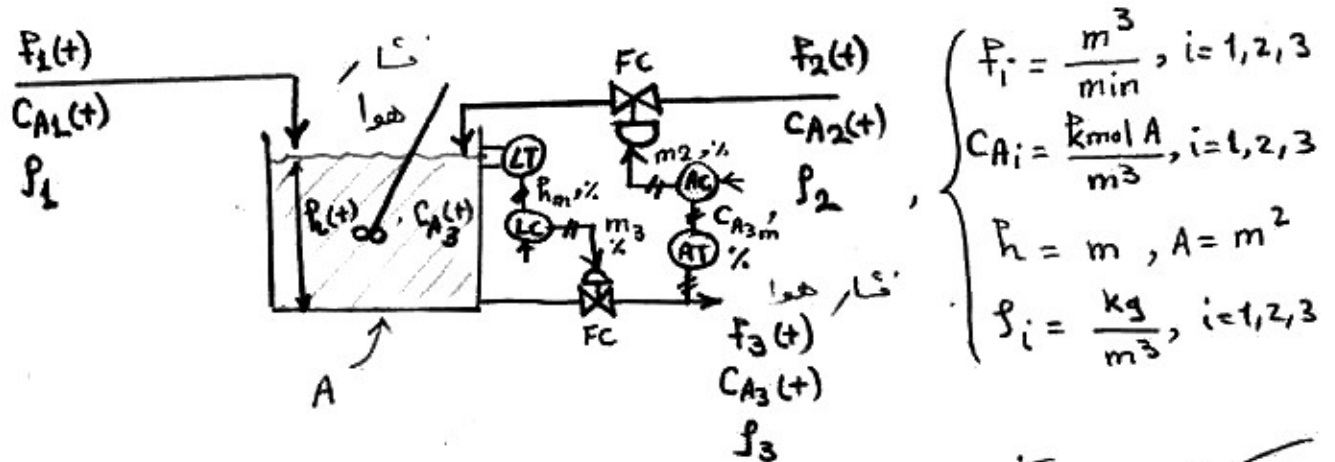


* مثال دوم (موازنه جرم جزئی بدون واکنش): فرآیند زیر را در نظر بگیرید.



در این تانک توسط دو جریان F_1 و F_2 ، مخلوط دو جزئی A و B با غلظت‌های متفاوت وارد شده و پس از اختلاط از آن خارج می‌شود. مدل فرآیند فیزیکی را تعیین کنید.

- فرضیات:

- ۱) دمای فرآیند ثابت است (ایزوترم).
- ۲) سیال داخل تانک کاملاً همزده می‌باشد.
- ۳) شیرهای کنترل از نوع FC (Fail-close) با رقت، خطر در ناپدید شدن دارند.
- ۴) سنسور اندازه گیر ارتفاع مایع دارای رقت، خطر در ناپدید شدن دارد.
- ۵) سنسور اندازه گیر غلظت دارای رقت، خطر، مایع با رقت T و زمان مرده t_d است.
- ۶) دانسیته جرم جریان‌ها ثابت و تقریباً یکسان است: $(\rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = \rho)$

- با نوشتن موازنه جرم کل حول تانک داریم:

$$\frac{d(\overbrace{A h \rho}^{\text{جرم سیال}})}{dt} = F_1 \rho + F_2 \rho - F_3 \rho \Rightarrow \boxed{\frac{dh}{dt} = \frac{1}{A} (F_1 + F_2 - F_3)} \quad (I)$$

- با نوشتن موازنه جرم جزئی (ماده A) حول تانک برای اجزاء A داریم:

$$\frac{d(\overbrace{CA_3 A h}^{\text{مول جزء A}})}{dt} = F_1 CA_1 + F_2 CA_2 - F_3 CA_3 = A \left[CA_3 \frac{dh}{dt} + h \frac{d(CA_3)}{dt} \right]$$

با جایگزینی معادله اول در معادله فوق داریم:

$$A_R \frac{dCA_3}{dt} = -A CA_3 \left[\frac{1}{A} (F_1 + F_2 - F_3) \right] + F_1 CA_1 + F_2 CA_2 - F_3 CA_3$$

$$= F_1 (CA_1 - CA_3) + F_2 (CA_2 - CA_3)$$

$$\Rightarrow \frac{dCA_3}{dt} = \frac{1}{A_R} [F_1 (CA_1 - CA_3) + F_2 (CA_2 - CA_3)] \quad (II)$$

