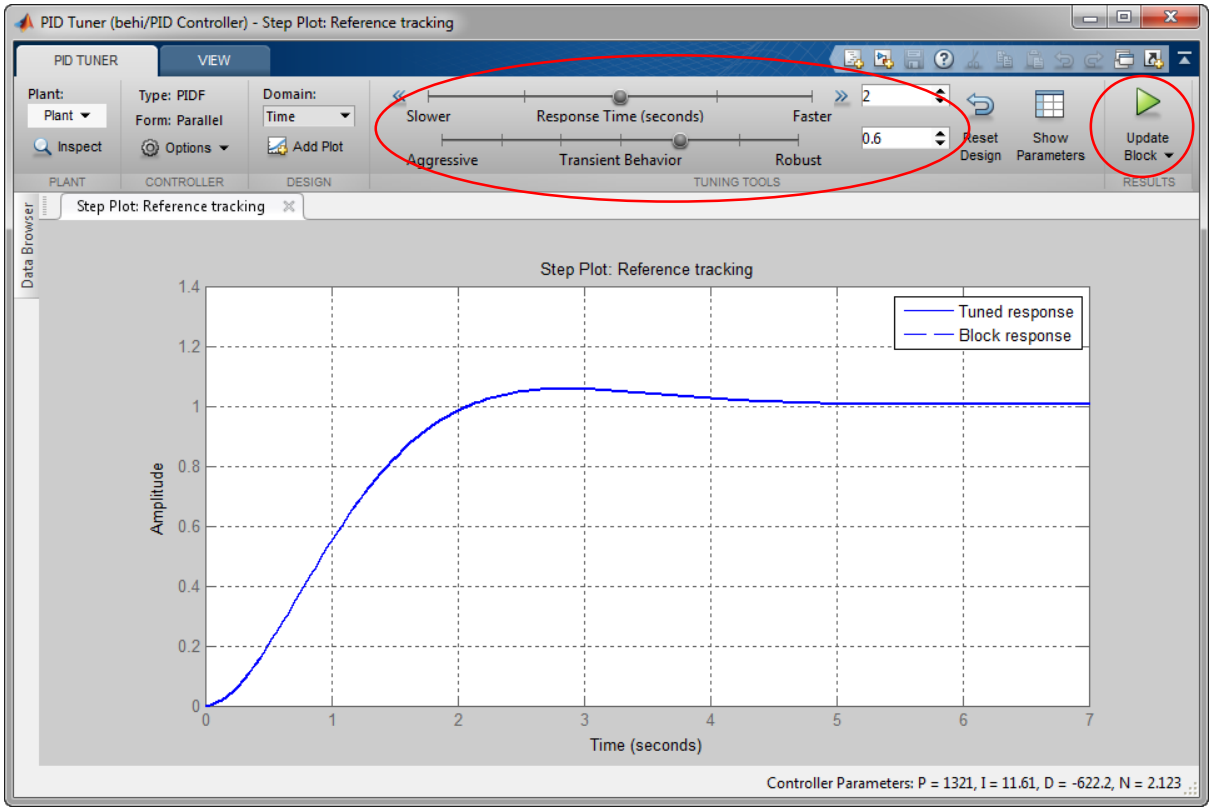
نمودار نیروی ترمز بر حسب زمان:



می‌توانیم به جای کنترلر **PI** که طراحی نمودیم، از بلوک مخصوص **PID** که در سیمولینک موجود است نیز استفاده کنیم. بنابراین کنترلری که طراحی نمودیم را حذف نموده و بلوک **PID** را جایگزین آن می‌نماییم:

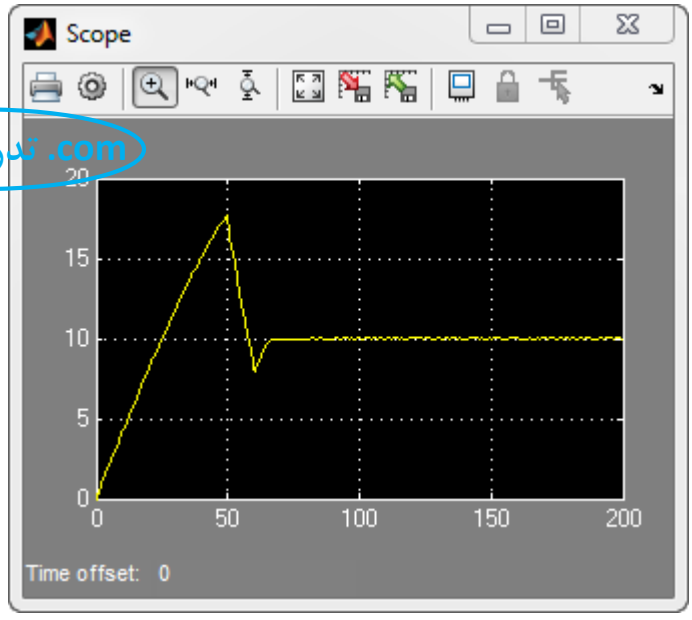


ضرایب **PID** را وارد می‌کنیم و یا با کلیک بر روی **Tune**، انتخاب ضرایب را به متلب می‌سپاریم.

