

یک راکتور CSTR را در نظر بگیرید که واکنش‌های سری درجه اول و گرمازا به شکل $A \xrightarrow{k_1} B \xrightarrow{k_2} C$ در آن انجام می‌شود. این راکتور از نوع ژاکت‌دار بوده و سیال خنک‌کننده در آن حالت همزدگی ایده‌آل دارد.

هدف از این شبیه‌سازی، کنترل دمای محتویات راکتور به وسیله تغییر دبی سیال خنک‌کننده می‌باشد. سنسور اندازه‌گیری دمای راکتور را ایده‌آل فرض کرده و از دینامیک آن نیز صرف نظر کنید اما از آنجایی که اندازه‌گیری غلظت و ثابت نگه داشتن آن کار آسانی نیست، ممکن است غلظت خوراک ورودی دچار تغییر شود.

از آنجایی که واکنش‌های سیستم یک‌طرفه بوده و علاوه بر این هدف بهینه‌سازی غلظت جزء C نیست، نیازی به بررسی دینامیکی جزء C نبوده و می‌توان از آن صرف نظر کرد.

برای ساده‌سازی معادلات، خواص فیزیکی تمامی محتویات داخل راکتور را یکسان و ثابت فرض کنید. مقادیر این پارامترها و سایر پارامترهای مورد نیاز در جدول زیر آمده است.

k_{10}	$5.616 \times 10^{16} \text{min}^{-1}$	C_{Af}	2.85Kmol m^{-3}
k_{20}	$1.128 \times 10^{18} \text{min}^{-1}$	T_{cf}	293K
h_1	$4.8 \times 10^4 \text{KJ Kmol}^{-1}$	A_h	5.5m^2
E_1/R	13477K	Q_r	$0.08 \text{m}^3 \text{min}^{-1}$
E_2/R	15290K	Q_c^s	$0.03 \text{m}^3 \text{min}^{-1}$
h_2	$2.2 \times 10^4 \text{KJ Kmol}^{-1}$	C_{pr}	$4.05 \text{KJ Kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
V_r	1.2m^3	C_{pc}	$4.18 \text{KJ Kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
V_c	0.64m^3	U	$43.5 \text{KJ m}^{-2} \text{min}^{-1} \text{K}^{-1}$
ρ_r	985Kg m^{-3}	C_{Bf}	0Kmol m^{-3}
ρ_c	998Kg m^{-3}	T_{rf}	323K

۱. با اعمال و بیان فرضیات لازم و رابطه سرعت زیر، مدل دینامیکی سیستم را در ۴ معادله بدست آورید.

$$k_j = k_{0j} \exp\left(-\frac{E_j}{RT_r}\right), \quad j = 1, 2$$

$$h_r = h_1 k_1 C_A + h_2 k_2 C_B$$

در معادله‌ی بالا، h_r بیانگر گرمای کلی واکنش است.

۲. با توجه به ثوابت معرفی شده و نوشتن معادلات در حالت پایا، نقاط کاری حالات سیستم را بدست آورید.

۳. سیستم را با استفاده از S-function مدل کرده و پاسخ دینامیکی سیستم را با در نظر گرفتن یک پله 10 درصدی (مثبت و منفی) در ورودی سیستم، بدست آورید. (مقادیر اولیه حالات را همان نقاط کاری بدست آمده از قسمت ۲ قرار دهید).
۴. حال سیستم را خطی کرده و با استفاده از توابع انتقال و روش Wiring، خواسته ۳ را تکرار کرده و نتایج را مقایسه و تفسیر کنید.
۵. با استفاده از توابع انتقال بدست آمده برای سیستم و مدل‌های طراحی بهینه‌ی کنترلر، یک کنترلر بهینه‌ی PI طراحی کنید و عملکرد آن را با اعمال تغییر ۵ درصدی (مثبت و منفی)، به صورت Servo و Regulatory بررسی کنید. مقدار مقرر دمای راکتور برابر ۳۴۰ کلوین در نظر گرفته شود.
۶. خواسته قسمت ۵ را در نظر بگیرید. این بار ابتدا بهره و ثابت زمانی بحرانی سیستم را بدست آورده و سپس با استفاده از روش زیگلر-نیکولز، کنترلر PI مربوطه را طراحی کنید. در نهایت، نتایج خواسته ۵ را تکرار کرده و نتایج را با هم مقایسه و تفسیر کنید.

قسمت اول جهت اطلاع شما: معادلات دینامیکی سیستم مورد نظر بایستی به شکل زیر نوشته شود:

$$\frac{dC_A}{dt} = -\left(\frac{Q_r}{V_r} + k_1\right)C_A + \frac{Q_r}{V_r}C_{Af}$$

$$\frac{dC_B}{dt} = -\left(\frac{Q_r}{V_r} + k_2\right)C_B + k_1C_A + \frac{Q_r}{V_r}C_{Bf}$$

$$\frac{dT_r}{dt} = \frac{h_r}{(\rho C_p)_r} + \frac{Q_r}{V_r}(T_{rf} - T_r) + \frac{A_h U}{V_r(\rho C_p)_r}(T_c - T_r)$$

$$\frac{dT_c}{dt} = \frac{Q_c}{V_c}(T_{cf} - T_c) + \frac{A_h U}{V_c(\rho C_p)_c}(T_r - T_c)$$

$$k_j = k_{0j} \exp\left(-\frac{E_j}{RT_r}\right), \quad j = 1, 2$$

$$h_r = h_1 k_1 C_A + h_2 k_2 C_B$$