- معادله درجه دوم از زیر کنترل خود را:

$$F_2 = C_{V2max} \left(\frac{m_2}{100} \right) \sqrt{\frac{\Delta P_{V2}}{sp.gr}} \quad (III)$$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Fail-close (FC): } V_p = \frac{m}{100} \\ \text{Fail-open (FO): } V_p = 1 - \frac{m}{100} \end{array} \right.$

($C_{V2max} : \frac{m^3/min}{\sqrt{kPa}}$, $i=2,3$), $\Delta P_{V2} \neq kPa$ - معادله درجه دوم از زیر کنترل حاصل:

$$F_3 = C_{V3max} \left(\frac{m_3}{100} \right) \sqrt{\frac{P_{GR}}{1000 \cdot sp.gr}} \quad (IV)$$

- معادله سنسور ارتفاع بنام:

$$h_m(t) = \left(\frac{P(t) - P_{min}}{P_{max} - P_{min}} \right) \times 100 \quad (V)$$

- معادله سنسور اندازه گیر غلظت حاصل:

$$\tau_m \frac{dCA_{3m}}{dt} + CA_{3m} = \left[\frac{CA_3(t-t_0) - CA_{3min}}{CA_{3max} - CA_{3min}} \right] \times 100 \quad (VI)$$

بنابراین مدل فضای حالت فرآیند معادلات (I)، (II) و (VI) و با:

$$X^T = [P, CA_3, CA_{3m}] \quad , \quad U^T = [m_2, m_3] \quad , \quad \begin{cases} \dot{X} = f(X, U, D) \\ y = g(X) \end{cases}$$

$\begin{array}{l} \text{دستورالعمل‌های حالت} \\ \text{دستورالعمل‌های کنترل} \end{array}$

$$D^T = [F_1, CA_1, CA_2] \quad , \quad y^T = [P_m, CA_{3m}]$$

$\begin{array}{l} \text{دستورالعمل‌های اغتشاش} \\ \text{دستورالعمل‌های خروجی} \end{array}$

- حال با انتخاب مقادیر عددی پارامترهاستیم، و توان مدل را به ازای ورودی‌ها مختلف
 خروجی عددی حل نمود (شبه ساز). مقادیر عددی پارامترهاستیم عبارتند از:

$$A (\text{مساحت مقطع کانک}) = 3.0 \text{ m}^2$$

$$C_{v2max} (\text{حد اکثر ظرفیت کنترل خورداک}) = 0.10 \frac{\text{m}^3/\text{min}}{\sqrt{\text{kPa}}}$$

$$C_{v3max} (\text{حد اکثر ظرفیت کنترل مصلوب}) = 0.63 \text{ "}$$

$$\Delta P_{v2} (\text{افت فشار کنترل خورداک}) = 50 \text{ kPa}$$

$$\text{sp.gr} (\text{چگالی مایع}) = 0.8$$

$$\rho (\text{دانشیه مایع}) = 800 \text{ kg/m}^3$$

$$g (\text{شتاب جاذبه}) = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$h_{min} (\text{حد اقل ارتفاع مایع در کانک}) = 0$$

$$h_{max} (\text{حد اکثر ارتفاع مایع در کانک}) = 4.0 \text{ m}$$

$$C_{A3min} (\text{حد اقل غلظت A در کانک}) = 6.0 \text{ kmol A/m}^3$$

$$C_{A3max} (\text{حد اکثر غلظت A در کانک}) = 12.5 \text{ kmol A/m}^3$$

$$\tau_T (\text{زمان تأخیر انتقال}) = 5.0 \text{ min}$$

$$t_o (\text{زمان مرده سنسور غلظت}) = 2.0 \text{ min}$$

- با حل معادلات مدل فرآیند در حالت پایا مقادیر نامی و متغیرها را به ازای مقادیر نامی مشخصه‌ها و مقادیر

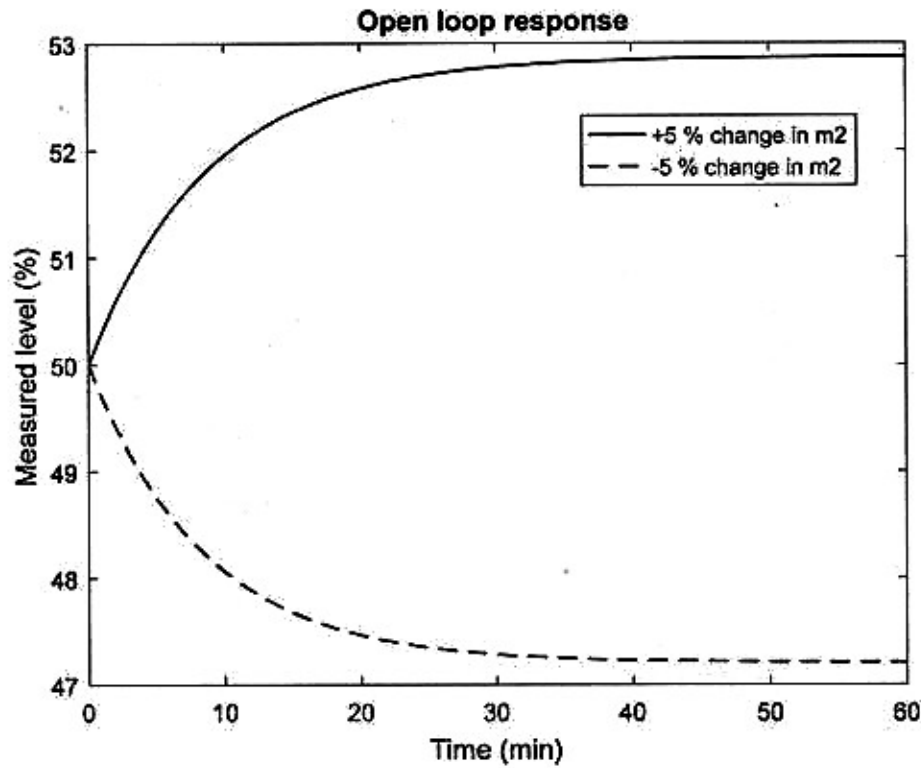
خروجی حاصل می‌شود:

مقادیر نامی و عددی	{	$\bar{m}_2 (\text{مقدار نامی سیگنال کنترل غلظت}) = 50\%$	مقادیر نامی و عددی حالت	{	$\bar{R} = 2.0 \text{ m}$
		$\bar{m}_3 (\text{مقدار نامی سیگنال کنترل سطح}) = 50\%$			$\bar{C}_{A3} = 9.2495 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^3}$
		$\bar{F}_1 (\text{مقدار نامی دبی خوراک لول}) = 1.0 \text{ m}^3/\text{min}$			$\bar{C}_{A3m} = 49.9923\%$
		$\bar{C}_{A1} (\text{مقدار نامی غلظت خوراک لول}) = 5.0 \text{ kmol/m}^3$			
		$\bar{C}_{A2} (\text{مقدار نامی غلظت خوراک لول}) = 2.0 \text{ kmol/m}^3$			

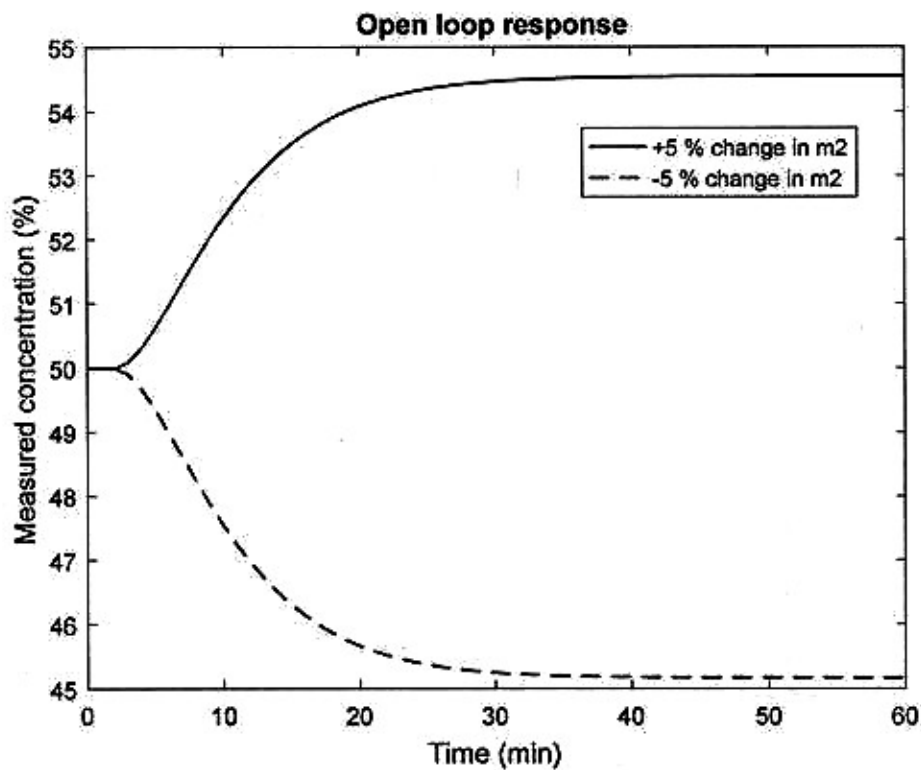
فای شبه ساز در نرم افزار Simulink در صفحه خانه نصب در پات

{ فایل شبه ساز: modeling_example2.slx
 { فایل عددی: example2-model.m }

باسم خداوند تعالی و غرض از اندازه گیری شده و اندازه تغییر پیدا در m_2 و اندازه $+5\%$ در سطح ۲ و ۲
(Figure 1 & 2) نشان داده شده است .



شکل (۱)



شکل (۲)

مدل فضای حالت خطی فوق نیز با استفاده از دستور `linmod` بصورت زیر حاصل

می شود: $u^T = [m_2, m_3, P_1, CA_1, CA_2]$, $y^T = [P_m, CA_{3m}]$
 فایل: `<modeling_example 2_1. slx>`

> `x = Simulink.BlockDiagram.getInitialState('modeling_example 2_1')`

> `x.Signals.Values`

> `2.0, 9.2495` $\Rightarrow x^T = [P, CA_3, CA_{3m}]$
`49.9923`

> `[A,B,C,D] = linmod('modeling_example 2_1',[2,9.2495,49.9923],[50,50,1,5,20])`

$$\Rightarrow A = \begin{bmatrix} -0.1163 & 0 & 0 \\ 0 & -0.2325 & 0 \\ 0 & 3.0769 & -0.2 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0.0026 & -0.0093 & 0.3333 & 0 & 0 \\ 0.0142 & 0 & -0.7082 & 0.1667 & 0.0659 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.0 \end{bmatrix}$$

توجه کنید که فضای حالت فوق بعنوان مدل سیتم قابل قبول نمی باشد زیرا سیتم مذکور دارای زمان مرده بوده است (سنسور غلطه دارای زمان مرده 2 min می باشد). برای کشف دادن مدل سیتم همراه با زمان مرده، اعتبارات ابتدای تابع تبدیل فرایند تعیین شده و سپس ترم تأخیر در آل منظر عددی برای تعیین تابع تبدیل داریم:

> `Gp = tf(ss(A,B,C,D))`

نیاز بر این توانه تبدیل به منظور کدن ترم تأخیر (e^{-2s}) بصورت زیر حاصل می شوند:

$$\begin{bmatrix} H_m(s) \\ G_{A3m}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{P11} & G_{P12} & G_{P13} & G_{P14} & G_{P15} \\ G_{P21} & G_{P22} & G_{P23} & G_{P24} & G_{P25} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_2(s) \\ M_3(s) \\ F_1(s) \\ CA_1(s) \\ CA_2(s) \end{bmatrix}$$

مدل فرآیند مدل اختلال

سیگنال کنترل
سیگنال اندازه‌گیری

$$G_{P11} = \frac{0.06588}{s+0.1163}, \quad G_{P21} = \frac{(0.04358s + 0.005068) e^{-2s}}{s^3 + 0.5488s^2 + 0.0968s + 0.005408}$$

✓ مدل فرآیند:

$$G_{P12} = \frac{-0.2325}{s+0.1163}, \quad G_{P22} = \frac{1.97 \times 10^{-8} e^{-2s}}{s^3 + 0.5488s^2 + 0.0968s + 0.005408} \approx 0$$

✓ مدل اختلال:

$$G_{P13} = \frac{8.333}{s+0.1163}, \quad G_{P23} = \frac{(-2.179s - 0.2534) e^{-2s}}{s^3 + 0.5488s^2 + 0.0968s + 0.005408}$$

$$G_{P14} = 0, \quad G_{P24} = \frac{0.5128 e^{-2s}}{s^2 + 0.4325s + 0.04651}$$

$$G_{P15} = 0, \quad G_{P25} = \frac{0.2027 e^{-2s}}{s^2 + 0.4325s + 0.04651}$$

همانگونه که مشاهده می‌گردد برای کنترل ارتفاع تانک با استفاده از سیگنال m_3 (سیگنال دیم) و برای کنترل غلظت از سیگنال m_2 (سیگنال ورودی) استفاده می‌نماید. به عبارت دیگر ساختار کنترلی نشان داده شده در شکل فرآیند صحیح می‌باشد.

جفت کنترلی مناسب:
 $\begin{cases} (h_m, m_3) \\ (CA_{3m}, m_2) \end{cases}$ (loop pairing)

همچنین در این فرآیند، حلقه کنترلی بخاطر وسط برداشتن تاخیر (dead time) زیر داریم:

ماتریس کسین: $\Lambda = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \Rightarrow K = \begin{bmatrix} 0.5665 & -2 \\ 0.9371 & 0 \end{bmatrix}$

$\Lambda = K \otimes K^{-T}$