

## تکلیف شبیه سازی ۱

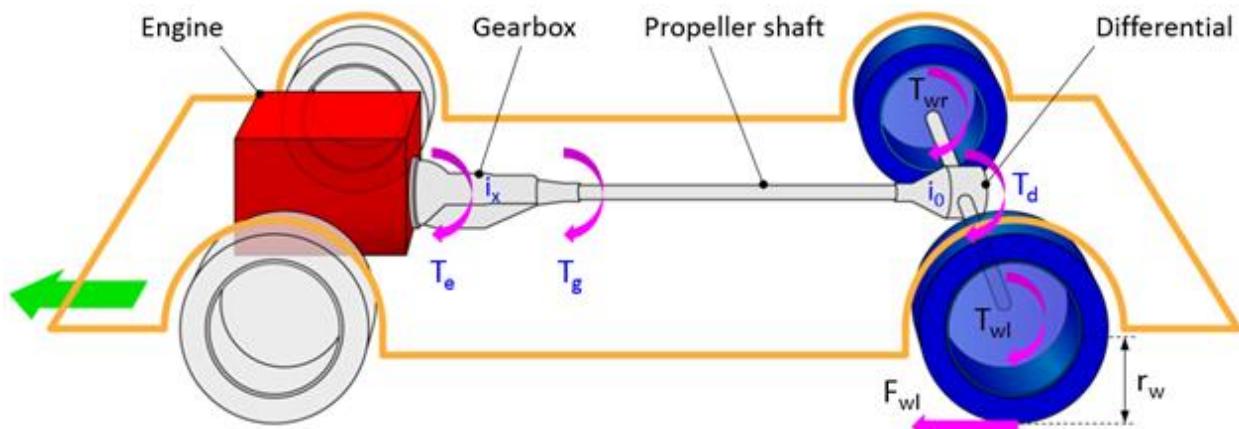
### مدل سازی و شبیه سازی شتاب و محاسبه حداکثر سرعت خودرو

در این تکلیف می خواهیم از یک مدل ریاضی ساده شده دینامیک طولی خودرو استفاده کنیم تا عملکرد شتاب خودرو (زمان صفر تا صد کیلومتر در ساعت) را ارزیابی کرده و حداکثر سرعت را تعیین کنیم.

#### ساختار خودرو

پیشانه و سیستم انتقال قدرت یک خودرو دیفرانسیل عقب شامل اجزاء زیر است:

- engine
- torque converter (clutch)
- automatic (manual) transmission
- propeller shaft
- differential
- drive shafts
- wheels



برای سادگی فرضیات زیر را انجام می دهیم:

- موتور فقط منبع گشتاور است، بدون هیچ گونه مدل سازی ترمودینامیک یا اینرسی
  - موتور همیشه با برآمدگی کار می کند
  - اثر مبدل گشتاور در نظر گرفته نشده است
  - تجویض دنده به صورت آنی انجام می شود
  - اثرات محورهای انتقال در نظر گرفته نمی شود
  - لاستیک ها شعاع ثابتی دارند و اثر لغزش در نظر گرفته نمی شود
- مدل ریاضی را بر اساس معادلات زیر در سیمولینک متلب پیاده سازی کنید.

#### معادلات ریاضی

حرکت وسیله نقلیه با معادله نیروهای طولی توصیف می شود:

$$F_t = F_i + F_s + F_r + F_a \quad (1)$$

که در آن:

$F_t$  [N] – نیروی کشش

$F_i$  [N] – نیروی مقاوم اینرسی

$F_s$  [N] – نیروی غلبه بر شیب جاده

$F_r$  [N] – نیروی مقاومت غلطشی

$F_a$  [N] – نیروی مقاومت هوا

نیروی کشش به گشتاور موتور، نسبت دنده گیربکس، نسبت دنده دیفرانسیل و شعاع چرخ بستگی دارد:

$$F_t = \frac{T_e \cdot i_x \cdot i_0 \cdot \eta_d}{r_{wd}} \quad (2)$$

که در آن:

$T_e$  [Nm] – گشتاور موتور

$i_x$  [-] – نسبت دنده گیربکس

$i_0$  [-] – نسبت دنده دیفرانسیل

$\eta_d$  [-] – بازده کل سیستم انتقال قدرت

$r_{wd}$  [m] – شعاع دینامیکی چرخ

شعاع چرخ دینامیکی [m] شعاع چرخ در زمانی است که وسیله نقلیه در حال حرکت است. از شعاع چرخ استاتیک  $r_{ws}$  کوچکتر

است زیرا تایر در حین حرکت خودرو کمی فشرده می‌شود.

$$r_{wd} = 0.98 \cdot r_{ws} \quad (3)$$

نیروی مقاوم اینرسی [N] از معادله زیر به دست می‌آید:

$$F_i = m_v \cdot a_v \quad (4)$$

که:

$m_v$  [kg] – جرم کل خودرو

$a_v$  [m/s<sup>2</sup>] – شتاب خودرو

جرم کل خودرو [کیلوگرم] شامل جرم خودروی، جرم راننده و یک ضریب جرم اضافی است. ضریب جرم تأثیر اجزای دوران (میل

لنگ، محورهای گیربکس، میل گاردان، محورهای چرخ، چرخها و غیره) را بر اینرسی کل خودرو در نظر می‌گیرد.

$$m_v = f_m \cdot m_{cv} + m_d \quad (5)$$

که:

$f_m$  [-] – ضریب جرم

$m_{cv}$  [kg] – جرم خودروی

$m_d$  [m] – جرم راننده

نیروی مقاوم شیب جاده [N] از زیر معادله به دست می‌آید:

$$F_s = m_v \cdot g \cdot \sin(\alpha_s) \quad (6)$$

که:

$g$  [m/s<sup>2</sup>] – شتاب گرانشی

$\alpha_s$  [rad] – زاویه شیب جاده

نیروی مقاومت غلتشی [N] از معادله زیر به دست می‌آید:

$$F_r = m_v \cdot g \cdot c_r \cdot \cos(\alpha_s) \quad (7)$$

که:

$c_r$  [-] ضریب مقاومت غلتشی –

نیروی مقاومت هوا [N] از معادله زیر به دست می‌آید:

$$F_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_d \cdot A \cdot v^2 \quad (8)$$

که:

$\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] چگالی هوا در ۲۰ درجه سانتیگراد –

$c_d$  [-] ضریب مقاومت هوا –

$A$  [m<sup>2</sup>] سطح مقطع جلوی خودرو –

$v$  [m/s] سرعت خودرو –

نیروی کشش توسط ضریب اصطکاک چرخ محدود می‌شود. حداکثر نیروی اصطکاک [N] عبارت است از:

$$F_f = m_v \cdot g \cdot \mu \cdot c_l \quad (9)$$

که:

$\mu$  [-] ضریب اصطکاک –

$c_l$  [-] نیروی وزن بر محور عقب –

با جایگزینی (۴) در (۱) و مرتب کردن معادله:

$$a_v = \frac{1}{m_v} [F_t - (F_s + F_r + F_a)] \quad (10)$$

با انتگرال گیری از رابطه (۱۰) سرعت خودرو [m/s] را بدست می‌آوریم:

$$v = \frac{1}{m_v} \int [F_t - (F_s + F_r + F_a)] dt \quad (11)$$

توان موتور در بار کامل از گشتاور موتور در بار کامل و دور موتور محاسبه می‌شود:

$$P_e = \frac{1.36}{1000} \cdot \frac{\pi}{30} \cdot N_e \cdot T_e \quad (12)$$

که:

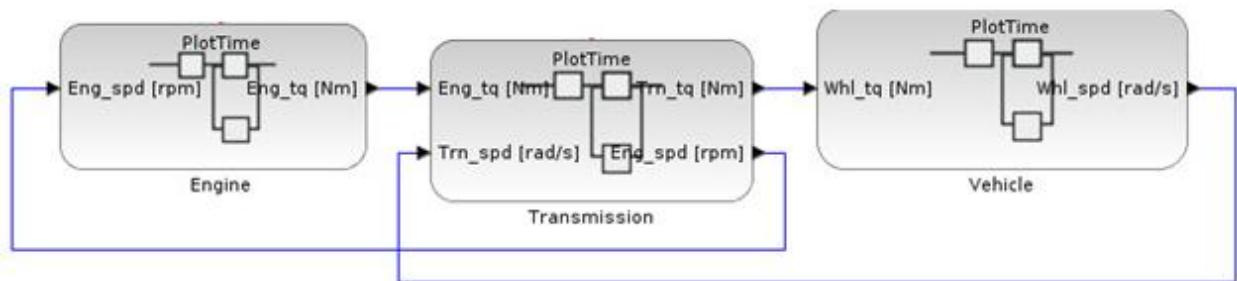
$P_e$  [HP] توان موتور در بار کامل –

$N_e$  [rpm] دور موتور –

$T_e$  [Nm] گشتاور موتور در بار کامل –

مدل‌سازی بلوك دیاگرامی

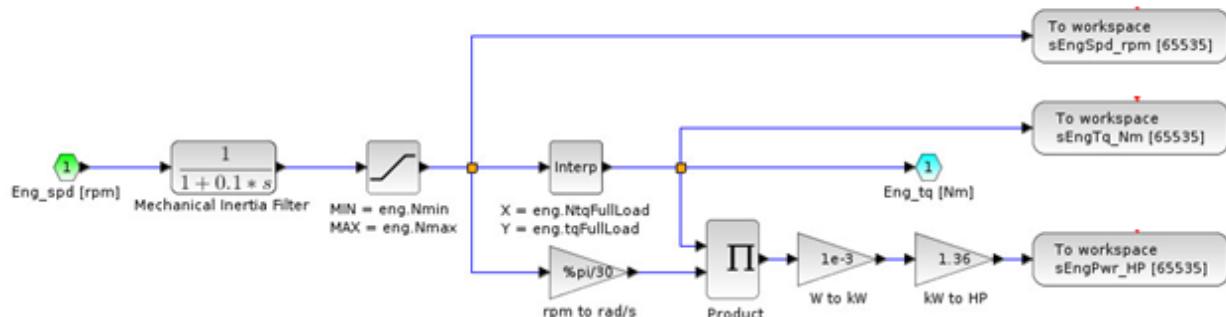
برای درک آسان‌تر، مدل را به ۳ زیر سیستم اصلی تقسیم می‌کنیم: Vehicle، Engine، Transmission و



مدل بلوك دیاگرامی کلی

خروجی مدل گشتاور موتور است که به مدل Transmission داده می شود. مدل Engine، گشتاور چرخ را تولید می کند که به مدل Vehicle وارد می شود. از روی سرعت چرخ در مدل Vehicle و نسبت دنده در مدل Transmission دور موتور در مدل Engine محاسبه می شود.

### بلوك دیاگرام مدل Engine

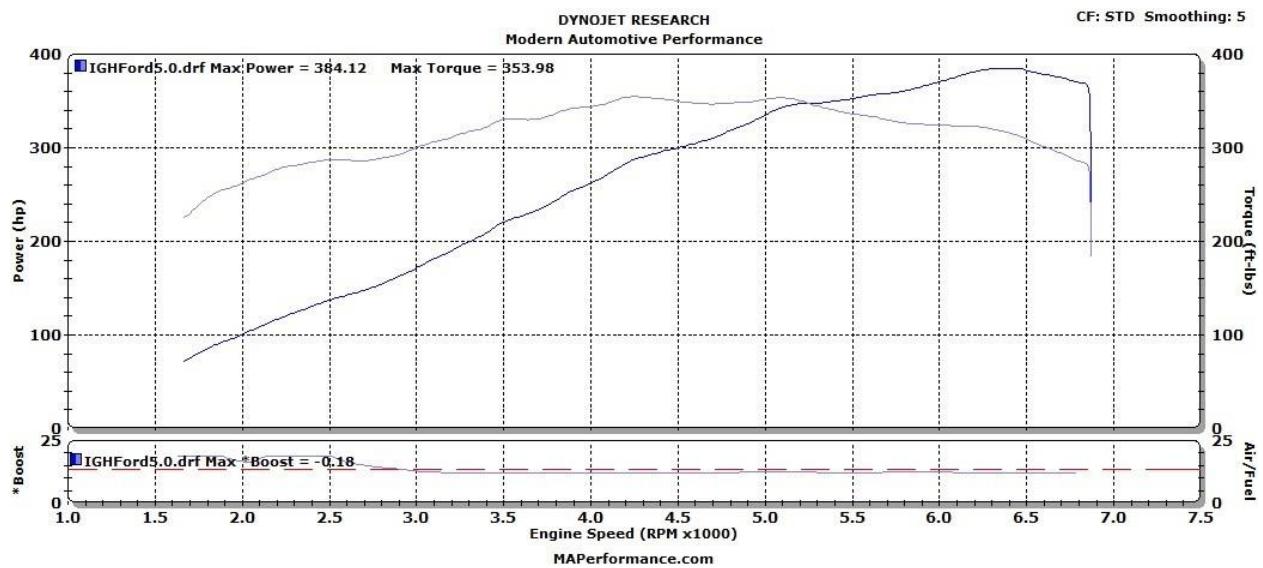


بلوك دیاگرام مدل Engine

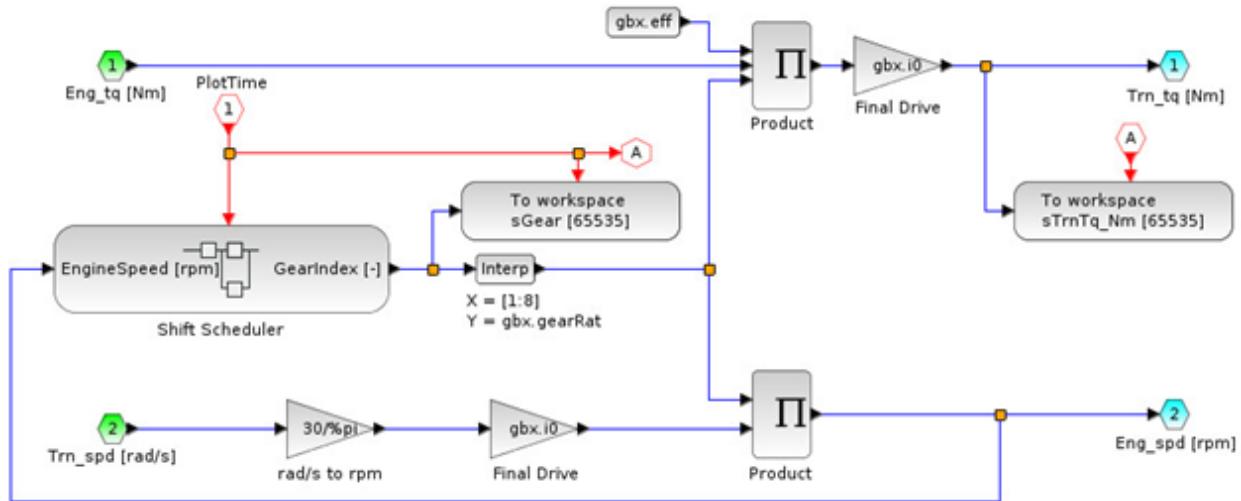
مدل موتور کاملاً ساده است. ورودی (دور موتور فعلی) فیلتر شده و به مقادیر حداقل و حداکثر محدود می شود. نقش فیلتر شبیه سازی اینرسی مکانیکی موتور است. بلوك اشباع اطمینان می دهد که دور موتور کمتر از دور بی بار (۱۰۰۰ دور در دقیقه) نمی شود و از حداکثر مقدار (۶۵۰۰ دور در دقیقه) بیشتر نمی شود. گشتاور موتور از بلوك Interp درون یابی می شود که ورودی آن دور موتور و خروجی آن گشتاور موتور در بار کامل است (برای محاسبه حداکثر شتاب خودرو فرض می شود پدال گاز همواره تا آخر فشار داده مشده است). منحنی توان و گشتاور بر حسب سرعت موتور در بار کامل در شکل زیر نشان داده شده است. توجه کنید که یک منحنی به داده نظیر:

<http://markummitchell.github.io/engauge-digitizer/>

استفاده کنید. در صورت نیاز به داده های خارج از بازه منحنی از برونویابی استفاده کنید.



بلوک دیاگرام مدل **Transmission**



بلوک دیاگرام مدل **Transmission**

مدل **Transmission** دو ورودی دارد:

- گشتاور موتور (دريافتی از مدل Engine)
  - سرعت گیربکس (كه از مدل Vehicle می آيد)
- و دو خروجی را محاسبه می کند:
- گشتاور گیربکس (به مدل Vehicle می رود)
  - سرعت موتور (به مدل Engine برگشت داده می شود)

نسبت دنده دifferansiel در مدل **Transmission** گنجانده شده است. بنابراین گشتاور گیربکس برابر با گشتاور چرخ و سرعت آن برابر با سرعت چرخ است. گشتاور گیربکس (چرخ) [Nm] از معادله زیر محاسبه می شود:

$$T_t = i_x \cdot i_0 \cdot T_e \cdot \eta_d \quad (13)$$

که:

$T_e$  [Nm] – گشتاور گیربکس

$i_x$  [-] نسبت دنده گیربکس

$i_0$  [-] نسبت دنده دیفرانسیل

$\eta_d$  [-] بازده سیستم انتقال قدرت

نسبت دنده دیفرانسیل و سیستم انتقال قدرت ثابت و در جدول پارامترها (در ادامه) تعریف شده است. نسبت دنده گیربکس بستگی به دنده در گیر دارد که توسط بلوک Shift Scheduler (توضیح در ادامه) تعیین می شود که سیگنال خروجی آن به یک بلوک Interp می رود که بردار ورودی آن X شماره دنده [1:8] و بردار خروجی آن Y، نسبت دنده متناظر است. دور موتور [rpm] بر اساس معادله زیر محاسبه می شود:

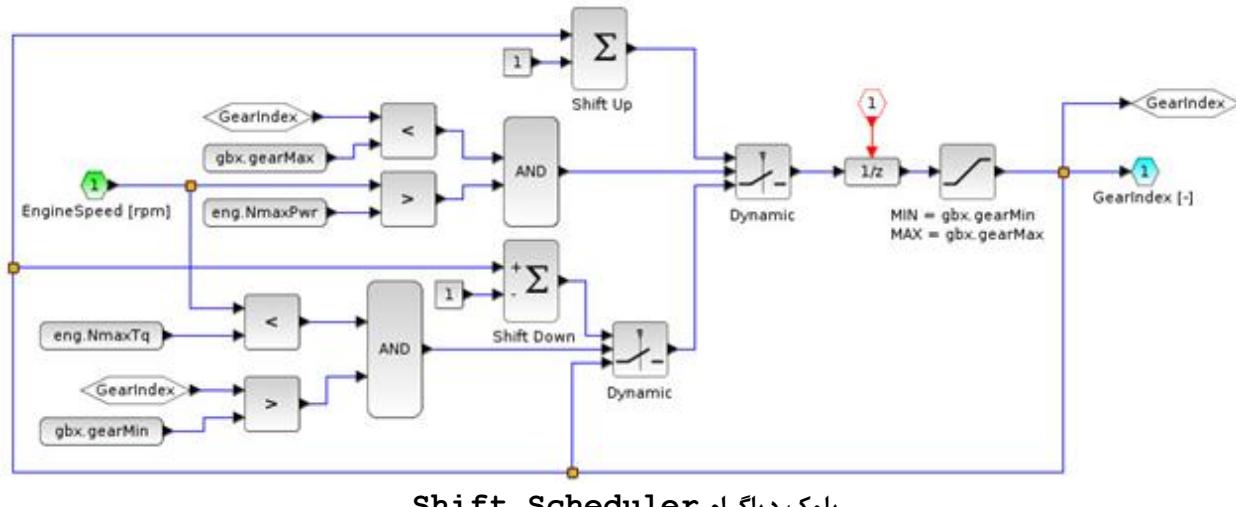
$$N_e = \frac{30}{\pi} \cdot \omega_t \cdot i_x \cdot i_0 \quad (14)$$

که:

$\omega_t$  [rad/s] سرعت خروجی گیربکس (برابر با سرعت چرخ) –

### بلوک دیاگرام Shift Scheduler

Shift Scheduler برای آنکه سرعت موتور را در محدوده بین حداکثر گشتاور و حداکثر توان حفظ کند طراحی می شود. به این ترتیب بهترین عملکرد شتاب به دست می آید. زمانبندی تغییر دنده به صورت شرایط IF ELSEIF طراحی می شود. تعویض به دنده بالاتر زمانی انجام می شود که دور موتور به مقدار دور موتور برای حداکثر توان رسیده باشد مگر آنکه بالاترین شماره دنده (8) در گیر باشد. تعویض به دنده پائینتر زمانی انجام می شود که دور موتور به مقدار دور موتور برای گشتاور رسیده باشد مگر آنکه پائینترین شماره دنده (1) در گیر باشد. اگر هیچ یک از شرایط تعویض به بالا/پایین برقرار نباشد، Shift Scheduler دنده فعلی را در گیر نگه می دارد. در این تمرین، از آنجا که ما فقط شتاب گرفتن خودرو را شبیه سازی می کنیم، تنها وضعیت تعویض دنده به بالا فعال خواهد شد.



## بلوک دیاگرام مدل Vehicle

مدل خودرو گشتاور چرخ (گیربکس) را از زیر سیستم Transmission دریافت می‌کند. حداکثر نیروی اصطکاک بر اساس رابطه (۹) محاسبه می‌شود. نیروی کشش چرخ [N] بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

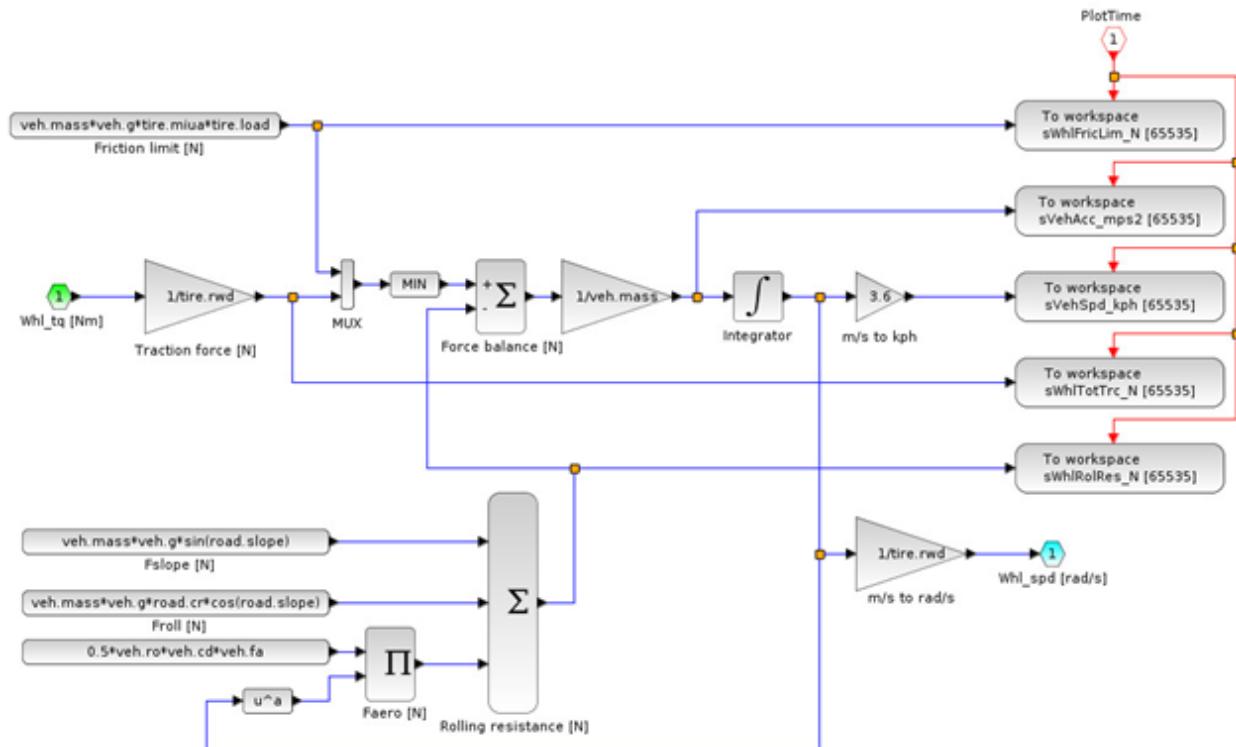
$$F_w = \frac{T_w}{r_{wd}} \quad (15)$$

که  $T_w$  [Nm] گشتاور چرخ (برابر با گشتاور گیربکس) است. نیروهای مقاوم بر اساس معادلات (۶)، (۷) و (۸) محاسبه می‌شوند. بلوک انتگرالگیر معادله (۱۱) را نشان می‌دهد و خروجی آن سرعت خودرو است [m/s]. خروجی انتگرالگیر از پائین به سرعت صفر محدود می‌شود. سرعت چرخ [rad/s] بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\omega_w = \frac{v}{r_{wd}} \quad (16)$$

که:

$v$  [m/s] – سرعت خودرو



بلوک دیاگرام مدل Vehicle

## پارامترهای ورودی

پارامترهای خودرو از خودرو جگوار F-Type 16MY دیفرانسیل عقب (RWD) گرفته شده‌اند. در شبیه‌سازی از نامگذاری و مقادیر زیر برای پارامترهای خودرو استفاده کنید:

### Engine

`eng.NmaxTq = 3500; [rpm]`

`eng.NmaxPwr = 6500; [rpm]`

`eng.tqFullLoad = [306 385 439 450 450 367]; [Nm]` منحنی گشتاور موتور در بار کامل;

```

eng.NtqFullLoad = [1000 2020 2990 3500 5000 6500]; محور دور موتور [rpm]
eng.Nmax = 6500; حداکثر دور موتور [rpm]
eng.Nmin = 1000; حداقل دور موتور [rpm]

```

#### **Transmission**

```

gbx.gearMin = 1; پایین ترین دندۀ
gbx.gearMax = 8; بالاترین دندۀ
gbx.gearRat = [4.7 3.1 2.1 1.7 1.3 1.00 0.84 0.67]; نسبت دندۀ گیربکس
gbx.i0 = 3.3; نسبت دندۀ دیفرانسیل
gbx.eff = 0.85; بازده سیستم انتقال قدرت

```

#### **Tires:**

```

tire.W = 0.3; عرض لاستیک [m]
tire.D = 20 * 0.0254; قطر رینگ [m]
tire.H = 30*tire.W/100; ارتفاع تایر [m]
tire.rws = tire.D/2 + tire.H; شعاع استاتیک چرخ [m]
tire.rwd = 0.98 * tire.rws; شعاع دینامیک چرخ [m]
tire.miua = 1.1; ضریب اصطکاک چرخ (لاستیک)
tire.load = 0.6; نسبت بار (وزن) بر محور عقب

```

#### **Vehicle**

```

veh.mass_curb = 1400; جرم خودرو [kg]
veh.mass_driver = 80; جرم راننده [kg]
veh.mass_fm = 1.05; ضریب جرم
veh.g = 9.81; شتاب گرانشی [m/s2]
veh.cd = 0.3; ضریب مقاومت هوایی
veh.fa = 2.0; سطح مقطع [m2]
veh.ro = 1.2; چگالی هوایی [kg/m3]
road.slope = 0; زاویه شیب جاده [rad]
road.cr = 0.01; ضریب مقاومت غلتتشی

```

#### **سوالات**

شبیه سازی را برای ۵۰ ثانیه با شتاب در بار کامل انجام دهید:

الف) متغیرهای زیر را بر حسب زمان رسم کنید و در مورد نتایج بحث کنید:

سرعت موتور، گشتاور موتور، گشتاور چرخ، نیروی کشنش، سرعت خودرو

ب) حداکثر سرعت خودرو و زمان شتاب ۰ تا ۱۰۰ کیلومتر در ساعت را بیابید.