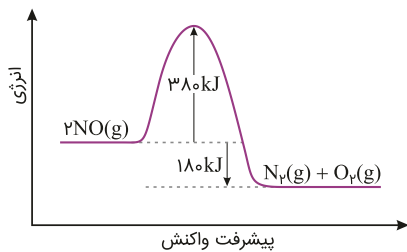




گزینه ۴

۱



بررسی عبارت‌های نادرست:

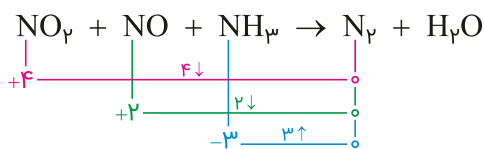
(الف)

$$? \text{ mol N}_2 = 0.25 \text{ mol NO} \times \frac{1 \text{ mol N}_2}{2 \text{ mol NO}} = 0.125 \text{ mol N}_2$$

$$? \text{ kJ} = 0.25 \text{ mol NO} \times \frac{180 \text{ kJ}}{2 \text{ mol NO}} = 22.5 \text{ kJ}$$

ت) کاتالیزگر سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها و فرآورده‌ها و تفاوت آن‌ها ( $\Delta H$ ) را تغییر نمی‌دهد.

عبارت‌های دوم، سوم و چهارم نادرست‌اند.  
ابتدا تغییر عدد اکسایش عناصر را در معادله واکنش داده‌شده، مشخص می‌کنیم:



بررسی عبارت‌ها:

عبارت اول: درست. عدد اکسایش نیتروژن در آمونیاک در جریان واکنش، افزایش یافته است؛ بنابراین آمونیاک نقش کاهنده دارد.  
عدد اکسایش نیتروژن در اکسیدهای نیتروژن ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ) در جریان واکنش، کاهش یافته است؛ بنابراین اکسیدهای نیتروژن نقش اکسنده دارند.

عبارت دوم: نادرست. تغییر عدد اکسایش ماده کاهنده ( $\text{NH}_3$ ) برابر با ۳ است، بنابراین ماده اکسنده ۳ الکترون از دست می‌دهد. تغییر عدد اکسایش اکسنده‌ها ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ) مجموعاً برابر با ۶ است؛ بنابراین اکسنده‌ها در مجموع ۶ الکترون می‌گیرند.

عبارت سوم: نادرست. مجموع ضرایب مواد پس از موازنه برابر با ۹ است.



عبارت چهارم: نادرست. این واکنش برای حذف اکسیدهای نیتروژن و تبدیل آن به  $\text{N}_2$  در مبدل کاتالیستی خودروهای دیزلی انجام می‌شود.

در نمودار انرژی- پیشرفت واکنش داده‌شده، انرژی فعالسازی واکنش هم‌ارز  $3a$  ( $E = 3a$ ) و  $\Delta H$  واکنش، هم‌ارز  $a$  است ( $\Delta H = a$ ).

توجه داشته باشید که واکنش داده‌شده گرماگیر بوده و  $a > 0$  است.

بررسی گزینه‌ها:

گزینه ۱: در این واکنش، انرژی فعالسازی زیاد است، پس انتظار داریم سرعت واکنش کم باشد. ضمناً رابطه داده‌شده به صورت  $\Delta H - E_a = -2a$  برقرار است.

$$\Delta H - E_a = a - 3a = -2a$$

گزینه ۲: مطابق واکنش داده‌شده، به ازای مصرف یک مول ماده گازی شکل  $A$ ،  $a$  کیلوژول انرژی گرمایی نیاز است.

$$0/1 \text{ mol } A \times \frac{a \text{ kJ}}{1 \text{ mol } A} = 0/1 a \text{ kJ}$$

گزینه ۳: افزایش دمای واکنش، سرعت واکنش را افزایش می‌دهد؛ اما به هیچ‌وجه مقدار انرژی فعالسازی ( $E_a$ ) را تغییر نمی‌دهد. به عبارت دیگر با افزایش دمای ظرف واکنش می‌توانیم انرژی فعالسازی لازم برای انجام واکنش را تأمین کنیم.

گزینه ۴: مطابق تعریف، انرژی فعالسازی حداقل انرژی لازم برای انجام یک واکنش است؛ بنابراین حداقل انرژی لازم برای انجام این واکنش برابر با  $3a \text{ kJ}$  است.

بررسی گزینه‌های نادرست:

گزینه ۲: واکنش گاز هیدروژن با اکسیژن، در مجاورت گرد روی، سریع است ولی انفجاری نیست.

گزینه ۳: این واکنش‌ها در دماهای پایین انجام نمی‌شوند یا بسیار کند هستند.

گزینه ۴: کاتالیزگر، تأثیری بر  $\Delta H$  واکنش یا گرماده و گرماگیر بودن واکنش ندارد.

عبارت‌های "پ" و "ت" درست‌اند.

بررسی عبارت‌ها:

الف) نادرست. کمینه انرژی موردنیاز برای انجام واکنش همان انرژی فعالسازی واکنش است که با افزایش دما تغییر نمی‌کند.

ب) نادرست. تفاوت سطح انرژی واکنش‌دهنده‌ها و فرآورده‌ها یا همان  $\Delta H$  واکنش، تأثیری در سرعت واکنش ندارد و تفاوت سرعت واکنش در دمای  $T_1$  و  $T_2$ ، مربوط به اختلاف در دما است.

پ) درست. در دماهای بالاتر، سرعت واکنش بیشتر است. از آنجاکه  $T_1 > T_2$  است، انتظار داریم سرعت تبدیل واکنش‌دهنده‌ها به فرآورده‌ها در دمای  $T_1$ ، بیشتر از دمای  $T_2$  باشد.

ت) درست. اگر انرژی ذرات واکنش‌دهنده‌ها کمتر از  $E_a$  (حداقل انرژی لازم برای شروع واکنش) باشد، واکنش‌دهنده‌ها در عمل به فرآورده‌ها تبدیل نمی‌شوند؛ بنابراین اگر در دمای  $T_1$  و  $T_2$ ، انرژی فعالسازی واکنش تأمین نشود، درصد تبدیل واکنش‌دهنده‌ها به فرآورده‌ها در هر دو دما برابر با صفر خواهد بود.

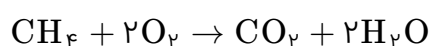
$$\begin{aligned} \text{مقدار کاهش آلاینده‌ها} &= ۸۰۰۰۰۰ \times \frac{۵۰ \text{ km}}{\text{خودرو}} \\ &\times \frac{[(۶ - ۰/۶)\text{CO} + (۱/۶۶ - ۰/۰۶)\text{C}_x\text{H}_y + (۱/۰۳ - ۰/۰۴)\text{NO}] \text{ g}}{۱ \text{ km}} \times \frac{۱ \text{ ton}}{۱۰^۶ \text{ g}} = ۳۱۹/۶ \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\text{درصد جرمی CO در گازهای خروجی} = \frac{۰/۶}{(۰/۶ + ۰/۰۶ + ۰/۰۴)} \times ۱۰۰ \simeq ۸۵/۷۱\%$$

ابتدا از طریق رابطه  $Q = mc\Delta\theta$  باید حساب کنیم، برای رساندن دمای ۱ کیلوگرم گازوییل از  $500^\circ\text{C}$  به  $700^\circ\text{C}$ ، چند کیلوژول گرما نیاز داریم:

$$Q = mc\Delta\theta \Rightarrow Q = 1000 \times 0.8 \times (700 - 500) = 160000 \text{ J} = 160 \text{ kJ}$$

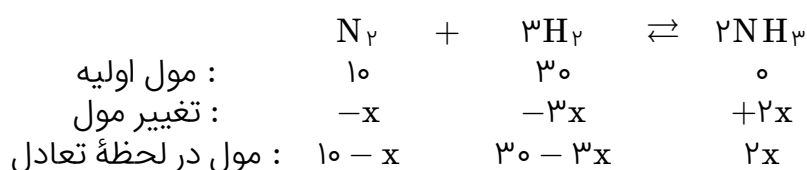
زمانی که برای تبدیل گازوییل به فرآورده‌های موردنظر از کاتالیزگر استفاده می‌شود، دمای انجام واکنش از  $700^\circ\text{C}$  به  $500^\circ\text{C}$  کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر طبق محاسبه انجام شده، به اندازه ۱۶۰ کیلوژول در مصرف انرژی صرفه جویی می‌شود (به ازای هر کیلوگرم گازوییل). از آنجا که گرمای لازم برای این فرآیند از سوختن گاز متان تأمین می‌شود، اکنون می‌توانیم به راحتی حساب کنیم که به ازای ۱۶۰ کیلوژول انرژی گرمایی، در مصرف چند لیتر گاز متان صرفه جویی می‌شود و از انتشار چند گرم گاز  $\text{CO}_2$  جلوگیری خواهد شد:



$$? \text{ L CH}_4 = 160 \text{ kJ} \times \frac{1 \text{ mol CH}_4}{880 \text{ kJ}} \times \frac{22.4 \text{ L CH}_4}{1 \text{ mol CH}_4} = 4.07 \text{ CH}_4$$

$$? \text{ g CO}_2 = 160 \text{ kJ} \times \frac{1 \text{ mol CH}_4}{880 \text{ kJ}} \times \frac{1 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol CH}_4} \times \frac{44 \text{ g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} = 8 \text{ g CO}_2$$

در فرآیند هابر در شرایط بهینه، ۲۸ درصد مخلوط تعادلی را آمونیاک تشکیل می‌دهد بنابراین:



$$\text{مجموع مول مواد موجود در ظرف: } 10 - x + 30 - 3x + 2x = 40 - 2x$$

$$\text{درصد مولی آمونیاک: } \frac{2x}{40 - 2x} \times 100 \Rightarrow 28 = \frac{2x}{40 - 2x} \Rightarrow 128x = 560 \Rightarrow x = 4/375$$

$$\text{mol NH}_3 = 2x = 2(4/375) = 8/375 \text{ mol}$$

$$8/375 \text{ mol NH}_3 \times \frac{17 \text{ g NH}_3}{1 \text{ mol NH}_3} = 148/375 \text{ g NH}_3$$

ابتدا ثابت تعادل واکنش را به دست می‌آوریم:

$$[A] = [X] = [D] = \frac{0.4 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0.2 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$K = \frac{[X][D]}{[A]} = \frac{0.2 \times 0.2}{0.2} = 0.2$$

هنگامی که مخلوط تعادلی از ظرف دو لیتری به ظرف چهار لیتری منتقل می‌شود اولاً به دلیل دو برابر شدن حجم ظرف، غلظت هر یک از گونه‌های گازی موجود نصف می‌شود. یعنی:

$$[A] = [X] = [D] = 0.1 \text{ mol.L}^{-1}$$

ثانیاً به دلیل کاهش فشار، طبق اصل لوشاتلیه تعادل در جهت تولید مول گاز بیشتر (در جهت رفت) جابه‌جا می‌شود بنابراین:

|                      |           |                      |           |     |           |
|----------------------|-----------|----------------------|-----------|-----|-----------|
|                      | $A$       | $\rightleftharpoons$ | $X$       | $+$ | $D$       |
| غلظت اولیه :         | 0.1       |                      | 0.1       |     | 0.1       |
| تغییر غلظت :         | $-x$      |                      | $+x$      |     | $+x$      |
| غلظت در لحظه تعادل : | $0.1 - x$ |                      | $0.1 + x$ |     | $0.1 + x$ |

$$K = \frac{[X][D]}{[A]} \Rightarrow 0.2 = \frac{(0.1+x)(0.1+x)}{0.1-x} \Rightarrow x^2 + 0.4x - 0.1 = 0 \Rightarrow \begin{cases} x_1 = -0.425 \\ x_2 = 0.25 \end{cases}$$

$$\Rightarrow [X] = 0.1 + x = 0.1 + 0.25 = 0.35 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$\text{مول } X \text{ در تعادل} = 0.35 \text{ mol.L}^{-1} \times 4 \text{ L} = 1.4 \text{ mol}$$

|             |          |                      |        |
|-------------|----------|----------------------|--------|
|             | $2O_3$   | $\rightleftharpoons$ | $3O_2$ |
| غلظت اولیه  | 1        |                      | 0      |
| تغییر غلظت  | $-2x$    |                      | $+3x$  |
| غلظت تعادلی | $1 - 2x$ |                      | $3x$   |

$$1 - 2x = \frac{1}{6}(3x) \Rightarrow x = 0.4 \Rightarrow K = \frac{[3x]^3}{[1-2x]^2} = \frac{(1/2)^3}{(0.2)^2} \Rightarrow K = 43/2$$

تا اینجا گزینه‌های ۳ و ۴ رد می‌شوند.

برای تعیین یکای ثابت تعادل، کافی است در رابطه ثابت تعادل این واکنش، به جای غلظت مولی هر ماده، یکای آن را قرار داده و ساده کنیم.

$$K = \frac{[O_2]^3}{[O_3]^2} \Rightarrow K_{\text{یکای}} = \frac{(\text{mol.L}^{-1})^3}{(\text{mol.L}^{-1})^2} \Rightarrow K_{\text{یکای}} = \text{mol.L}^{-1}$$

طبق فرض سوال، واکنش‌های ۱ و ۲ به طور کامل انجام می‌شوند.

یعنی اگر ۱ مول  $\text{CH}_4$  با ۱ مول  $\text{H}_2\text{O}$  واکنش دهد، ۱ مول  $\text{CO}$  و ۳ مول  $\text{H}_2$  تولید می‌شود. حال اگر همین  $\text{CO}$  و  $\text{H}_2$  در واکنش گاه دوم برای متانول مورد استفاده قرار بگیرد، باتوجه به اینکه نسبت مولی  $\text{CO}$  به  $\text{H}_2$ ، ۱ به ۲ است؛ در عمل ۱ مول  $\text{H}_2$  (معادل ۲ گرم) به صورت اضافی باقی می‌ماند که طبق فرض سوال در سلول‌های سوختی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین به ازای تولید هر ۳ مول گاز هیدروژن از واکنش گاه (۱)، ۲ گرم از آن باقی می‌ماند. برای حل این مسئله ابتدا تعداد مول‌های هیدروژن تولیدشده از واکنش (۱) را به ازای تولید هر کیلوگرم هیدروژن اضافی به دست می‌آوریم:

$$? \text{ mol H}_2 = 1000 \text{ g H}_2 (\text{اضافی}) \times \frac{3 \text{ mol H}_2}{2 \text{ g H}_2 (\text{اضافی})} = 1500 \text{ mol H}_2$$

اکنون از روی مول‌های گازی  $\text{H}_2$  تولیدشده در واکنش اول، جرم متانول را در واکنش دوم حساب می‌کنیم:

$$\begin{aligned} ? \text{ kg CH}_3\text{OH} &= 1500 \text{ mol H}_2 \times \underbrace{\frac{2 \text{ mol H}_2}{3 \text{ mol H}_2}}_{\text{واکنش (۲)}} \times \frac{1 \text{ mol CH}_3\text{OH}}{2 \text{ mol H}_2} \times \frac{32 \text{ g CH}_3\text{OH}}{1 \text{ mol CH}_3\text{OH}} \\ &\times \underbrace{\frac{1 \text{ kg CH}_3\text{OH}}{1000 \text{ g CH}_3\text{OH}}}_{\text{واکنش (۱)}} = 16 \text{ g CH}_3\text{OH} \end{aligned}$$

بررسی گزینه‌ها:

گزینه ۱: با کاهش فشار، تعادل در جهت تولید مول گاز بیشتر (یعنی در جهت رفت) جابه‌جا می‌شود در این شرایط سرعت واکنش رفت نسبت به واکنش برگشت بیشتر است.

گزینه ۲: ثابت تعادل در یک واکنش تنها وابسته به دما است و فقط با دما تغییر می‌کند.

گزینه ۳: با خروج مقداری  $\text{AB}$  از سامانه، تعادل در جهت تولید این ماده (یعنی در جهت برگشت) جابه‌جا می‌شود، اما اثر کاهش غلظت این ماده به طور کامل جبران نمی‌شود، به طوری که در تعادل جدید غلظت  $\text{AB}$  نسبت به تعادل اولیه کمتر است.

گزینه ۴: چنانچه با افزایش دما مقدار  $\text{B}$  افزایش یابد، نشان می‌دهد تعادل در جهت رفت جابه‌جا شده است. از طرف دیگر می‌دانیم با افزایش دما در یک سامانه تعادلی، تعادل در جهت مصرف گرما (گرماگیر) جابه‌جا می‌شود بنابراین این واکنش در جهت رفت گرماگیر است (نه گرماده!).

باتوجه به جدول، با افزایش دما مقدار  $K$  کاهش یافته است بنابراین تعادل گرماده است. بررسی گزینه‌ها:

گزینه ۱: واکنش گرماده است بنابراین  $\Delta H$  آن منفی است.

گزینه ۲: طبق اصل لوشاتلیه، با افزایش دما واکنش در جهت مصرف فرآورده‌ها (جهت برگشت) جابه‌جا می‌شود.

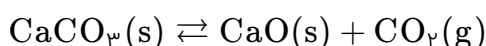
گزینه ۳: افزایش دما سبب افزایش سرعت هر دو واکنش رفت و برگشت می‌شود (که مستقل از گرماده بودن یا گرماگیر بودن واکنش است). اما آنچه سبب جابه‌جایی تعادل بر اثر افزایش دما می‌شود افزایش سرعت بیشتر واکنش برگشت نسبت به رفت بر اثر افزایش دما می‌باشد.

گزینه ۴:  $\Delta H$  واکنش از رابطه  $\Delta H = E_a - E'_a$  به دست می‌آید.

$$\Delta H < 0 \rightarrow E_a - E'_a < 0 \rightarrow E_a < E'_a$$

انرژی فعال‌سازی در جهت رفت کمتر از مقدار آن در جهت برگشت است.

معادله واکنش تعادلی به صورت زیر است:



$$k = [\text{CO}_2] \Rightarrow 10^{-2} = [\text{CO}_2] \Rightarrow [\text{CO}_2] = 0.01 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$\text{CO}_2 \text{ های شمار مول های } = 0.01 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 3 \text{ L} = 0.03 \text{ mol CO}_2$$

$$\text{CO}_2 \text{ های شماره مولکول های } = 0.03 \times (6.022 \times 10^{23}) = 1.8 \times 10^{22}$$

طبق اصل لوشاتلیه، واکنش تعادلی با کاهش غلظت یکی از مواد شرکت‌کننده در دمای ثابت، در جهتی پیش می‌رود که تا حد امکان مقداری از آن را تولید کند و به تعادل جدید برسد اما در این جابه‌جایی،  $K$  ثابت می‌ماند؛ بنابراین با کاهش غلظت یکی از فرآورده‌ها (مواد سمت راست معادله) واکنش درجهت رفت پیش می‌رود تا به تعادل جدید برسد.

بررسی سایر عبارت‌ها:

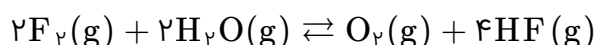
الف) بیشتر پلاستیک‌ها یا پلیمرهای ساختگی زیست‌تخریب‌ناپذیرند.

ت) چگالی کم از ویژگی‌های پلاستیک‌ها است.

افزایش فشار تعادل را به سمت راست که شمار مول‌های گازی کمتر است جابه‌جا می‌کند. (در این واکنش تعادلی پنج مول واکنش‌دهنده گازی به چهار مول فراورده گازی تبدیل می‌شود)  
 دو برابر کردن غلظت  $O_2(g)$  یا  $HCl(g)$  تعادل را به سمت راست جابه‌جا می‌کند اما باتوجه به عبارت ثابت تعادل که غلظت  $HCl(g)$  به توان ۴ می‌رسد، دو برابر کردن غلظت  $HCl(g)$  تأثیر بیشتری بر جابه‌جایی تعادل به سمت راست دارد.

$$K = \frac{[H_2O]^2 [Cl_2]^2}{[HCl]^4 [O_2]}$$

معادله موازنه شده به شکل زیر است:



$$\text{غلظت‌های تعادلی} \begin{cases} [F_2] = \frac{2 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 1 \text{ mol.L}^{-1} & , \quad [H_2O] = \frac{1 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0.5 \text{ mol.L}^{-1} \\ [O_2] = \frac{0.5}{2} = 0.25 \text{ mol.L}^{-1} & , \quad [HF] = \frac{0.2}{2} = 0.1 \text{ mol.L}^{-1} \end{cases}$$

$$K = \frac{[O_2][HF]^4}{[F_2]^2 [H_2O]^2} \Rightarrow K = \frac{(0.25) \times (0.1)^4}{(1)^2 \times (0.5)^2} \Rightarrow K = 1 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$$

باتوجه به نمودار، واکنش گرماده و  $\Delta H < 0$  است.

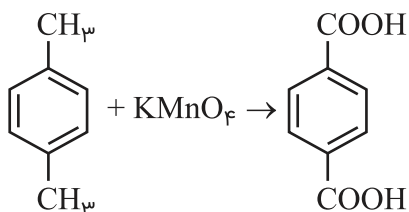


$$\text{مقدار NO مصرف شده} = 100 \text{ km} \times \frac{(1/0.4 - 0/0.4) \text{ g}}{1 \text{ km}} = 100 \text{ g NO}$$

$$\Rightarrow Q = 100 \text{ g NO} \times \frac{1 \text{ mol NO}}{30 \text{ g NO}} \times \frac{-180 \text{ kJ}}{2 \text{ mol NO}} = -300 \text{ kJ}$$

۳۰۰ کیلوژول گرما در مبدل کاتالیستی تولید می‌شود.

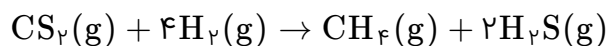
ترفتالیک اسید از واکنش اکسایش پارازایلن در حضور ماده اکسندۀ  $KMnO_4$  به دست می‌آید.







ابتدا معادله واکنش را موازنه کرده و سپس با قرار دادن غلظت‌های تعادلی در عبارت ثابت تعادل،  $K$  را حساب می‌کنیم:



$$\text{غلظت‌های تعادلی} \begin{cases} [\text{CS}_2] = \frac{0/1}{5} = 0/02 \text{ mol.L}^{-1}, [\text{H}_2] = \frac{0/1}{5} = 0/02 \text{ mol.L}^{-1} \\ [\text{CH}_4] = \frac{0/5}{5} = 0/1 \text{ mol.L}^{-1}, [\text{H}_2\text{S}] = \frac{1}{5} = 0/2 \text{ mol.L}^{-1} \end{cases}$$

$$K = \frac{[\text{CH}_4][\text{H}_2\text{S}]^2}{[\text{CS}_2][\text{H}_2]^4} = \frac{(0/1) \times (0/2)^2}{(0/02) \times (0/02)^4} \Rightarrow K = 1/25 \times 10^6$$

بررسی گزینه‌ها:

گزینه ۱:

$$K = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]} = \frac{\left(\frac{0/68}{10}\right)^2}{\left(\frac{0/32}{10}\right)^2 \left(\frac{0/16}{10}\right)} = 282/2 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{L}$$

گزینه ۲: کاهش حجم موجب افزایش فشار و جابه‌جایی تعادل به سمت تعداد مول گازی کمتر یعنی درجهت رفت می‌شود.

گزینه ۳: لازم است غلظت  $\text{O}_2$  را در ظرف ۱ (حجم ۱۰ لیتر) با ظرف ۲ (حجم ۱ لیتر) مقایسه کنیم:

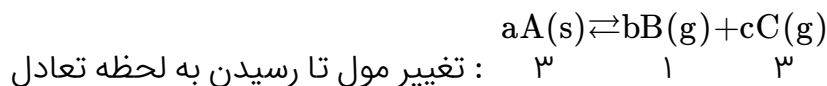
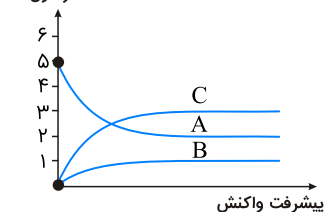
$$\begin{cases} 1 \text{ ظرف} : [\text{O}_2] = \frac{0/16 \text{ mol}}{10 \text{ L}} = 0/016 \text{ mol.L}^{-1} \\ 2 \text{ ظرف} : [\text{O}_2] = \frac{0/085 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 0/085 \text{ mol.L}^{-1} \end{cases} \Rightarrow \frac{2 \text{ ظرف} [\text{O}_2]}{1 \text{ ظرف} [\text{O}_2]} = \frac{0/085}{0/016} = 5/3 \text{ برابر}$$

گزینه ۴: افزایش فشار معادل کاهش حجم ظرف است. پس می‌بایست غلظت  $\text{SO}_3$  را در ظرف ۱ و ۲ با هم مقایسه کنیم:

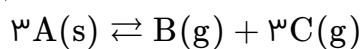
$$\begin{cases} 1 \text{ ظرف} : [\text{SO}_3] = \frac{0/68 \text{ mol}}{10 \text{ L}} = 0/068 \text{ mol.L}^{-1} \\ 2 \text{ ظرف} : [\text{SO}_3] = \frac{0/83 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 0/83 \text{ mol.L}^{-1} \end{cases} \Rightarrow \frac{2 \text{ ظرف} [\text{SO}_3]}{1 \text{ ظرف} [\text{SO}_3]} = \frac{0/83}{0/068} = 12/2 \text{ برابر}$$

ابتدا باتوجه به نمودار واکنش و تغییرات مول هر یک از مواد تا رسیدن به لحظه تعادل (لحظه‌ای که منحنی‌ها افقی می‌شوند)، معادله موازنه شده واکنش را به دست می‌آوریم:

شمار مول ها



از آنجا که نسبت قدرمطلق تغییرات مول مواد در یک بازه زمانی مشخص با نسبت ضرایب استوکیومتری آن‌ها برابر است بنابراین معادله موازنه شده واکنش به صورت زیر خواهد بود:



مطابق نمودار، مقدار مول ماده B و C در لحظه تعادل به ترتیب برابر ۱ و ۳ مول است بنابراین باتوجه به حجم ظرف واکنش (۱۰ لیتر)، غلظت تعادلی B و C برابر است با:

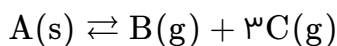
$$[B] = \frac{1}{10} \text{mol.L}^{-1}, \quad [C] = \frac{3}{10} \text{mol.L}^{-1}$$

توجه داشته باشید که ماده A جامد است و در رابطه ثابت تعادل وارد نمی‌شود.

$$K = [B][C]^3 \Rightarrow K = (0/1)(0/3)^3 = ۲/۷ \times ۱۰^{-۳} \text{mol}^4.\text{L}^{-۴}$$

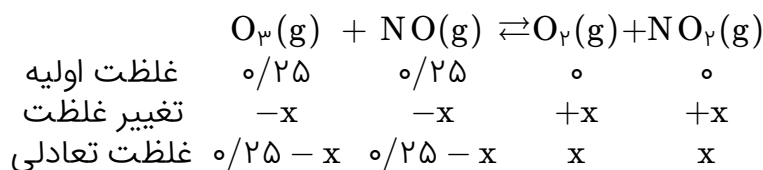
یک نکته جالب:

همان‌طور که ملاحظه می‌کنید در هر ۴ گزینه، یکای ثابت تعادل متفاوت است بنابراین می‌توانیم بدون محاسبه K و فقط براساس معادله موازنه شده واکنش، یکای ثابت تعادل را به دست آوریم و از روی آن گزینه صحیح را انتخاب کنیم.



$$K = [B][C]^3 \Rightarrow \text{یکای } K = (\text{mol.L}^{-1})(\text{mol.L}^{-1})^{-۳} = \text{mol}^۴.\text{L}^{-۴}$$

به محض باز شدن شیر رابط و مخلوط شدن دو گاز، حجم در اختیار گازها از یک لیتر به دو لیتر افزایش می‌یابد پس غلظت آغازی گازهای  $O_3$  و  $NO$  نصف می‌شود یعنی از  $0/5$  به  $0/25$  مول بر لیتر کاهش می‌یابد.

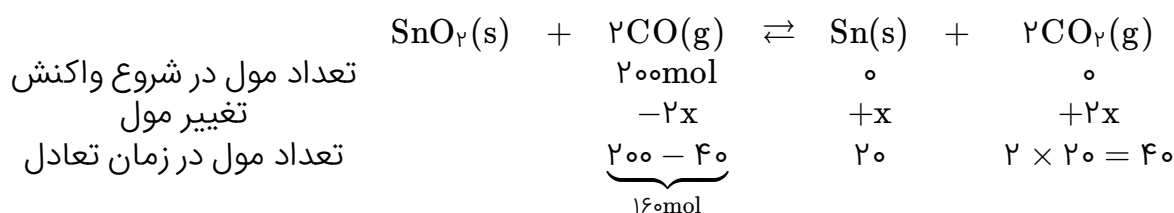
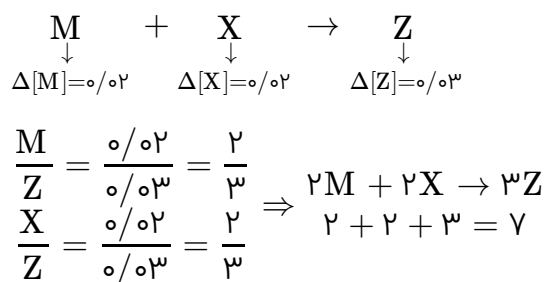


$$K = \frac{[O_2][NO_2]}{[O_3][NO]} \Rightarrow 64 = \frac{x^2}{(0/25 - x)^2} \Rightarrow 8 = \frac{x}{0/25 - x} \Rightarrow x = \frac{2}{9} \Rightarrow [O_2] = x = \frac{2}{9}$$

از طرفی چون حجم نهایی ظرف ۲ لیتر است، تعداد مول‌های  $O_2$  برابر است با:

$$? \text{ mol } O_2 = \frac{2}{9} \frac{\text{mol}}{L} \times 2L = \frac{4}{9} \text{ mol}$$

باتوجه به نمودار واکنش را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:



$$K = \frac{[CO_2]^2}{[CO]^2} = \frac{[40]^2}{[160]^2} = \left[ \frac{40}{160} \right]^2 = \left[ \frac{1}{4} \right]^2 = \frac{1}{16} = 0/0625$$

چون تعداد مول‌های گازی دو طرف معادله مساوی است، پس نیازی نیست که غلظت‌ها در یک لیتر محاسبه شود.

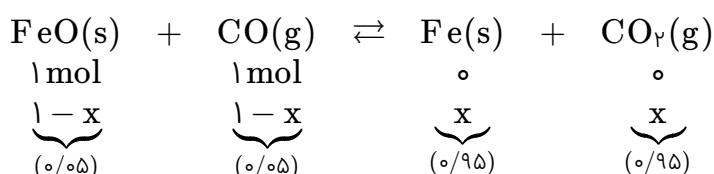
$$5/6 \text{ kg CO} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ mol}}{28 \text{ g}} = 200 \text{ mol}$$

$$2/4 \text{ kg Sn} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ mol}}{120} = 20 \text{ mol}$$



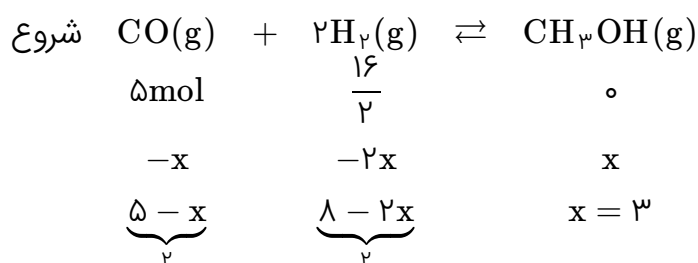
$$K = \frac{[\text{AX}]^2}{[\text{A}_2][\text{X}_2]} = \frac{\left(\frac{4}{100}\right)^2}{\left(\frac{8}{100}\right)\left(\frac{8}{100}\right)} = 2/5 \times 10^{-3}$$

چون مجموع ضرایب سمت راست و چپ واکنش برابرند پس نیازی به تقسیم تعداد مول مواد حجم نیست. از طرف دیگر با نصف شدن حجم ظرف واکنش، فشار افزایش می‌یابد ولی چون تعداد مول‌های گازی دو طرف واکنش برابرند، تغییر فشار تاثیری در جابجایی تعادل ندارد.



$$K = \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{CO}]} = \frac{0/95}{0/05} = 19$$

$$\text{جرم Fe تولیدشده} = (0/95) \times (56) = 53/2 \text{ g}$$



$$x = \frac{96}{32} = 3 \quad \text{تعداد مول‌های متانول}$$

$$\bar{R}_{\text{H}_2} = \frac{\frac{6}{5}}{30 \times 60} = 6/67 \times 10^{-6} \text{ mol.L}^{-1}.\text{S}^{-1}$$

$$K = \frac{\frac{3}{5}}{\left(\frac{2}{5}\right)^2 \cdot \left(\frac{2}{5}\right)} = 9/375 \text{ L}^2.\text{mol}^{-2}$$

عبارت‌های اول و دوم صحیح است. باتوجه به اینکه مواد جامد در عبارت ثابت تعادل نوشته نمی‌شوند ثابت تعادل برابر  $K = \frac{[CO_2]}{[CO]}$  می‌باشد. همچنین در تعادل گرماده، کاهش دما باعث جابه‌جایی تعادل به سمت رفت و در نتیجه افزایش مقدار  $K$  می‌گردد.

بررسی سایر عبارت‌ها:

عبارت سوم: به دلیل عدم حضور  $Ni$  در ثابت تعادل، کاهش مقدار آن باعث جابه‌جایی تعادل نمی‌گردد.

عبارت چهارم: با کاهش حجم ظرف، فشار تغییر می‌کند، اما ثابت تعادل که تنها وابسته به دما است دچار تغییر نمی‌گردد. البته باتوجه به یکسان بودن مول گازی در دو طرف واکنش، تغییر فشار در این واکنش اثری روی تعادل نداشته و آن را جابه‌جا نمی‌کند.

|             |  |          |       |      |
|-------------|--|----------|-------|------|
|             | $2CO(g) + 2NO(g) \rightleftharpoons 2CO_2(g) + N_2(g)$ |          |       |      |
| غلظت اولیه  | ۲  | ۳        | ۰     | ۰    |
| تغییر غلظت  | $-2x$  | $-2x$    | $+2x$ | $+x$ |
| غلظت تعادلی | $2 - 2x$   | $3 - 2x$ | $+2x$ | $+x$ |

مقدار تعادلی  $N_2$  برابر ۴۲ گرم می‌باشد بنابراین:

$$[N_2] = x = \frac{42}{2} \Rightarrow x = 0.75 \Rightarrow K = \frac{[N_2][CO_2]^2}{[NO]^2[CO]^2}$$

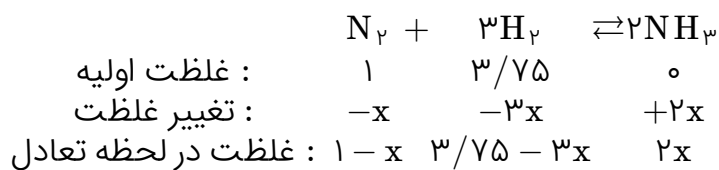
$$K = \frac{(0.75) \times (1/5)^2}{(1/5)^2 \times (0.5)^2} = 3 \text{ L.mol}^{-1}$$

مجموع مول گازهای موجود در واکنش را نیز با استفاده از مجموع غلظت‌های تعادلی به دست می‌آوریم:

$$\text{مجموع غلظت‌های تعادلی} = 0.5 + 1/5 + 1/5 + 0.75 = 4/25 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$\Rightarrow \text{مجموع مول گازها در لحظه تعادل} = 4/25 \times 2 = 8/5 \text{ mol}$$

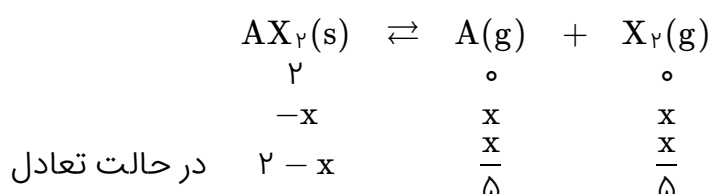
از آنجا که حجم ظرف یک لیتر است، مول هر ماده با غلظت آن برابر است.



$$N_2 \text{ مصرف شده} = 1 \times \frac{25}{100} = 0.25 \Rightarrow x = 0.25$$

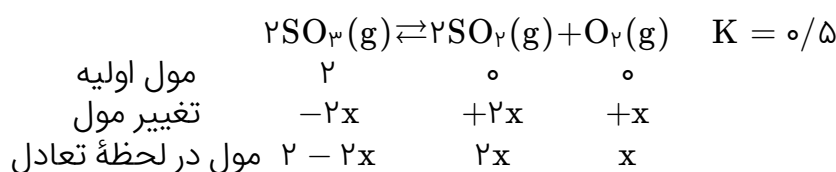
$$[N_2] = 1 - 0.25 = 0.75 \quad [H_2] = 3/75 - 3(0.25) = 0 \quad [NH_3] = 2(0.25) = 0.5$$

$$K = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3} \Rightarrow K = \frac{(0.5)^2}{(0.75)(0)^3} = 1/23 \times 10^{-2}$$



$$K = [A(g)][X_2(g)] \Rightarrow K = \left(\frac{x}{5}\right)\left(\frac{x}{5}\right) = \frac{x^2}{25}$$

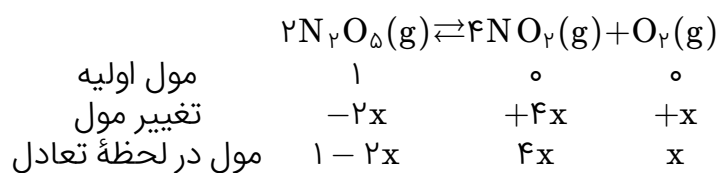
$$\frac{K_{300}}{K_{100}} = \frac{10^{-1}}{10^{-4}} = 1000 = \frac{x_{(300)}^2}{x_{(100)}^2} \xrightarrow{\text{جذر}} 31.6 = \frac{x_{(300)}}{x_{(100)}}$$



توجه: حجم ظرف یک لیتر است بنابراین مقدار مول هر ماده در لحظه تعادل با غلظت آن برابر است.

$$K = \frac{[SO_2]^2[O_2]}{[SO_3]^2} \Rightarrow 0.5 = \frac{(2x)^2(x)}{(2-2x)^2} \Rightarrow 4x^3 + 4x - 2x^2 - 2 = 0 \Rightarrow 4x(x^2 + 1) = 2(x^2 + 1) \Rightarrow x = \frac{1}{2}$$

$$\text{تعداد مول های } O_2 \text{ در لحظه تعادل} = x = \frac{1}{2} \text{ mol}$$



$$\text{تعداد مول‌های } \text{O}_2 \text{ در تعادل} = x = 0.5 \Rightarrow [\text{O}_2] = \frac{x}{V(\text{L})} = \frac{0.5}{2} = \frac{1}{4}$$

$$[\text{NO}_2] = \frac{4x}{V(\text{L})} = \frac{2}{2} = 1, \quad [\text{N}_2\text{O}_5] = \frac{1 - 2x}{V(\text{L})} = \frac{1}{2}$$

$$K = \frac{[\text{NO}_2]^4 [\text{O}_2]}{[\text{N}_2\text{O}_5]^2} \Rightarrow K = \frac{(1)^4 \left(\frac{1}{4}\right)}{\left(\frac{1}{2}\right)^2} = 1$$

پس از گذشت ۶۰ ثانیه از واکنش و برقراری تعادل، ۰/۵ مول گاز اکسیژن تولید شده است، بنابراین:

$$\Delta n_{\text{O}_2} = 0.5 \text{ mol} \Rightarrow \Delta[\text{O}_2] = \frac{0.5}{2} = 0.25 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$\bar{R}_{\text{واکنش}} = \bar{R}_{\text{O}_2} = \frac{\Delta[\text{O}_2]}{\Delta t} = \frac{0.25 \text{ mol.L}^{-1}}{1 \text{ min}} = 0.25 \text{ mol.L}^{-1}.\text{min}^{-1}$$

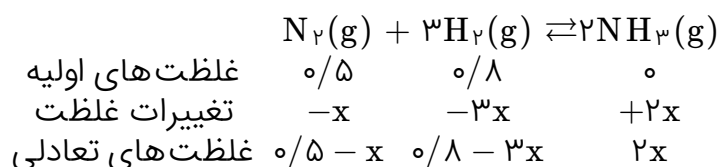


$$N_2 \text{ مول اولیه} : 1 \text{ مول} \Rightarrow [N_2]_{\text{اولیه}} = \frac{1 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0.5 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$H_2 \text{ مول اولیه} = 3/2 \text{ g } H_2 \times \frac{1 \text{ mol } H_2}{2 \text{ g } H_2} = 1/6 \text{ mol } H_2 \Rightarrow [H_2]_{\text{اولیه}} = \frac{1/6 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0.083 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$NH_3 \text{ مول تعادلی} = 6/8 \text{ g } NH_3 \times \frac{1 \text{ mol } NH_3}{17 \text{ g } NH_3} = 0.44 \text{ mol } NH_3$$

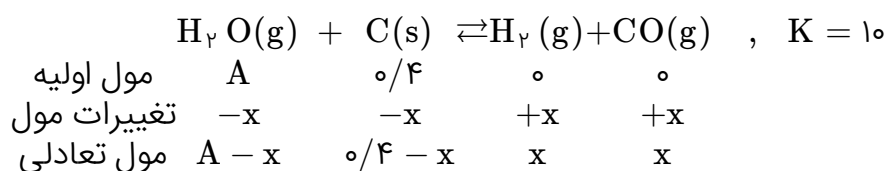
$$\Rightarrow [NH_3]_{\text{تعادلی}} = \frac{0.44 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0.22 \text{ mol.L}^{-1}$$



$$[NH_3]_{\text{تعادلی}} = 0.22 \Rightarrow 2x = 0.22 \Rightarrow x = 0.11 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} [N_2]_{\text{تعادلی}} = 0.5 - 0.11 = 0.39 \text{ mol.L}^{-1} \\ [H_2]_{\text{تعادلی}} = 0.083 - 0.33 = 0.053 \text{ mol.L}^{-1} \end{cases}$$

$$K = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3} = \frac{(0.22)^2}{0.39 \times (0.053)^3} = \frac{4 \times 10^{-2}}{4 \times 10^{-1} \times 5^3 \times 10^{-3}} = 0.8 \text{ mol}^{-2} \cdot \text{L}^{-2}$$



$$\text{مول تعادلی CO} = ۰/۲ \Rightarrow x = ۰/۲ \Rightarrow \begin{cases} \text{H}_2\text{O : مول تعادلی } A - ۰/۲ \\ \text{H}_2 \text{ : مول تعادلی } ۰/۲ \end{cases}$$

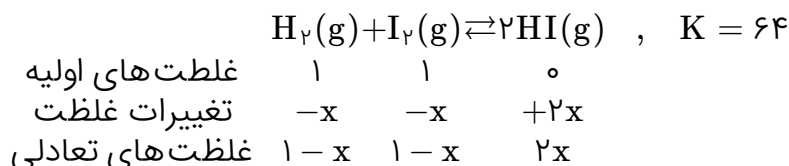
غلظت‌های تعادلی را می‌یابیم و در ثابت تعادل جایگذاری می‌کنیم.

$$\text{محاسبه غلظت‌های تعادلی : } \begin{cases} [\text{H}_2] = \frac{۰/۲}{۲} = ۰/۱ \\ [\text{CO}] = \frac{۰/۲}{۲} = ۰/۱ \\ [\text{H}_2\text{O}] = \frac{A - ۰/۲}{۲} = \frac{A}{۲} - ۰/۱ \end{cases}$$

$$K = \frac{[\text{H}_2][\text{CO}]}{[\text{H}_2\text{O}]} \Rightarrow 10 = \frac{۰/۱ \times ۰/۱}{\frac{A}{۲} - ۰/۱} \Rightarrow 5A = 1/۰۱ \Rightarrow A = ۰/۲۰۲ \text{ mol}$$

$$\text{جرم اولیه بخار آب} = ۰/۲۰۲ \text{ mol H}_2\text{O} \times \frac{18 \text{ g H}_2\text{O}}{1 \text{ mol H}_2\text{O}} = ۳/۶۴ \text{ g H}_2\text{O}$$

معادله واکنش را به شکل زیر می‌نویسیم، در ضمن توجه داشته باشید حجم محلول یک لیتر است.



$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} \Rightarrow \frac{(2x)^2}{(1-x)(1-x)} = 64 \xrightarrow{\text{از طرفین جذر می‌گیریم}} \frac{2x}{1-x} = \pm 8 \rightarrow \begin{cases} x = ۰/۸ \text{ قابل قبول} \\ x = \frac{۴}{۳} \text{ غیر قابل قبول} \end{cases}$$

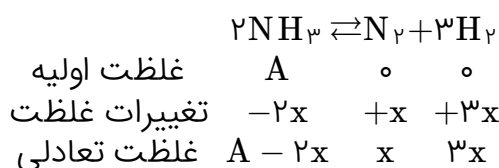
$$\text{HI تعادلی} = 2x = 2(۰/۸) = ۱/۶ \text{ mol}$$

$$\text{جرم تعادلی HI} = ۱/۶ \text{ mol HI} \times \frac{128 \text{ g HI}}{1 \text{ mol HI}} = ۲۰۴/۸ \text{ g HI}$$

$$? \text{ mol N}_2 = 1/2 \text{ mol H}_2 \times \frac{1 \text{ mol N}_2}{3 \text{ mol H}_2} = 0/6 \text{ mol H}_2$$

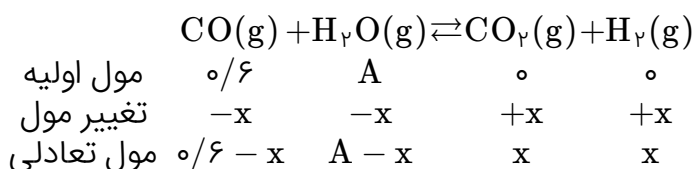
$$\begin{cases} [\text{H}_2] = \frac{1/2 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0/6 \text{ mol.L}^{-1} \\ [\text{N}_2] = \frac{0/6 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 0/2 \text{ mol.L}^{-1} \end{cases}$$

$$K = \frac{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3}{[\text{NH}_3]^2} \Rightarrow 12 = \frac{(0/2) \times (0/6)^3}{[\text{NH}_3]^2} \Rightarrow [\text{NH}_3]^2 = \frac{6^3 \times 2 \times 10^{-6}}{12} = 36 \times 10^{-6} \\ \Rightarrow [\text{NH}_3] = 0/06 \text{ mol.L}^{-1}$$



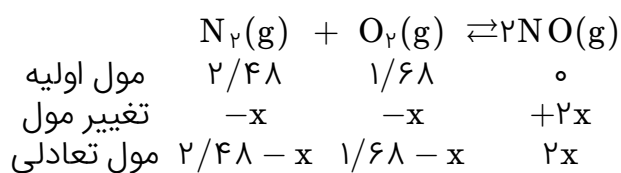
$$[\text{N}_2] = 0/2 \Rightarrow x = 0/2, [\text{NH}_3] = 0/06 \Rightarrow A - 2(0/2) = 0/06 \Rightarrow A = 0/46 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$\text{NH}_3 \text{ مول اولیه} = \underbrace{0/46}_{\text{غلظت اولیه}} \times \underbrace{2}_{\text{حجم ظرف}} = 0/92 \text{ mol}$$



$$\text{CO}_2 \text{ مول تعادلی} = 0/3 \Rightarrow x = 0/3 \Rightarrow \begin{cases} [\text{CO}_2] = \frac{0/3}{3} = 0/1 \\ [\text{H}_2] = \frac{0/3}{3} = 0/1 \\ [\text{H}_2\text{O}] = \frac{A - 0/3}{3} = \frac{A}{3} - 0/1 \\ [\text{CO}] = \frac{0/3}{3} = 0/1 \end{cases}$$

$$K = \frac{[\text{CO}_2][\text{H}_2]}{[\text{CO}][\text{H}_2\text{O}]} = \frac{0/1 \times 0/1}{0/1 \times (\frac{A}{3} - 0/1)} = 10 \Rightarrow (\frac{A}{3} - 0/1) = 0/1 \Rightarrow \frac{A}{3} = 0/11 \Rightarrow A = 0/33 \text{ mol}$$



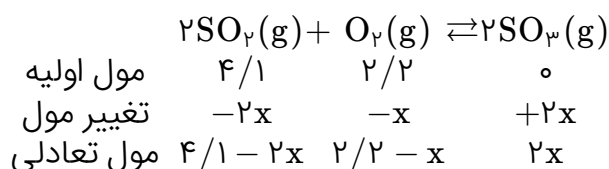
در نظر گرفتن حجم ظرف واکنش بی‌تأثیر است چون تعداد مول گازی در دو طرف معادله یکسان است و طی محاسبات از صورت و مخرج کسر ثابت تعادل، ساده می‌شود.

$$NO \text{ تعادلی} = 2x = 0/08 \Rightarrow x = 0/04$$

$$N_2 \text{ تعادلی} = 2/48 - x = 2/48 - 0/04 = 2/44 \text{ mol}$$

$$O_2 \text{ تعادلی} = 1/68 - x = 1/68 - 0/04 = 1/64 \text{ mol}$$

$$K = \frac{[NO]^2}{[N_2][O_2]} = \frac{(0/08)^2}{2/44 \times 1/64} = 1/6 \times 10^{-3}$$



$$SO_3 \text{ تعادلی} = 2x = 4 \Rightarrow x = 2 \text{ mol}$$

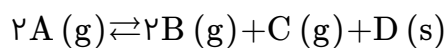
$$[SO_3]_{\text{تعادلی}} = \frac{4 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 2 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[SO_2]_{\text{تعادلی}} = \frac{(4/1 - 4)}{2 \text{ L}} = 0/05 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[O_2]_{\text{تعادلی}} = \frac{(2/2 - 2)}{2 \text{ L}} = 0/1 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$K = \frac{[SO_3]^2}{[SO_2]^2 [O_2]} = \frac{(2)^2}{(0/05)^2 (0/1)} = 1/6 \times 10^6 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{L}$$

چون D جامد است در رابطه ثابت تعادل قرار نمی‌گیرد. ضمناً چون حجم ظرف یک لیتر است می‌توان به جای غلظت، مول ماده را قرار داد.

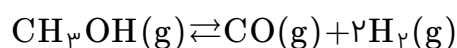


|            |      |     |    |    |
|------------|------|-----|----|----|
| مول اولیه  | ۱    | ۰   | ۰  | ۰  |
| تغییر مول  | -۲x  | +۲x | +x | +x |
| مول تعادلی | ۱-۲x | ۲x  | x  | x  |

$$2x = \frac{20}{100} \times 1 \Rightarrow x = 0.1$$

$$K = \frac{[B]^2[C]}{[A]^2} \Rightarrow K = \frac{[0.2]^2[0.1]}{[0.8]^2} = 6/25 \times 10^{-3}$$

$$[CH_3OH]_{\text{اولیه}} = \frac{6 \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 3 \text{ mol.L}^{-1}$$



|                    |     |    |     |
|--------------------|-----|----|-----|
| غلظت اولیه         | ۳   | ۰  | ۰   |
| تغییر غلظت         | -x  | +x | +۲x |
| غلظت در لحظه تعادل | ۳-x | x  | ۲x  |

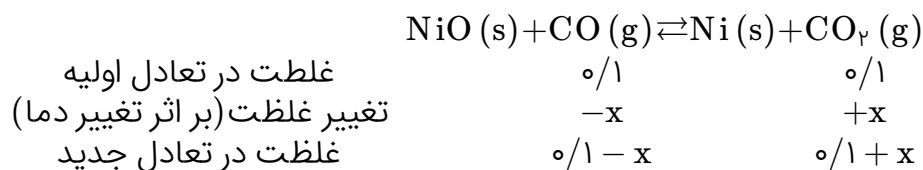
$$[CH_3OH]_{\text{مصرف شده}} = 3 \times \frac{80}{100} = 2.4 \text{ mol.L}^{-1} \Rightarrow \underbrace{x}_{\text{متانول تجزیه شده}} = 2/4 \text{ mol.L}^{-1}$$

حال، غلظت تعادلی گونه‌های موجود در ظرف و ثابت تعادل واکنش را به دست می‌آوریم:

$$[CH_3OH] = 3 - x = 3 - 2/4 = 5/6 \quad [CO] = x = 2/4 \quad [H_2] = 2x = 2(2/4) = 4/8$$

$$K = \frac{[CO][H_2]^2}{[CH_3OH]} = \frac{(2/4) \times (4/8)^2}{(5/6)} \Rightarrow K = 92/16$$

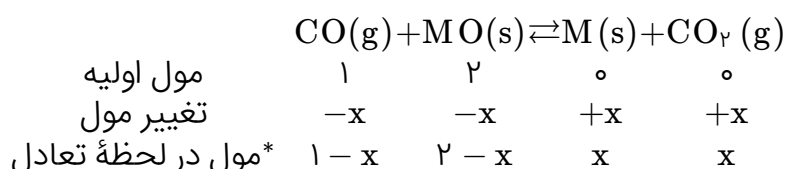
با افزایش دما، مقدار عددی  $K$  بزرگ‌تر شده است. این نشان می‌دهد با افزایش دما واکنش در جهت رفت جابه‌جا شده است. بنابراین می‌توان نوشت:



از آنجاکه  $\text{Ni}$  و  $\text{NiO}$  جامدند و غلظت مواد جامد خالص ثابت است، لذا در رابطه ثابت تعادل نوشته نمی‌شوند.

$$K = \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{CO}]} \Rightarrow 99 = \frac{\circ/1 + x}{\circ/1 - x} \Rightarrow x = \circ/\circ98$$

$$[\text{CO}_2] = \circ/1 + x \Rightarrow [\text{CO}_2] = \circ/1 + \circ/\circ98 = \circ/198 \text{ mol.L}^{-1}$$

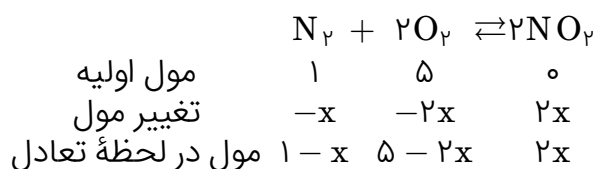


\* چون حجم ظرف یک لیتر است، تعداد مول هر ماده در لحظه تعادل با غلظت آن ماده برابر است. در رابطه ثابت تعادل، غلظت ماده جامد و مایع خالص وارد نمی‌شود؛ بنابراین:

$$K = \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{CO}]} \Rightarrow \circ/25 = \frac{x}{1 - x} \Rightarrow \circ/25 - \circ/25x = x \Rightarrow x = \frac{\circ/5}{1/5} = \circ/2$$

$$\begin{cases} \text{مول MO در لحظه تعادل} = 2 - x = 2 - \circ/2 = 1/8 \text{ mol} \\ \text{مول M در لحظه تعادل} = x = \circ/2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{\text{mol MO}}{\text{mol M}} = \frac{1/8}{\circ/2} = 9$$

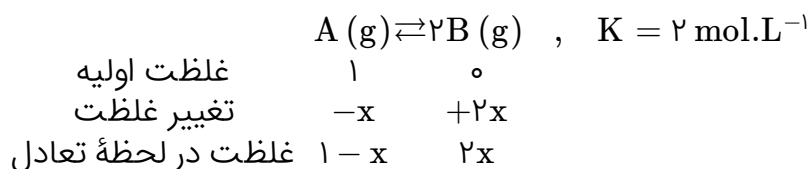


تا رسیدن به لحظه تعادل به اندازه ۵۰٪ از گاز نیتروژن ( $1 \times \frac{50}{100} = 0/5$ ) مصرف می‌شود؛ بنابراین:

$$N_2 \text{ مصرف شده} = x = 0/5$$

$$\begin{cases} \text{mol } N_2 = 0/5 \Rightarrow [N_2] = \frac{0/5 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 0/5 \text{ mol.L}^{-1} \\ \text{mol } O_2 = 5 - 2x = 5 - 1 = 4 \Rightarrow [O_2] = \frac{4 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 4 \text{ mol.L}^{-1} \\ \text{mol } NO_2 = 2x = 1 \Rightarrow [NO_2] = \frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 1 \text{ mol.L}^{-1} \end{cases}$$

$$K = \frac{[NO_2]^2}{[N_2][O_2]^2} = \frac{(1)^2}{(0/5)(4)^2} = \frac{1}{8} = 0/125 \text{ L.mol}^{-1}$$

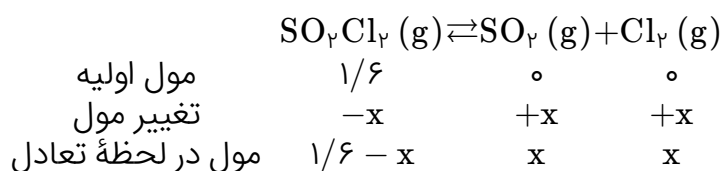


$$K = \frac{[B]^2}{[A]} \Rightarrow 2 = \frac{(2x)^2}{1-x} \Rightarrow 2 = \frac{4x^2}{1-x} \Rightarrow 1 = \frac{2x^2}{1-x} \Rightarrow 2x^2 + x - 1 = 0$$

$$x_1, x_2 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-1 \pm \sqrt{1^2 - 4(2)(-1)}}{4} = \frac{-1 \pm \sqrt{9}}{4} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = \frac{1}{2} \\ x_2 = -1 \end{cases} \text{ (غقق)}$$

بنابراین در این واکنش تا رسیدن به لحظه تعادل، به مقدار  $0/5 \text{ mol.L}^{-1}$  از ماده A مصرف می‌شود. اکنون بازده درصدی واکنش را با استفاده از رابطه زیر حساب می‌کنیم:

$$\text{بازده درصدی} = \frac{\text{مقدار مصرف شده یک واکنش دهنده}}{\text{مقدار اولیه آن واکنش دهنده}} \times 100 \Rightarrow \text{بازده درصدی} = \frac{0/5 \text{ mol.L}^{-1}}{1 \text{ mol.L}^{-1}} \times 100 = 50\%$$



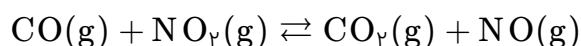
$$\text{حجم ظرف } 2 \text{ لیتر است، بنابراین غلظت هر یک از گونه‌های شیمیایی موجود در تعادل برابر است با:}$$

$$(1/6 - x) + x + x = 2/4 \Rightarrow x = 0/8$$

$$[\text{SO}_2\text{Cl}_2] = \frac{(1/6 - x) \text{ mol}}{2 \text{ L}} = \frac{1/6 - 0/8}{2} = 0/4 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[\text{SO}_2] = [\text{Cl}_2] = \frac{x \text{ mol}}{2 \text{ L}} = \frac{0/8}{2} = 0/4 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$K = \frac{[\text{SO}_2][\text{Cl}_2]}{[\text{SO}_2\text{Cl}_2]} = \frac{0/4 \times 0/4}{0/4} = 0/4 \text{ mol.L}^{-1}$$

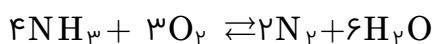


$$[\text{CO}] = \frac{0/9}{3} = 0/3 \quad [\text{NO}_2] = \frac{0/15}{3} = 0/05 \quad [\text{CO}_2] = \frac{0/45}{3} = 0/15$$

غلظت‌های مولار از تقسیم تعداد مول بر حجم گاز بر حسب واحد لیتر به دست می‌آید. چون به ازای هر مول  $\text{CO}_2$  یک مول  $\text{NO}$  به دست می‌آید پس غلظت مولار  $\text{NO}$  نیز  $0/15$  است.

$$K = \frac{[\text{CO}_2][\text{NO}]}{[\text{CO}][\text{NO}_2]} \Rightarrow K = \frac{0/15 \times 0/15}{0/3 \times 0/05} = 1/5$$





|             |      |      |     |     |
|-------------|------|------|-----|-----|
| غلظت اولیه  | ۱    | ۱    | ۰   | ۰   |
| تغییر غلظت  | -۴x  | -۳x  | +۲x | +۶x |
| غلظت تعادلی | ۱-۴x | ۱-۳x | ۲x  | ۶x  |

$$[\text{N}_2]_{\text{تعادلی}} = 2x = 0/2 \Rightarrow x = 0/1 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[\text{NH}_3]_{\text{تعادلی}} = 1 - 4x = 1 - 4 \times 0/1 = 0/6 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[\text{O}_2]_{\text{تعادلی}} = 1 - 3x = 1 - 3 \times 0/1 = 0/7 \text{ mol.L}^{-1}$$

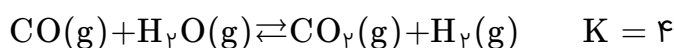
$$[\text{H}_2\text{O}]_{\text{تعادلی}} = 6x = 6 \times 0/1 = 0/6 \text{ mol.L}^{-1}$$

بنابراین در مخلوط تعادلی، غلظت مولار گاز اکسیژن از همه بیشتر است. (رد گزینه‌های ۱ و ۲)

$$K = \frac{[\text{N}_2]^2 [\text{H}_2\text{O}]^6}{[\text{O}_2]^3 [\text{NH}_3]^4} = \frac{(0/2)^2 (0/6)^6}{(0/6)^3 (0/7)^3} = 0/042 \text{ mol.L}^{-1} \quad (\text{رد گزینه ۴})$$

$$\text{H}_2\text{O} : 18 \text{ g.mol}^{-1} \quad \text{mol H}_2\text{O} = \frac{36}{18} = 2$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = \frac{2}{2} = 1 \text{ mol.L}^{-1} \quad [\text{CO}] = \frac{2}{2} = 1 \text{ mol.L}^{-1}$$



|                 |     |     |    |    |
|-----------------|-----|-----|----|----|
| غلظت‌های اولیه  | ۱   | ۱   | ۰  | ۰  |
| تغییرات غلظت    | -x  | -x  | +x | +x |
| غلظت‌های تعادلی | ۱-x | ۱-x | x  | x  |

$$K = \frac{[\text{CO}_2][\text{H}_2]}{[\text{CO}][\text{H}_2\text{O}]} \Rightarrow \frac{x \cdot x}{(1-x)(1-x)} = 4 \Rightarrow \frac{x^2}{(1-x)^2} = 4 \Rightarrow \left(\frac{x}{1-x}\right)^2 = 4$$

$$\frac{x}{1-x} = 2 \Rightarrow x = \frac{2}{3}$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = 1 - x = 1 - \frac{2}{3} = \frac{1}{3} \text{ mol.L}^{-1}$$

به ازای هر لیتر،  $\frac{1}{3}$  مول  $\text{H}_2\text{O}$  و در ظرف دو لیتری  $\frac{2}{3}$  مول  $\text{H}_2\text{O}$  وجود دارد.



موادی که غلظت ثابت دارند، جامد (s) و مایع خالص (l) در عبارت ثابت تعادل جایی ندارند. ضمن انحلال باریم سولفات در آب، کاتیون و آنیون به نسبت مولی برابر تولید می‌شوند.

$$K = [\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$$

$$6/4 \times 10^{-9} = x \cdot x \Rightarrow x^2 = 6/4 \times 10^{-9} \Rightarrow x^2 = 64 \times 10^{-10} \Rightarrow x = \pm 8 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$$

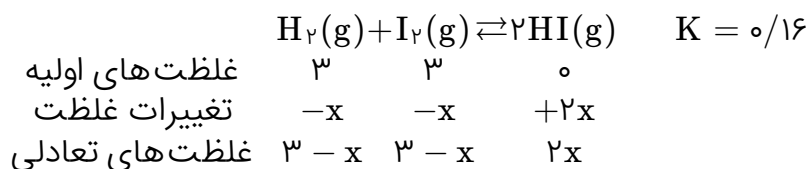
مقدار منفی x قابل قبول نیست، چون غلظت منفی مفهومی ندارد. پس غلظت هر کدام از آنیون یا کاتیون،  $8 \times 10^{-5}$  مول بر لیتر است و چون هر مول  $\text{BaSO}_4$  یک آنیون یا کاتیون تولید می‌کند در هر لیتر محلول،  $8 \times 10^{-5}$  مول نمک  $\text{BaSO}_4$  حل می‌شود.

$$\text{ppm} = \frac{\text{جرم حل‌شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 10^6$$

$$\text{BaSO}_4 \text{ جرم} : 8 \times 10^{-5} \times 233 = 1/864 \times 10^{-2} \text{ g}$$

$$\text{جرم محلول} \simeq \text{جرم آب} = 1000 \text{ g}$$

$$\text{ppm} = \frac{1/864 \times 10^{-2}}{10^3} \times 10^6 = 18/64$$



$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} \Rightarrow \frac{(2x)^2}{(3-x)(3-x)} = 0/16 \Rightarrow \left(\frac{2x}{3-x}\right)^2 = 0/4^2$$

$$\Rightarrow \frac{2x}{3-x} = \pm 0/4 \quad \text{مقدار منفی آن قابل قبول نیست}$$

$$\frac{2x}{3-x} = 0/4 \Rightarrow 2x = 1/2 - 0/4x \Rightarrow 2/4x = 1/2 \Rightarrow x = \frac{1}{2}$$

$$[\text{HI}] = 2x = 2\left(\frac{1}{2}\right) = 1 \text{ mol.L}^{-1} \Rightarrow \text{mol HI} = 1$$

تعداد مولکول‌های HI برابر ۱ مول یا عدد آووگادرو ( $6/022 \times 10^{23}$ ) است.



|                 |       |     |
|-----------------|-------|-----|
| غلظت‌های اولیه  | ۴     | ۰   |
| تغییرات غلظت    | -x    | +2x |
| غلظت‌های تعادلی | ۴ - x | 2x  |

$$[\text{N}_2\text{O}_4] = \frac{\text{تعداد مول}}{\text{تعداد لیتر}} = \frac{1 \text{ mol}}{2} = 0.5 \text{ mol.L}^{-1}$$

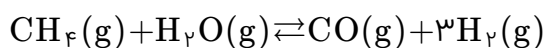
$$K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} \Rightarrow \frac{(2x)^2}{4-x} = 0.1 \Rightarrow 4x^2 = 0.1(4-x) \Rightarrow 4x^2 = 0.4 - 0.1x$$

$$\xrightarrow{\text{تقسیم دو طرف بر ۴ و مرتب‌سازی}} x^2 + 0.025x - 0.1 = 0 \Rightarrow (x - 0.1)(x + 1) = 0 \Rightarrow \begin{cases} x = 0.1 \\ x = -1 \end{cases} \text{ غیرقابل قبول}$$

غلظت منفی مفهوم ندارد و قابل قبول نیست.

$$[\text{N}_2\text{O}_4] = 4 - x = 4 - 0.1 = 3.9 \text{ mol.L}^{-1}$$

۳/۲ مول  $\text{N}_2\text{O}_4$  به‌ازای هر لیتر از حجم وجود دارد. پس در ظرف ۲ لیتری،  $2 \times 3/2$  یا ۳ مول از  $\text{N}_2\text{O}_4$  باقی می‌ماند.

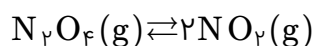


|                 |       |         |    |     |
|-----------------|-------|---------|----|-----|
| غلظت‌های اولیه  | ۴     | ۲/۲     | ۰  | ۰   |
| تغییرات غلظت    | -x    | -x      | +x | +3x |
| غلظت‌های تعادلی | ۴ - x | ۲/۲ - x | x  | 3x  |

$$\text{mol CH}_4 = 2 \Rightarrow 4 - x = 2 \Rightarrow x = 2$$

$$\begin{cases} [\text{H}_2\text{O}] = 2/2 - 2 = 0 \text{ mol.L}^{-1} \\ [\text{CO}] = 2 \text{ mol.L}^{-1} \\ [\text{H}_2] = 3 \times 2 = 6 \text{ mol.L}^{-1} \end{cases} \quad (\text{رد گزینه‌های ۱ و ۴})$$

$$K = \frac{[\text{CO}][\text{H}_2]^3}{[\text{CH}_4][\text{H}_2\text{O}]} \Rightarrow K = \frac{2 \times 6^3}{2 \times 0} = 1080 \text{ mol}^2.\text{L}^{-2} \quad (\text{رد گزینه ۲})$$



|             |                |       |
|-------------|----------------|-------|
| غلظت اولیه  | $\frac{10}{5}$ | ۰     |
| تغییر غلظت  | $-x$           | $+2x$ |
| غلظت تعادلی | $2-x$          | $+2x$ |

$$K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} \Rightarrow 4 = \frac{(2x)^2}{2-x}$$

$$x = 1 \Rightarrow \text{تعادلی } [\text{NO}_2] = 2x = 2 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[\text{N}_2\text{O}_4] = 2 - x = 2 - 1 = 1 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$\frac{[\text{NO}_2]}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = \frac{2}{1} = 2 \quad (\text{رد گزینه‌های ۱ و ۲})$$

$$\begin{cases} \text{مول NO}_2 = 2 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 5 \text{ L} = 10 \text{ mol} \\ \text{مول N}_2\text{O}_4 = 1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 5 \text{ L} = 5 \text{ mol} \end{cases}$$

$$15 \text{ mol} = 10 + 5 : \text{مجموع مول‌ها (رد گزینه ۳)}$$

در واکنش اول ۵۰٪ ماده A یعنی ۰/۵ مول از آن مصرف می‌شود و ۱ مول x تولید می‌کند.

|                 |                           |      |
|-----------------|---------------------------|------|
|                 | $A \rightleftharpoons 2x$ |      |
| غلظت های اولیه  | ۱                         | ۰    |
| تغییرات غلظت    | $-0/5$                    | $+1$ |
| غلظت های تعادلی | $0/5$                     | ۱    |

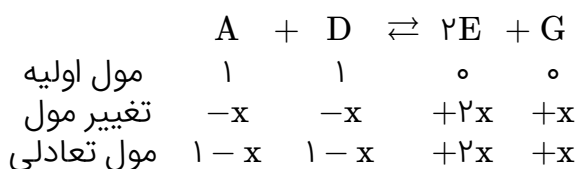
$$K = \frac{[x]^2}{A} \Rightarrow K = \frac{1^2}{0/5} = 2$$

در واکنش دوم ۸۰٪ ماده D مصرف می‌شود و ۰/۸ مول Z تولید می‌کند.

|                 |                          |        |
|-----------------|--------------------------|--------|
|                 | $D \rightleftharpoons Z$ |        |
| غلظت های اولیه  | ۱                        | ۰      |
| تغییرات غلظت    | $-0/8$                   | $+0/8$ |
| غلظت های تعادلی | $0/2$                    | $0/8$  |

$$K = \frac{[Z]}{[D]} \Rightarrow K = \frac{0/8}{0/2} = 4$$

$K_2$ ، ۲ برابر  $K_1$  است.



از آن جا که بازده واکنش ۶۰ درصد است، یعنی ۶۰٪ مواد واکنش دهنده مصرف شده، پس ۴۰٪ آن باقی مانده است.

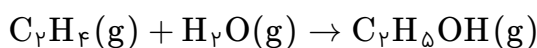
به عبارتی:  $x = ۰/۶$

$$[D]_{\text{تعادلی}} = [A]_{\text{تعادلی}} = ۱ - ۰/۶ = ۰/۴ \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[E]_{\text{تعادلی}} = ۲x = ۲ \times ۰/۶ = ۱/۳ \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[G]_{\text{تعادلی}} = ۰/۶ \text{ mol.L}^{-1}$$

$$K = \frac{[E]^۲[G]}{[A][D]} = \frac{(۱/۳)^۲ \times (۰/۶)}{(۰/۴) \times (۰/۴)} = ۵/۴ \text{ mol.L}^{-1}$$



|             | $C_۲H_۴$                            | $H_۲O$                              | $C_۲H_۵OH$ |
|-------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------|
| غلظت اولیه  | $\frac{۲ \text{ mol}}{۲ \text{ L}}$ | $\frac{۲ \text{ mol}}{۲ \text{ L}}$ | ۰          |
| تغییر غلظت  | -x                                  | -x                                  | x          |
| غلظت تعادلی | ۱-x                                 | ۱-x                                 | x          |

$$K = \frac{[C_۲H_۵OH]}{[H_۲O][C_۲H_۴]} \Rightarrow ۲ = \frac{x}{(1-x)^۲} \Rightarrow ۲ = \frac{x}{1+x^۲-۲x}$$

$$۲x^۲ - ۵x + ۲ = ۰ \Rightarrow x = \frac{۵ \mp \sqrt{۲۵ - ۱۶}}{۴} \quad \begin{cases} x_۱ = ۲ > ۱ & \text{غ ق ق} \\ x_۲ = ۰/۵ < ۱ & \text{ق ق} \end{cases}$$

$$\text{بازده درصدی} = \frac{\text{مقدار مصرفی واکنش دهنده}}{\text{مقدار اولیه آن}} \times ۱۰۰ = \frac{۰/۵}{۱} \times ۱۰۰ = ۵۰\%$$