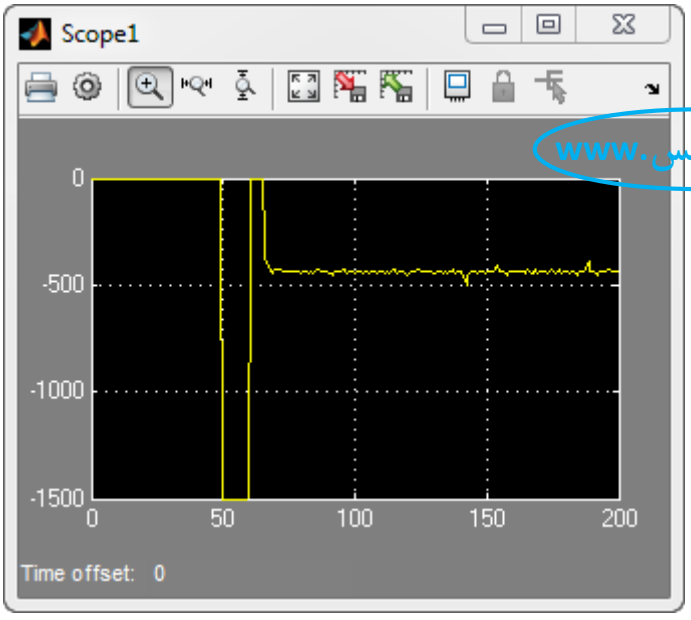


با تغییر زمان پاسخ و رفتار حالت گذرا، ضرایب کنترلر تغییر می‌کند و همزمان شِمایی از پاسخ سیستم نمایش داده می‌شود (نه خود پاسخ). اگر از پاسخ رضایت داشتید بر روی **Update Block** کلیک کنید تا تغییرات اِعمال شود.

نمودار سرعت بر حسب زمان:



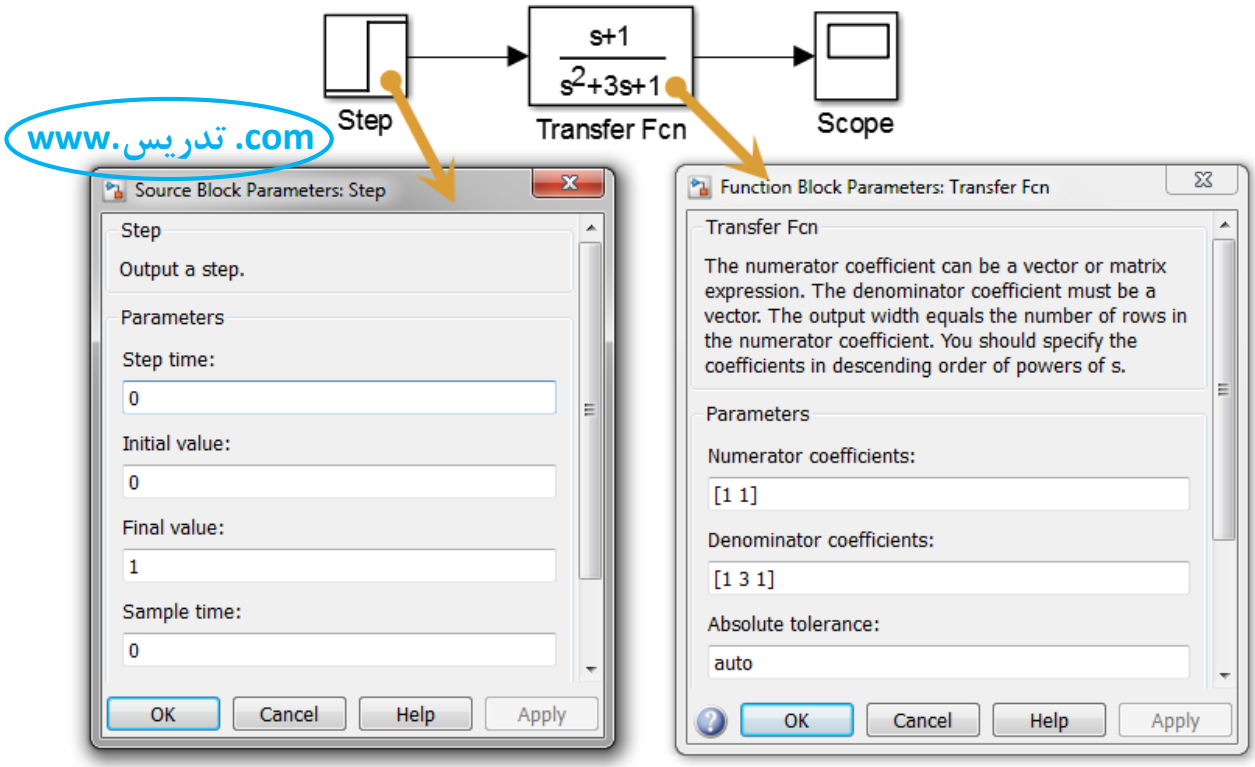
نمودار نیروی ترمز بر حسب زمان:



www.تدریس.com

مثال ۵) مشاهده پاسخ پله سیستم با در دست داشتن تابع تبدیل آن:

فرض کنید تابع تبدیل یک سیستم به صورت $\frac{S+1}{S^3+3S^2+1}$ است. می‌خواهیم پاسخ آن را به ورودی پله ببینیم:



پاسخ سیستم به صورت روبه‌رو خواهد بود: