Shimiomd.blog.ir

محاسبات پالایش

خواص فیزیکی محصولات نفتی:

Physical Properties of pet. product

بسیاری از خواص مواد خالص در طول سالیان متمادی، اندازه گیری و گردآوری شده اند. این خواص اطلاعات اساسی را برای مطالعه رفتار حجمی و تعیین خواص ترمودینامیکی مواد خالص و مخلوط ها فراهم می آورند.

نفت خام ماده بسیار پیچیده ای است و بجز در مورد ترکیبات زودجوش،

API: (چگالی نسبی نفت خام)

چگالی نفت خام را بر اساس API° بیان می کنند.

برآورد رفتار فازی و حجمی مخازن نفتی، نیاز به داشتن دقیق خواص فیزیکی نفت خام و در فشارها و دماهای بالا. از مهمترین خواص مورد نیاز، حجم ویژه و چگالی نسبی نفت خام می باشد.

جرم واحد حجم نفت خام را در یکای فشار و دمای معین، حجم ویژه نفت خام می نامند و معمولاً بر حسب پوند بر فوت مکعب بیان می شود. چگالی نسبی نفت خام به عنوان نسبت حجم ویژه نفت به حجم ویژه آب تعریف می گردد. هر دو حجم ویژه در 60°F و فشار اتمسفری، اندازه گیری می شوند.

$$SG = \frac{\rho_{oil}}{\rho_{water}}$$

Shimiomd.blog.ir

Shimiomd.blog.ir

γ_o: چگالی نسبی نفت (بعضی ارقام تا با S یا Sp.gr نمایش داده می‌شود)

ρ_o: جرم ویژه نفت خام بر $\frac{lb}{ft^3}$

ρ_w: جرم ویژه آب بر $\frac{lb}{ft^3}$

اگرچه جرم ویژه و چگالی نسبی بطور گسترده‌ای در صنایع نفت به کار می‌روند، چگالی API به عنوان درجه چگالی، ترجیح داده می‌شود. این درجه چگالی دقیقاً توسط رابطه زیر به چگالی نسبی مربوط می‌شود.

$$^\circ API = \frac{141.5}{\gamma_o} - 131.5$$

API این نکته هفت "American Petroleum Institute"

نکته: برای تعیین وزن مخصوص (γ) یا (Sp.gr) باید دما مشخص باشد.

چگالی API نفت‌های خام معمولاً از $^\circ API$ ۴۷ برای نفت‌های خام سبک تا $^\circ API$ ۱۰ برای نفت‌های خام سنگین آسفالتی، تغییر می‌کند.

Shimiomd.blog.ir

محاسبات پالایش

آشنایی با بعضی از رابطه‌ها:

۱- دانسیته Density

$\rho = \frac{m}{V}$

جرم هر واحد حجم ماده را گویند. $\frac{kg}{m^3}$; $\frac{Lb_m}{ft^3}$

m: جرم

V: حجم

$\rho_{water} = 998,2 \frac{kg}{m^3}$

$\rho_{water} = 62,4 \frac{Lb_m}{ft^3}$

$\rho_{air} = 1,205 \frac{kg}{m^3}$

۲- وزن مخصوص Specific_gravity (sp.gr)

وزن مخصوص یک سیال عبارت است از وزن واحد حجم آن سیال.

این تعیین را با کار اکترهای زیادی ماشین‌های دقیق و مدرن تا دقیق‌ترین آن‌ها (۸) می‌یابند.

$\gamma = \rho . g$

m: جرم

V: حجم

W: وزن

g: شتاب گرانش

$\rho = \frac{m}{V}$

جای گذاری $\gamma = \frac{m}{V} . g \Rightarrow \frac{m.g}{V} = \frac{W}{V}$

$\gamma_{water} = 9790 \frac{N}{m^3}$; $\gamma_{water} = 62,4 \frac{Lb}{ft^3}$

$\gamma_{air} = 11,8 \frac{N}{m^3}$; $\gamma_{air} = 0,0764 \frac{Lb}{ft^3}$

Shimiomd.blog.ir

حجم مخصوص: "Specific volume"

$$v = \frac{1}{\rho}$$

این متغیر عکس چگالی می‌باشد. $\frac{m^3}{kg}$; $\frac{ft^3}{lb_m}$

ρ: چگالی

چگالی نسبی:

نسبت چگالی یک ماده به چگالی یک سیال مبنا.

$$S = \frac{\rho}{\rho_0}$$

نکته: این واژه برای گازها بیشتر به کار می‌رود.

$$gas\ S_{gas} = \frac{\rho_{gas}}{\rho_{air}}$$

$$\text{مایعات } S_{liq} = \frac{\rho_{liq}}{\rho_{water}}$$

چگالی گازها:

$$\rho_{gas} = \frac{MW}{22.4} \quad \frac{kg}{m^3} \quad SI$$

$$\rho_{gas} \quad \frac{MW}{379} \quad \frac{lb_m}{ft^3} \quad USA$$

MW: وزن مولکولی

MWa: وزن مولکولی ظاهری

یا

$$\rho_{gas} = \frac{P\,MW_a}{RT} = \frac{m}{V}$$

Shimiomd.blog.ir

محاسبات پالایش

وزن مولکولی ظاهری:

یکی از عواملی که بسیار زیاد مورد استفاده مهندسان می باشد، وزن مولکولی ظاهری است.

اگر y_i بیانگر کسر مولی جزء i ام در یک مخلوط گاز باشد، وزن مولکولی ظاهری از رابطه ریاضی

به صورت معادله زیر تعریف می شود:

$$MW_a = \sum_{i=1} y_i \cdot MW_i$$

MW_a : وزن مولکولی ظاهری مخلوط گاز

MW_i : وزن مولکولی جزء i ام در مخلوط

کسر مولی:

نسبت تعداد مول های هر جزء به تعداد کل مول های موجود در مخلوط را، کسر مولی آن جزء می نامند.

n : تعداد کل مول ها

y_i : کسر مولی

$$y_i = \frac{n_i}{n} = \frac{n_i}{\sum_{i=1} n_i}$$

$$y_i = \frac{\frac{w_i}{MW_i}}{\sum_i \frac{w_i}{MW_i}}$$

Shimiomd.blog.ir

کسر وزنی:

کسر وزنی هر جزء نسبت وزن آن جزء به وزن کل مخلوط است.

$$W_i = \frac{m_i}{m} = \frac{m_i}{\sum_{i=1} m_i}$$

W_i: کسر وزنی i

m_i: وزن جزء i

m: وزن کل گاز

$$W_i = \frac{y_i MW_i}{\sum y_i MW_i}$$

کسر حجمی:

نسبت حجم یک جزء معین به حجم کل مخلوط را، کسر حجمی آن جزء می نامند.

$$V_i = \frac{V_i}{V} = \frac{V_i}{\sum_{i=1} V_i}$$

$$m_i = y_i \cdot MW_i$$

Shimiomd.blog.ir

(۲) محاسبات پالایش

e.g: A liq contains:

	۲۰٪ A	۳۰٪ B	۵۰٪ C (wt)
°API	28	36	40

calculate density?

$$A.P.I_{(A)} = \frac{۱۴۱٫۵}{Sp.gr} - ۱۳۱٫۵ \Rightarrow ۲۸ = \frac{۱۴۱٫۵}{Sp.gr} - ۱۳۱٫۵ = ۰٫۸۸۲$$

$$\Rightarrow ۴۴ = \frac{۱۴۱٫۵}{Sp.gr} - ۱۳۱٫۵ = ۰٫۸۵۲۵$$

$$\Rightarrow ۴۰ = \frac{۱۴۱٫۵}{Sp.gr} - ۱۳۱٫۵ = ۰٫۸۲۵$$

$$(Sp.gr)_t = ۰٫۲(۰٫۸۷۴) + ۰٫۳۴(۰٫۸۵۲۵) + ۰٫۵(۰٫۸۲۵) = ۰٫۸۴۲$$

$$(A.P.I)_t = \frac{۱۴۱٫۵}{۰٫۸۴۲} - ۱۳۱٫۵ \Rightarrow ۳۴٫۰۵$$

$$\rho_{oil} = (Sp.gr)_t \cdot \rho_{H_2O} \Rightarrow ۰٫۸۴۲ \times ۶۲٫۴ = ۵۲٫۴$$

$$\rho_{H_2O} = ۶۲٫۴ \frac{lbm}{ft^3} \quad , \quad \rho_{H_2O} = ۸٫۳۴۸ \frac{lbm}{gal^3}$$

e.g: what is the density of a 29.3 API at 60°F and 600°F?

at 60°F (Table 190) ⟶ sp.gr = 0.88

$$\rho = 62.4 \times 0.88 \times \frac{lb_m}{ft^3} \times \frac{1\,ft^3}{7.48\,gall} = 7.34\ \frac{lb_m}{gall}$$

at 600°F (Table 190) ⟶ sp.gr = 0.69

$$\rho = 62.4 \times 0.69 \times \frac{lb_m}{ft^3} \times \frac{1\,ft^3}{7.48\,gall} = 5.75\ \frac{lb_m}{gall^3}$$

مثال: دمای مایعای دارای 29 °API در پایتر. وزن مخصوص آن چقدر است؟

$$^\circ API = \frac{141.5}{sp.gr} - 131.5$$

$$29 = \frac{141.5}{sp.gr} - 131.5 \longrightarrow sp.gr = \frac{141.5}{29 + 131.5} = 0.884$$

نکته: برای محاسبه چگالی نفت به صورت زیر عمل می کنیم:

$$\rho_{oil} = \rho_{sp} \cdot \rho_{H_2O} \rightarrow (0.884)(62.4) = 55.16$$

محاسبات پالایش

نکته: اگر بخواهیم sp.gr را در واحدی دیگر محاسبه کنیم مثلاً برحسب تگزاس باید آن را

تبدیل واحد کرد.

$$\frac{41.4\ lbm}{ft^3} \left| \frac{1\ ft^3}{7.48\ gall} \right. = \checkmark$$

مثال: یک ماده نفتی شامل درصدهای حجمی C_5 ٪۱۲.۰، C_4 ٪۱۲.۰، C_7 ٪۴۰ است

API آن را محاسبه کنید:

ابتدا مولفه را طبق راهنمایی کار نام گذاری می کنیم:

$$C_7 = S_1 \quad , \quad C_4 \cdot S_2 \quad , \quad C_5 \cdot S_3$$

$$W_L = (0.4 \times 100) + (0.3 \times 114) + (0.3 \times 128) = 104.8\ sp.gr$$

$$API = \frac{141.5}{sp.gr} - 131.5$$

$$sp.gr = \frac{141.5}{API + 131.5} = \frac{141.5}{104.8} - 131.5 = \checkmark$$

حل

(۱۰)

مثال: یک مایع نفتی که دارای سه جزء A، B و C است. درصدهای وزنی ۲۰٪ A، ۳۵٪ B و ۴۵٪ C می‌باشد. درصدهای مولی ۷۰٪ آن را محاسبه کنید.

$$W_t = (0.2 \times MW_A) + (0.35 \times MW_B) + (0.45 \times MW_C)$$

$$\text{درصد وزنی } A = \frac{0.2\,MW_A}{W_t} \times 100 \qquad \text{درصد مولی } A = \frac{0.2\,MW_A}{V_t \cdot \rho_A} \times 100$$

$$\text{درصد وزنی } B = \frac{0.35\,MW_B}{W_t} \times 100 \qquad \text{درصد مولی } B = \frac{0.35\,MW_B}{V_t \cdot \rho_B} \times 100$$

$$\text{درصد وزنی } C = \frac{0.45\,MW_C}{W_t} \times 100 \qquad \text{درصد مولی } C = \frac{0.45\,MW_C}{V_t \cdot \rho_C} \times 100$$

$$V_t = \left(\frac{0.2\,MW_A}{\rho_A}\right) + \left(\frac{0.35\,MW_B}{\rho_B}\right) + \left(\frac{0.45\,MW_C}{\rho_C}\right)$$

مثال: یک گاز شامل ۱۰٪ C_1، ۴۰٪ C_3 و ۵۰٪ C_4 در $70^\circ F$ می‌باشد و فشار $250\ Psi$ می‌باشد. چگالی آن را محاسبه کنید.

$T = 70^\circ F$

$P = 250\ Psi$

$$PV = nRT \rightarrow PV = \frac{m}{MW}RT \rightarrow P\,MW = \left(\frac{m}{V}\right)RT \qquad \rho$$

$$\rho = \frac{P\,MW}{RT} \longrightarrow {}^\circ R \text{ بر حسب رانکین}$$

$$MW = (0.1 \times 14) + (0.4 \times 30) + (0.5 \times 44) + (0.9 \times 58) = 52.2$$

$$\rho = \frac{250 \times 52.2}{10.73 \times 530} = 2.30$$

$530 = 460 + 70$

مثال: یک مخلوط مایع شامل مواد زیر می باشد C_7 ۲۷٪، C_8 ۱۸٪، C_9 ۲۵٪، C_{11} ۲۵٪

که برحسب درصد حجمی بیان شده اند. مطلوب است محاسبه درصد وزنی:

$$W_t = 0.22(100) + 0.18(114) + 0.25(128) + 0.15(142) + 0.20(154) = 132.92$$

$$W_{C_7} = \frac{0.27 \times 100}{132.92} \times 100 = \checkmark 20.31\% \quad ; \quad W_{C_9} = \frac{0.25 \times 128}{132.92} \times 100 = \checkmark 24.08\%$$

$$W_{C_{10}} = \frac{0.15 \times 142}{132.92} \times 100 = \checkmark 16.03\% \quad ; \quad W_{C_8} = \frac{0.18 \times 114}{132.92} \times 100 = \checkmark 15.44\%$$

مثال: یک مایع شامل مواد زیر می باشد چگالی آن را محاسبه کنید.

(W_t)	C ٪۵۰	B ٪۳۰	A ٪۲۰
°API	۴۰	۳۴	۲۸

$$\frac{141.5}{Sp.gr} - 131.5 \longrightarrow 28 = \frac{141.5}{0.8871} - 131.5 \longrightarrow 0.8871$$

$$\frac{141.5}{Sp.gr} - 131.5 \longrightarrow 30 = \frac{141.5}{0.8762} - 131.5 \longrightarrow 0.8762$$

$$\frac{141.5}{Sp.gr} - 131.5 \longrightarrow 34 = \frac{141.5}{0.8535} - 131.5 \longrightarrow 0.8535$$

$$(Sp.gr)_t = (0.2 \times 0.8871) + (0.3 \times 0.8762) + (0.5 \times 0.8535) = 0.8637$$

$$A.P.I_t = \frac{141.5}{(Sp.gr)_t} - 131.5 \rightarrow 32.45 \quad ; \quad \rho_{oil} = \rho_{H_2O} \times Sp.gr_t = 0.8637

روش های بینابینی بر PNA :

P : پارافین ها Paraffin

N : نفتن ها Naphthene

A : آروماتیک ها Aromatic

معمولا در روش های نفتی، سبک، چگالی نسبی و وزن مولکولی و سایر ویژگی قابل اندازه گیری هستند. در این روش ها روش هایی که بر پایه ی مواد نفتی ایجاد می شود، در تقطیر جزء های تفاوتی است که عموما پنج روش در تعیین نقطه جوش نرمال است.

۱- نقطه جوش میانگین حجمی (VABP)

Volume average Boiling Point

V_i کسر حجمی

T_b نقطه جوش °R

$$V_1 t_1 + V_2 t_2 + \cdots = \sum_i V_i T_{b_i}$$

۲- نقطه جوش میانگین وزنی (WABP)

weight average Boiling point

W_i کسر وزنی

$$W_1 t_1 + W_2 t_2 + \cdots = \sum_i W_i T_{b_i}$$

محاسبات پالایش

۳- نقطه جوش میانگین مولی (MABP)

Molar average Boiling Point

x_i کسر مولی

$$x_1 t_1 + x_2 t_2 + \cdots = \sum_i x_i T_{b_i}$$

۴- نقطه جوش میانگین کبی (CABP)

cubic average Boiling Point

$$\left(V_1 T_1^{\frac{1}{3}} + V_2 T_2^{\frac{1}{3}} + \cdots\right)^3 = \left[\sum_i x_i T_{b_i}^{\frac{1}{3}}\right]^3$$

۵- نقطه جوش میانگین هیانگین ما (MeABP)

Mean averge Boiling point

$$t_m = \frac{MABP + CABP}{2} = \frac{T_{cubic} + T_{mol}}{2}$$

مثال: یک ماده نفتی دارای این مشخصات است: C_7 ۲۲٪، C_8 ۱۸٪، C_9 ۳۰٪، C_{10} ۲۵٪

جوش. متوسط نقطه جوش این ماده را بدست آورید.

Table ۵-۲

$C_7 = 100/12$ MW ; $C_9 = 128/15$ MW

$C_8 = 114/14$ MW ; $C_{10} = 134/14$ MW

$C_7 = 209\,^\circ t_b$; $W_t = (0/22 \times MW) + (0/18 \times MW) + (0/25 \times MW) + (0/35 \times MW)$

$C_8 = 258\,^\circ t_b$

$$W_t \cdot T_b = W_1 \cdot T_1 + W_2 \cdot t_2 + W_3 \cdot t_3 + W_4 \cdot T_4$$

$$W_1 = \frac{0/22}{W_t}$$

(۱۲)

برای یک سیال نفتی که دارای API ۳۰° می باشد و ضریب شکست آن K=۱۱,۲۵ است. اگر این ماده دارای سه جزء A(۳۰۰°F, ۴۰٪) , B(۴۰۰°F, ۳۲٪) , C(۴۵۰°F, ۲۸٪) بر حسب حجمی باشد. محاسبه نمایید دمای جوش میانگین T_b و نقطه جوش میانگین ها T_m.

برای ماده A:

$$A\begin{cases} K=11,25 \\ T=300^\circ F \\ API=44 \xrightarrow[178]{\text{جرم مخصوص}} API=\frac{141,5}{sp.gr}-131,5=0,806 \end{cases}$$

$$\rho_{A\,oil}=(0,806)(62,4)=50,31\ \frac{lb_m}{ft^3}$$

$$B\begin{cases} K=11,25 \\ T=400^\circ F \\ API=37 \longrightarrow API=\frac{141,5}{sp.gr}-131,5=0,838 \end{cases}$$

$$\rho_{B\,oil}=(0,838)(62,4)=52,29\ \frac{lb_m}{ft^3}$$

$$C\begin{cases} K=11,25 \\ T=450^\circ F \\ API=35 \longrightarrow A.P.I=\frac{141,5}{sp.gr}-131,5=0,847 \end{cases}$$

$$\rho_{C\,oil}=(0,847)(62,4)=52,85\ \frac{lb_m}{ft^3}$$

محاسبات پالایش

استفاده از مثال قبل:

T_b دمای جوش $= V_1 t_1 + V_2 t_2 + V_3 t_3 + \cdots$

$T_b = (0.4 \times 500) + (0.22 \times 500) + (0.38 \times 450) = 374$

$$T_{mean} = \frac{T_{cubic} + T_{mol}}{2}$$

$$W_t = (0.4 \times 50.21) + (0.22 \times 24.49) + (0.38 \times 32.4) = 51.75$$

$$W_A = \frac{0.4 \times 50.21}{51.75} = 0.39$$

$$W_B = \frac{0.22 \times 24.49}{51.75} = 0.22$$

$$W_C = \frac{0.38 \times 32.4}{51.75} = 0.39$$

$$T_{cubic} = \left[W_1 (t_1)^{\frac{1}{3}} + W_2 (t_2)^{\frac{1}{3}} + W_3 (t_3)^{\frac{1}{3}} \right]^3$$

$$= \left[0.39 (450)^{\frac{1}{3}} + 0.22 (500)^{\frac{1}{3}} + 0.39 (650)^{\frac{1}{3}} \right]^3 = 2171.82$$

T_{mol} { $k = 11.85$, $API = 30$ } $\xrightarrow[\text{صفحه ۱۸۱}]{\text{ترجمه ۹-۵}}$ 525

$$T_{mean} = \frac{2171.82 + 525}{2} = 1348.91 \checkmark$$

گرمای تبخیر "Latent heat of Vaporization"

گرمای تبخیر مقدار حرارتی است که به واحد جرم جسم داده می شود تا تبدیل به بخار شود

در مورد هیدروکربن ها، این تبدیل در دما و فشار ثابت انجام می شود، تعالی که در مورد مخلوط ها

فقط یکی از این دو پارامتر ثابت است.

$$\Delta H = \gamma \Delta H \frac{T}{T_B} \qquad \frac{kcal}{kg} \; ; \; \frac{kcal}{Kmol}$$

$$\frac{Btu}{Lb} = 0/55 \frac{kcal}{kg}$$

گرانروی بخار: Vapor Viscosity

در مورد گازها، ترکیبات شیمیایی اثر ناچیزی بر گرانروی دارد، تعالی که اثر فشار قابل ملاحظه است

همچنین «هوگن - واتسون» رابطه این گرانروی و فشار و دما را بدست آورده اند.

$$\mu_c = \frac{V_{IV}\sqrt{MW}\, P_c^{\frac{2}{3}}}{T_c^{\frac{1}{6}}} = \frac{V_{IV}\, MW^{\frac{1}{2}}\, P_c^{\frac{2}{3}}}{T_c^{\frac{1}{6}}}$$

μ_c ویسکوزیته بحرانی

T_r دمای نقصانی $= \frac{T}{T_c}$

T_c = دمای بحرانی K°

P_r فشار نقصانی $= \frac{P}{P_c}$

P_c = فشار بحرانی atm

MW جرم مولکولی

محاسبات پالایش

مثال: یک گازوئیل که دارای دمای جوش میانگین $250^\circ F$ می‌باشد وهمچنین دارای $API = 40$ است.

$$\begin{cases} A.P.I = 40 \xrightarrow[\text{صفحه } 178]{\text{جدول } 9-5} MW = 102 \\ T_b = 250^\circ F \\ gas\text{-}o\text{-}line \xrightarrow[\text{صفحه } 181]{\text{جدول } 12-5} T_c = 540^\circ F \end{cases}$$

$$\begin{cases} T_b = 250^\circ F \\ \xrightarrow[\text{صفحه } 181]{\text{جدول } 12-5} P_c = 540\ Psia \\ T_c = 540^\circ F \end{cases}$$

$$\mu_c = \frac{7.7 \times (102)^{\frac{1}{2}} (31.29)^{\frac{2}{3}}}{540 + 460} = 249.28 \simeq 270$$

$$\frac{540\ Psia}{147\ Psia} \left| \frac{1\ atm}{} \right. = 31.29$$

برای محاسبه‌های تقسیمی و شارتقسیمی بجدول $12-5$ مراجعه کنید تا μ_r را بدست آورید مثلا $50\ Psia$, $540^\circ F$

$$P_r = \frac{P}{P_c} = \frac{50}{540} = 0.109$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} = \frac{540 + 540}{540 + 540} = 0.91$$

$$\mu_r = 0.43 \quad ; \quad \mu_r = \frac{\mu}{\mu_c} \Rightarrow \mu = \mu_r \cdot \mu_c = 0.43 \times 270 = 116.1$$

e.g: A mix base narrow-boiling range fraction has a gravity of 38 API the Laten heat of this fraction at atmospheric pressure and also 500°F is Desinred?

$K = 11,9$

$h = \gamma \, \mathcal{L}_B \frac{T}{T_b}$

$\frac{T_b}{T_c} = \frac{٥٨٠ + ٤٧٠}{٩٠٠ + ٤٧٠} = ٠,٧٩٥$

$K = 11,9$

$API = ٣٥$

$\xrightarrow{\text{Fig } ٥-٥}$ $T_b = ٥٨٠$, $T_c = ٩٠٠$

$\frac{T}{T_c} = \frac{٥٠٠ + ٤٧٠}{٩٠٠ + ٤٧٠} = ٠,٧٤$

$\gamma \xrightarrow[\text{١٧٤ صفحة}]{٥-٢ \text{ Chart}} 1,14$

$L = \Delta H_{vap} \xrightarrow{٥-٥ \text{ Chart}}$ $T_b = ٨٥٠^\circ F$, $API = ٣٥$ $\longrightarrow ٩٣$

$h = 1,14 \times ٩٣ \left(\frac{٥٠٠ + ٤٧٠}{٥٨٠ + ٤٧٠} \right) = ٩٨$

$K = \frac{T_b^{\frac{1}{3}}}{\gamma}$

Shimiomd.blog.ir

محاسبات پالایشی

مثال: محاسبه گرمای مورد نیاز h^2 از یک ماده نفتی با گرمای ویژه وابسته به دما

$C_p = 0/47 + 4/12 \times 10^{-4} T + 6/18 \times 10^{-8} T^2$ در دمای $200^\circ F$ تا $400^\circ F$ چقدر می‌باشد

$$C_p = 0/47 + 4/12 \times 10^{-4} T + 6/18 \times 10^{-8} T^2$$

$$Q = n \int_{T_1}^{T_2} C_p \, dT \qquad n = \frac{m}{MW} = \frac{P \cdot V}{RT} \qquad \rho = \frac{n}{V}$$

$$Q = n \int_{200}^{400} \left(0/47 + 4/12 \times 10^{-4} T + 6/18 \times 10^{-8} T^2 \right) dT$$

مثال: محاسبه گرمای مورد نیاز برای ماده‌ای از $200^\circ F$ تا $400^\circ F$ که دارای وزن مولکولی $100\ lb_m$ می‌باشد

$$C_p = 0/45 + 2/18 \times 10^{-4} T + 4/48 \times 10^{-8} T^2 \quad \frac{Btu}{lb_m F}$$

$$Q = m \int_{100}^{200} \left(0/45 + 2/18 \times 10^{-4} T + 4/48 \times 10^{-8} T^2 \right) dT$$

$$Q = m \left(0.45 (100) + \frac{2/18 \times 10^{-4}}{2} \left(300^2 - 100^2 \right) + \frac{4/48 \times 10^{-8}}{3} \left(200^3 - 100^3 \right) \right)$$

$$Q = m \times 18/57 = 18/57 \ \frac{Btu}{lb_m} \times 100\ lb_m = 1857\ Btu$$

Shimiomd.blog.ir