المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تخصص إنتاج كيميائي

أسس التقنية الكيميائية

١٥٠ هكم

طبعة ١٤٢٩ هـ

مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " **أسس الهندسية الكيميائية** " لمتدربي تخصص " **إنتاج كيميائي** " في الكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

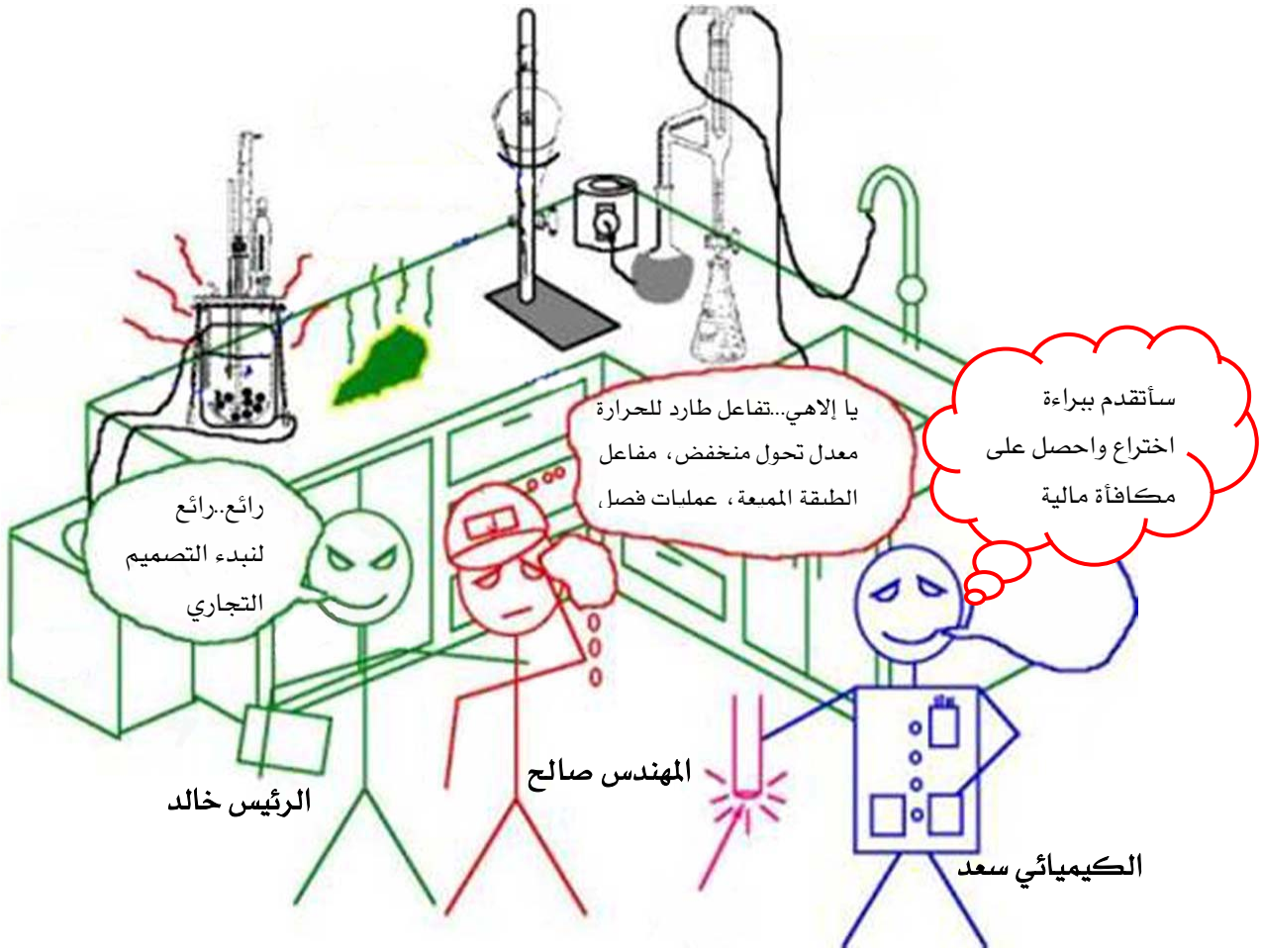
والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه؛ إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تمهيد

يعتبر علم الهندسة الكيميائية أحد فروع الهندسة والذي يعنى بالعمليات الكيميائية والفيزيائية والمواد المستخدمة لإنتاج وتطوير المنتجات الكيميائية والصيدلية والغذائية لخ، حيث يُحتاج إلى الهندسة الكيميائية في احد أو جميع خطوات تصنيع هذه المنتجات.

وقد كان علم الهندسة الكيميائية –قبل الثورة الصناعية- احد فروع الكيمياء مثل العضوية والفيزيائية والتحليلية. ولان علم الكيمياء أثناء الثورة الصناعية اخذ منحى فهم وتوضيح الأساسيات وبتعد عن التطبيقات ومشاكلها ومحاولة الإجابة عن أسئلة مثل لماذا؟ وكيف؟، فقد تبلور الفرق بين الكيميائي والمهندس الكيميائي بأن الأول ربما يكتشف في المختبر مركبات أو مواد جديدة لا يمكن الاستفادة منها دون مساعدة المهندس الكيميائي. فالمهندس الكيميائي يقوم بعمل الحسابات والاختبارات اللازمة من اجل الانتقال من الحجم المعملي إلى الحجم الصناعي لإنتاج المادة المطلوبة. ويمكن توضيح الفرق بين الكيميائي والمهندس الكيميائي في الرسم الكرتوني التالي (شكل A-1):



الشكل A-1 : رسم كرتوني لتوضيح الفرق بين الكيميائي والمهند الكيميائي.

في الرسم أعلاه بدء الكيميائي **سعد** يفكر ببراءة الاختراع والترقية والزيادة في الراتب بعد اكتشافه - والذي تم في مختبر الشركة- لمادة كيميائية جديدة. أما رئيسه **خالد** فبدءا يفكر بالإرباح التي ستجنيها الشركة من هذا المنتج الجديد والثناء الذي سيحصل عليه من مجلس إدارة الشركة. بينما يحاول المهندس **صالح** - والذي تم تعيينه حديث للعمل في مشروع إنتاج هذه المادة الجديدة - معرفة حجم العمل الذي سيبدؤه قريبا وترتيب أفكاره من اجل ذلك. حيث يتوجب عليه تصميم عملية قادرة على إنتاج المادة الجديدة بكميات كبيرة بشكل اقتصادي وفي ظروف صحية وبيئية آمنة. فبدء يسال نفسه أسئلة مثل هل عملية الإنتاج يجب أن تكون مستمرة أو متقطعة كما هو الحال في المختبر، كم عدد وحدات الفصل ونوعها، نسبة تحول المواد المتفاعلة إلى نواتج، مراعاة قوانين وضوابط المحافظة على البيئة وقواعد الآمان والسلامة في المصانع. وتعتمد الإجابة على هذه الأسئلة على مجموعة من الاعتبارات منها كمية الإنتاج ونقاوة المنتج واقتصاديات العملية الكلية. وهذه الاعتبارات تعتمد على الإلمام بأسس الهندسة الكيميائية مثل:

اختيار المفاعلات وعمليات الفصل:

في حين يكفى دورق دائري أو مخروطي لإتمام التفاعل في المختبر، يمثل اختيار نوع المفاعل المناسب المفتاح الرئيس في تصميم وتطوير عملية الإنتاج التجارية. كما أن الاختيار المناسب لعمليات الفصل – نظرا لكلفتها العالية- فيعتبر حجر الزاوية في تصميم عملية إنتاج ذات جدوى اقتصادية.

انتقال الحرارة:

عندما يكون التفاعل طرد للحرارة فان التخلص او الاستفادة من الحرارة الناتجة من التفاعل لا يعتبر مشكلة عندما يجرى في المختبر. بينما تعتبر قضية انتقال الحرارة من الأمور الهامة في حال العمليات التجارية. فمثلا يلزم توافر معدل كافي لانتقال الحرارة من والى المفاعل لضمان ثبات درجة الحرارة عند القيمة المحددة، حيث يؤدي ارتفاع درجة الحرارة عن القيمة المحددة إلى تغير في خواص المنتج النهائي أو إلى حدوث تفاعلات جانبية أو إزاحة في ديناميكية التفاعل.

انتقال المادة:

عند استخدام حفاز (عامل مساعد على التفاعل)، فانه يجب الأخذ في الاعتبار قضية انتقال المادة أثناء حدوث التفاعل على سطح وداخل حبيبات الحفاز وعملية فصل الحفاز عن المنتج في حال عمليات الطور السائل.

سريان الموائع:

في حين لا تمثل لزوجة المواد المتفاعلة والناتجة - ولا تغيرها مع درجة الحرارة- أي مشكلة أثناء التجارب المعملية، فان اختيار نوع المفاعل في حال العمليات التجارية يعتمد على نوع وشدة الخلط المطلوبة مثلا. كما أن سريان الموائع داخل الأنابيب سيؤثر على حجم الأنابيب وتكلفة الضخ داخل الأنابيب.

الديناميكا الحرارية:

لأي تفاعل كيميائي، فان الديناميكا الحركية يجب أن تأخذ بعين الاعتبار عند اختيار المفاعل، حيث أنها تأثر على القيمة العليا لمعدل تحول المواد المتفاعلة إلى نواتج.

الاعتبارات البيئية:

بينما تحتل هذه الاعتبارات حيز صغير من تفكير الكيميائي بسبب قلة الكميات المستخدمة في المختبر وسهولة التخلص منها، يولي المهندس الكيميائي هذه القضية اهتمام اكبر نظرا لكثرة الكميات المستخدمة وضرورة التخلص منها وفق القوانين والمعايير الدولية.

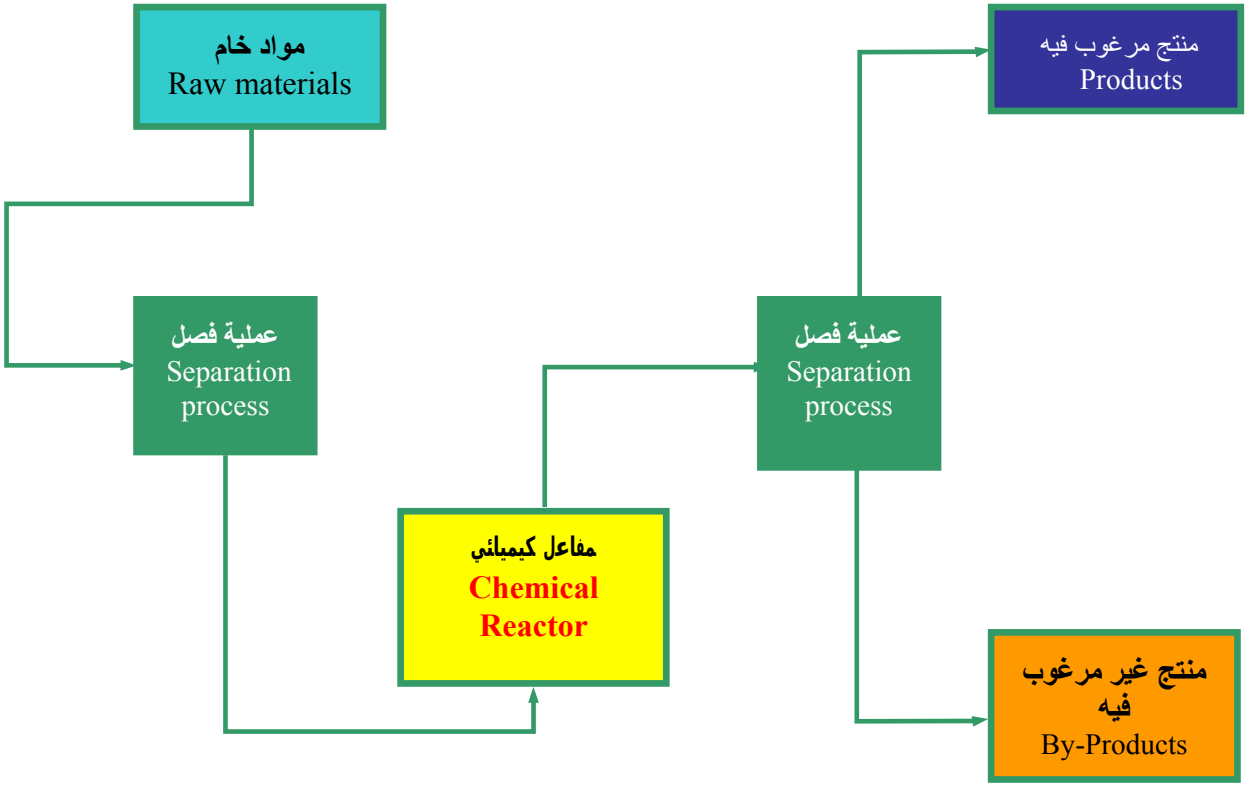
والشكل A-2 رسم انسيابي لوحدات العمليات الكيميائية حيث يتم فصل المواد الخام و تنقيتها وفصل الشوائب عنها بواسطة عمليات الفصل الميكانيكية بعد ذلك تغذى هذه المواد الخام لإجراء العمليات الكيميائية عليها ثم يفصل المنتج المرغوب فيه من المنتج غير المرغوب فيها بواسطة عمليات الفصل الكيميائية كما هو موضح في الشكل (1).

ويعتبر هده الكتاب مدخل لعلم الهندسة الكيميائية بشكل روعي فيه ساعات الاتصال وطبيعة العمل بعد التخرج لطلاب قسم التقنية الكيميائية في الكلية التقنية.

إن المرجو من هدا العمل هو مساعدة الطالب على فهم المبادىء الأساسية بعد تبسيطها ثم اكتساب القدرة على حل مسائل هذا الكتاب.

ويحتوي هذا الكتاب على ثلاثة فصول. الفصل الأول يتعرف فيه الطالب على الوحدات الحسابية المستعملة في مجالي الكيمياء و الهندسة الكيميائية وتدريبه على العمل بمختلف أنظمة الوحدات ثم الانتقال من نظام لآخر مع التأكيد على الالتزام بالنظام العالمي للوحدات. في الفصل الثاني يدرس الطالب متغيرات العمليات الكيميائية مثل درجة الحرارة والضغط والتركيز....لخ. في الفصل الثالث يتعرف الطالب على أنواع العمليات الكيميائية مثل المستقرة والمتقطعة والانتقالية ثم يتعلم الطالب أسس موازنة المادة عند الحالة المستقرة.

إن العدد الكبير من المسائل المحلولة في هذا الكتاب يعطي الطالب القدرة على تطبيق طرق حلها و حل المشاكل الأكثر تنوعا و تعقيدا.



الشكل A-2 رسم انسيابي لوحدات العمليات الكيميائية.

أسس التقنية الكيميائية

الأبعاد والنظم الأساسية

الجدارة :

فهم أساسيات الحسابات الكيميائية للسهر على التشغيل الكفء لأجهزة الإنتاج في الصناعة، المحافظة على الطاقة وإدراك الأسباب الكامنة وراء مشاكل التصنيع.

الأهداف :

في نهاية هذا الفصل يكون الطالب قادرا على:

- معرفة أنظمة الوحدات (الدولية، الأمريكية، السنتمتر–غرام- ثانية)
- التنقل من نظام إلى آخر و بيسر،
- تحويل وحدات معادلات الأبعاد

مستوى الأداء المطلوب : أن لا تقل الجدارة عن ٩٥ ٪.

الوقت المتوقع للتدريب: ٢٠ ساعة.

الوسائل المساعدة : اعتمادا الطريقة المتبعة في المقرر لحل المسائل.

متطلبات الجدارة :

قبل دراسة هذا الفصل يجب أن يكون الطالب ملما بالعلوم التالية:

الكيمياء العامة

الكيمياء الفيزيائية

الديناميكا الحرارية الكيمائية

الرياضيات الأساسية

الوحدات و الأبعاد

لأي كمية مقاسة هناك قيمة عددية ووحدة قياس. ومعرفة القيمة العددية ووحدة القياس من الأمور الضرورية في الحسابات الهندسية على سبيل المثال:

3 جرام، 20 دقيقة، 110 كيلومتر.

فالقيمة العددية هي ٣ و ٢٠ و١١٠ ووحدات القياس هي جرام و دقيقة وكيلومتر. والأبعاد هي كميات يمكن قياسها مثل الطول والوقت والكتلة ودرجة الحرارة أو حسابها بقسمة أو ضرب الأبعاد الأساسية، على سبيل المثال السرعة ($\frac{\text{طول}}{\text{الزمن}}$)، الحجم (طول^3)، معدل السريان ($\frac{\text{حجم}}{\text{الزمن}}$)، الكثافة ($\frac{\text{كتلة}}{\text{طول}^3}$)، معدل انتقال المادة ($\frac{\text{كتلة او مول}}{\text{الزمن}}$).

و يمكن معاملة الوحدات كما تعامل الحدود في المعادلة الجبرية. فالقيمة العددية لأي كمية يمكن جمعها أو طرحها فقط إذا كانت الوحدات متماثلة.

$$8\ \text{cm} - 6\ \text{cm} = 2\ \text{cm}$$

ولكن لا يمكن عمل التالي:

$$8\ \text{m} - 6\ \text{cm} = ?$$

في المقابل فانه يمكن ضرب أو قسمة قيمتين عدديتين حتى في حال اختلاف وحدتيهما:

$$4\,\text{N} \times 5\,\text{m} = 20\,\text{N.m} \quad \text{أو} \quad \frac{5\,\text{kg}}{10\,\text{m}^3} = 0.5\,\text{kg/m}^3$$

$$\frac{12\,\text{m}}{4\,\text{m}} = 3 \quad \text{(عديم الوحدة)}$$

$$\left(8\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \times \left(2\,\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) = 16\ \text{kg/s}$$

تحويل الوحدات:

يمكن التعبير عن الكميات المقاسة باستخدام وحدات مختلفة لها الأبعاد المناسبة. فالسرعة يعبر عنها km/h أو ft/min أو m/yr. وتعتمد القيمة العددية للسرعة مثلا على الوحدات المستخدمة في حسابها.

تحويل الوحدات:

لتحويل وحدة كمية معين إلى ما يساويها من الوحدات الأخرى فانه يتم ضرب الكمية المعطاة برقم يسمى **معامل التحويل** :

$$\frac{\text{الوحدة الجديدة}}{\text{الوحدة القديمة}}$$

فمثلا لتحويل 55 km إلى m فإننا نعمل التالي:

$$(5\text{km})\times(\frac{1000\text{m}}{1\text{km}})=5000\text{m} \qquad (1\text{-}1)$$

فمعامل التحويل في هذه الحالة هو 1000 m/1 km.

ويمكن كتابة المعادلة (1-1) كما يلي:

$$\begin{array}{c|c} 5\ \text{km} & 1000\ \text{m} \\ \hline & 1\ \text{km} \end{array}$$

$$=500\ \text{m}$$

مثال 1-1

حول $1\ \text{cm/s}^2$ إلى ما يساويها بـ km/yr^2

$$\frac{1\ \text{cm}}{\text{s}^2}\ \Big|\ \frac{3600\ \text{s}^2}{1^2\ \text{h}^2}\ \Big|\ \frac{24^2\ \text{h}^2}{1^2\ \text{day}^2}\ \Big|\ \frac{365^2\ \text{day}^2}{1^2\ \text{yr}^2}\ \Big|\ \frac{1\ \text{m}}{100\ \text{cm}}\ \Big|\ \frac{1\ \text{km}}{1000\ \text{m}}$$

$$=\frac{(3600\times24\times365)}{(10^2\times10^3)}\frac{\text{km}}{\text{yr}^2}=9.95\times10^9\ \text{km/yr}^2$$

أنظمة الوحدات :

الوحدات الأساسية: مثل الكتلة، الطول، الزمن، درجة الحرارة، المول، قوة التيار الكهربائي، قوة إشعاع الأشعة.

الوحدات المتعددة: مثل اليوم = 24 ساعة، والساعة = 60 دقيقة، والدقيقة = 60 ثانية، الكيلومتر= 1000 متر، والمتر=100 سنتيمتر، و سنتيمتر=10 مليمتر. والغرض من هذه الوحدات هو تبسيط وتفادي التعقيدات. فعلى سبيل المثال فان التعبير عن اليوم بـ 24 ساعة أسهل من القول بان اليوم يساوي 86400 ثانية.

الوحدات المشتقة: ويقصد بها جميع الكميات اللازمة لوصف ما يحصل في الطبيعة، كالسرعة أو القوة أو الشغل...لخ والتي يمكن اشتقاقها من الكميات الأساسية بحيث تكون وحداتها مكونة من وحدتين أساسيتين أو أكثر (m^3, (ft/min, $lb_m.ft/s^2$, $kg.m/s^2$.

جدول ١- ٢: الوحدات المشتقة من وحدات الأساسية في النظام العالمي (SI)

الكمية	الوحدة	الرمز	المساوي لها بالوحدات الأساسية
الحجم (Volume)	لتر (liter)	L	٠,٠٠١m^3 1000 cm^3
القوة (Force)	نيوتن (Newton) داين (dyne)	N dyne	1 $kg·m/s^2$ 1 $g.cm/s^2$
الضغط (Pressure)	باسكال (Pascal)	Pa	1 N/m^2
الطاقة، الشغل (Energy, work)	جول (Joule)	J	1 N·m
القدرة (Power)	وات (watt)	W	1 J/s

أنظمة القياس المستعملة من قبل المهندسين

نظام الوحدات الدولي (SI)

وهو النظام شائع الاستعمال عالميا ويعتمد على الكميات الأساسية التالية كما في الجدول ١- ٢

جدول ١- ٢: الوحدات بالنظام العالمي

الكمية	الوحدة	الرمز
الطول	متر	m
الكتلة	كيلوجرام	kg
الزمن	ثانية	s
المول	جرام مول	mol or g-mole
درجة الحرارة	الكلفين	K

نظام الوحدات الإنجليزي

وهو النظام الأقل شيوعا في الاستعمال العالمي ويعتمد على الكميات الأساسية التالية كما في الجدول ١- ٣:

جدول ١- ٣: الوحدات بالنظام الإنجليزي

الكمية	الوحدة	الرمز
الطول	القدم	ft
الكتلة	رطل	lb_m
الزمن	الثانية	s
المول	رطل مول	lb-mole
درجة الحرارة	رانكين	^oR

الجدول ١- ٤ يجمع أهم المضاعفات و الأجزاء المتعارف عليها:

جدول ١- ٤: الوحدات المضاعفة

البادئة	رمز البادئة	المعامل
نانو (nano)	n	10^{-9}
ميكرو (micro)	μ	10^{-6}
ملي (mili)	m	10^{-3}□
سنتي (centi)	c	10^{-2}
كيلو (kilo)	k	١٠٣
ميغا (mega)	M	١٠٦
غيغا (giga)	G	١٠٩
تيرا (tera)	T	١٠١٢

القوة والوزن

بناءا على قانون نيوتن الأول للحركة فان القوة عبارة عن حاصل ضرب الكتلة والتسارع (**F = m·a**)، حيث تمثل F القوة و m الكتلة و a التسارع. وعلى هذا فان وحدة القوة هي $kg·m/s^2$ أو $g·cm/s^2$ أو $lb·ft/s^2$ أو نيوتن (N) أو رطل قوة (lb_f).

مثال ١- ٢

أ. احسب القوة اللازمة بالنيوتن (N) لجسم كتلته 10 kg و تسارعه $25\ m/s^2$.

ب. احسب القوة اللازمة بالرطل (lb_f) لجسم كتلته $10\ lb_m$ و تسارعه $25\ ft/s^2$.

الحل:

أ.

بما أن: القوة = الكتلة × التسارع

$$\mathbf{F = m·a}$$

إذن:

$$F = \frac{10\ kg \mid \frac{25\ m}{s^2} \mid \frac{1\ N}{1\ kg \cdot m/s^2}}{} = 250\ N$$

ب.

بما أن: $lb_f \equiv 32.174\ lb_m \cdot ft/s^2$

إذن:

$$F = \frac{10\ lb_m \mid \frac{25\ ft}{s^2} \mid \frac{1\ lb_f}{32.174\ lb_m \cdot ft/s^2}}{} = 7.77\ lb_f$$

الوزن

يعرف الوزن بأنه القوة المطبقة على جسم ما بواسطة الجاذبية الأرضية (g) ووحدته نيوتن (N) أو رطل قوة (lb_f). أي أن:

$$\boldsymbol{W = m \cdot g}$$

مثال ١- ٣:

احسب وزن $2\ ft^3$ لماء كثافته $62.4\ lb_m/ft^3$ عند مستوى سطح البحر حيث تسارع الجاذبية يساوي $32.139\ ft/s^2$.

الحل:

أولا نوجد كتلة الماء: $\mathbf{m = \rho \cdot V}$

$$m = \frac{62.4\ lb_m}{ft^3} \mid 2\ ft^3 = 124.8\ lb_m$$

بما أن:

$$\boldsymbol{W = m \cdot g}$$

إذن وزن الماء:

$$W = \frac{124.8\ lb_m \mid \frac{32.139\ ft}{s^2} \mid \frac{1\ lb_f}{32.174\ ft/s^2}}{} = 124.7\ lb_f$$

المول:

إن الاستعمال الجاري لكلمة "مول" يشبه استعمالنا لكلمة مليون أو بليون أي انه عدد ضخم. و بمعنى أخر، إن المول هو الكمية التي تحتوي على عدد أفوجادرو (6.02×10^{23}) من أي صنف من الوحدات سواء أكانت هذه الوحدات ذرات أو جزيئات أو أيونات أو إلكترونات أو أي نوعية معينة أخرى للدقائق.

في النظام الدولي يعرف المول بكمية المادة التي تحوي عدة عناصر ذاتية كما هي حالة الذرات في ٠,٠١٢ كجم للكربون.

ويمكن حساب المول كالتالي:

$$\text{عدد المولات} = \frac{\text{وزن المادة}}{\text{الوزن ألجزيئي}}$$

وحدة وزن المادة = g، kg، lb_m

وحدة الوزن ألجزيئي = g/g-mol، kg/kmol، lb_m/lb-mol

مثال١- ٤

يحتوي وعاء على 4 lb_m من هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) (الوزن ألجزيئي= 40 lb_m/lbmol).
احسب كم lbmol و gmol مول هيدروكسيد الصوديوم يحتويه الإناء؟

الحل

وزن هيدروكسيد الصوديوم بـ lbmol

$$4.00\ lb_m\ NaOH \mid \frac{1\ lbmol\ NaOH}{40.0\ lb_m\ NaOH} = 0.1\ lbmol\ NaOH$$

وزن هيدروكسيد الصوديوم بـ gmol:

$$4.00\ lb_m\ NaOH \left| \frac{1\ lbmole\ NaOH}{40.0\ lb_m\ NaOH} \right| \frac{454\ gmol}{1\ lbmol} = 45.4\ gmol\ NaOH$$

مثال1- 5

خط أنابيب ينقل 4500 gal/h ماء، احسب الكمية المنقولة بـ m^3/s علما بأن 1gal= 3.785 $.10^{-3}\ m^3$

الحل:

$$\frac{4500\ gal}{h} \left| \frac{3.785\ 10^{-3}\ m^3}{1\ gal} \right| \frac{1\ h}{3600\ s} = 4.731\ 10^{-3}\ m^3$$

مثال١- ٦

حول ما يلي إلى الوحدات المطلوبة:

١- 250 g جرام إلى lb_m.
٢- 700 L إلى ft^3.
٣- 50 g/L إلى lb/ft^3.
٤- 29.4 lb_m/in^3 إلى kg/cm^3.
٥- 80 mil/h إلى m/s.
٦- 45 N/m^2 إلي lb_f/ft^2.
٧- 17 J.m إلى Btu
٨- 5 kW إلى J/s.

الحل:

(١)

$\because \quad 1\text{lb}_\text{m} = 454\,g$

$\therefore$

$$\frac{250\text{ g} \mid 1\text{ lb}_\text{m}}{\mid 454\text{ g}} = 0.551\text{ lb}$$

$\because \quad 1\,ft^3 = 28.32\,L$

$\therefore$

$$\frac{700\text{ L} \mid 1\text{ ft}^3}{\mid 28.32\text{ L}} = 24.72\text{ ft}^3$$

(٣)

$$\frac{50\text{ g}}{1\text{L}} \mid \frac{1\text{ lb}_\text{m}}{454\text{ g}} \mid \frac{28.32\text{ L}}{1\text{ ft}^3} = 3.12\text{ lb}_\text{m}/\text{ ft}^3$$

(٤)

$\because \quad 1in = 2.54cm$

$\therefore$

$$\frac{29.4\text{ lb}_\text{m}}{\text{in}^3} \mid \frac{0.454\text{ kg}}{1\text{ lb}_\text{m}} \mid \frac{1\text{ in}^3}{(2.54\text{ cm})^3} = 0.814\text{ kg}/\text{ cm}^3$$

(٥)

$\because \quad 1mil = 5280\ ft$

$1m = 3.28\ ft$

$\therefore$

$$\frac{80\text{ mil}}{\text{h}} \mid \frac{5280\text{ ft}}{1\text{ mil}} \mid \frac{1\text{ m}}{3.28\text{ ft}} \mid \frac{1\text{ h}}{3600\text{ s}} = 35.77\text{ m/s}$$

(٦)

$$\because \quad 1N = 1kg.m/s^2$$
$$1lb_m = 0.454kg$$

$$\therefore$$

$$\frac{45\ \text{N}}{\text{m}^2} \left| \frac{1\ \text{kg.m/s}^2}{1\ \text{N}} \right| \frac{1\ \text{lb}_\text{m}}{0.454\ \text{kg}} \left| \frac{1\ \text{m}}{3.28\ \text{ft}} \right| \frac{1}{32.174\ \text{ft.lb}_\text{m}/\text{s}^2.\text{lb}_\text{f}} = 0.939\ \text{lb}_\text{f}/\text{ft}^2$$

(٧)

$$\because \quad 1Btu = 1055J$$
$$1m = 3.28\ ft$$

$$\therefore$$

$$\frac{17\ \text{J.m}}{} \left| \frac{1\ \text{Btu}}{1055\ \text{J}} \right| \frac{3.28\ \text{ft}}{1\ \text{m}} = = 0.0529\ \text{Btu}$$

(٨)

$$\because \quad 1J = 2.773 \times 10^{-7}\ kW.h$$

$$\therefore$$

$$\frac{5\ \text{kW}}{} \left| \frac{1\ \text{J}}{2.773\ 10^{-7}\ \text{kW.h}} \right| \frac{1\ \text{h}}{3600\ \text{s}} = 5008.61\ \text{J/s}$$

مثال ١- ٧

استعمل عوامل التحويل التالية: $1\ \text{L} = 1000\ \text{cm}^3$,$1\ \text{in} = 2.54\ \text{cm}$, $1\ \text{ft} = 12\ \text{in}$ لإيجاد كم L في $1\ \text{ft}^3$.

الحل

$$\frac{1\ \text{ft}^3}{} \left| \frac{(12\ \text{in})^3}{(1\ \text{ft})^3} \right| \frac{(2.54\ \text{cm})^3}{(1\ \text{in})^3} \left| \frac{1\ \text{L}}{1000\ \text{cm}^3} \right. = 28.317\ \text{L}$$

مثال1- 8

احسب كم يلزم ft^3 لاستيعاب 500 lb من سائل كثافته تساوي $1.1\ \text{g/cm}^3$؟ وكم US gal إذا كان $7.481\ \text{U.S gal.} = 1\ \text{ft}^3$

الحل

$$V = m/\rho$$

$$\frac{500\ lb}{} \left| \frac{454\ g}{1\ lb} \right| \frac{cm^3}{1.1\ g} \left| \frac{1\ L}{1000\ cm^3} \right| \frac{1\ ft^3}{28.32\ L} = 7.28\ ft^3$$

عدد الـ US gal:

$$\frac{7.28\ ft^3}{} \left| \frac{7.481\ U.S\ gal}{1\ ft^3} \right. = 54.5\ gal$$

مثال 1- 9

سائل كثافته $1.3\ g/cm^3$ ، أوجد هذه الكثافة بـ lb_m/ft^3 .

الحل:

$$\frac{1.3\ g}{cm^3} \left| \frac{1\ lb_m}{454\ g} \right| \frac{1000\ cm^3}{1\ L} \left| \frac{28.32\ L}{1\ ft^3} \right. = 81.09\ lb_m/\ ft^3$$

مثال ١- ١٠

حول تسارع قدره $15\ ft/s^2$ إلى mil/h^2 .

الحل:

$$\frac{15\ ft}{s^2} \left| \frac{1\ mil}{5280\ ft} \right| \frac{(3600\ s)^2}{h^2} = 36818\ mil/\ h^2$$

مثال ١- ١١

حول معدل سريان حجمي لمائع من L/h إلى gal/min.

الحل:

$$\frac{1\ L}{h} \left| \frac{61.02\ in^3}{1\ L} \right| \frac{1\ gal}{23\ in^3} \left| \frac{1\ h}{60\ min} \right. = 0.044\ gal/min$$

مثال ١- ١٢

حول $20\ lb_m/(ft^2.min)$ إلى $kg/(m^2.s)$.

الحل:

$$\frac{20\ lb_m}{ft^2.min}\left|\frac{0.454\ kg}{1\ lb_m}\right|\frac{1\ ft^2}{(0.3048\ m)^2}\left|\frac{1\ min}{60\ s}\right. = 1.63\ kg/(m^2.s)$$

مثال ١- ١٣

أوجد الطاقة الحركية لسيارة كتلتها 2 ton تسير بسرعة 70 mil/h ثم عبر عنها بالوحدات التالية: J، ergs، lb_f·ft، hp·s، W·s، L·atm.

الحل:

$$\text{الطاقة الحركية} = \tfrac{1}{2}\cdot m\cdot v^2$$

في النظام الدولي:

الكتلة:

$$\frac{2\ ton}{}\left|\frac{1000\ kg}{1\ ton}\right. = 2000\ kg$$

السرعة:

$$\frac{70\ mil}{h}\left|\frac{5280\ ft}{1\ mil}\right|\frac{0.3048\ m}{1\ ft}\left|\frac{1\ h}{3600\ s}\right. = 31.29\ mil/s$$

إذن:

$$\text{الطاقة الحركية} = \tfrac{1}{2}\cdot 2000\ kg\cdot(31.29\ mil/s)^2 = 9.8\ 10^5\ kg\cdot mil^2/s^2$$

$$= 9.8\ 10^5\ J$$

$$\frac{9.8\ 10^5\ J}{}\left|\frac{10^7\ erg}{1\ J}\right. = 9.8\ 10^{12}\ erg$$

$$9.8\ 10^5\ J \times \frac{0.7376\ lb_f.ft}{1\ J} = 7.23\ 10^5\ lb_f.ft$$

$$9.8\ 10^5\ J \times \frac{1.34\ 10^{-3}\ hp.s}{1\ J} = 1.31\ 10^3\ hp.s$$

$$9.8\ 10^5\ J \times \frac{1\ W.s}{1\ J} = 9.8\ 10^5\ W.s$$

$$9.8\ 10^5\ J \times \frac{1\ L.atm}{101.3\ J} = 9.67\ 10^3\ L.atm$$

مثال ١- ١٤

يعبر عن كثافة مادة عضوية بالمعادلة الخطية التالية:

$$\rho = \rho_0 + a.T$$

حيث:

ρ = الكثافة lb_m/ft^3 عند درجة الحرارة T

ρ_0 = الكثافة lb_m/ft^3 عند درجة الحرارة T_0

ما هي وحدات الثابت a لكي تكون المعادلة منسجمة علما بأن وحدة درجة الحرارة هي ^oF؟

الحل

يجب أن تكون أبعاد الحد الأيمن والأيسر للمعادلة ثابتة و تساوي lb_m/ft^3 .

من هنا فان أبعاد الحد: $a.T = lb_m/ft^3$

وإذا كانت وحدة درجة الحرارة هي ^oF فان وحدة الثابت a هي :

$lb_m/(^oF\ .ft^3)$

مثال ١- ١٥

في الرقم اللابعدي رقم"رينولدز" والذي يعبر عن نوع السريان للموائع داخل الأنابيب و غيرها:

$$Re = D.u.\rho/\mu$$

حيث:

D: القطر

ρ : كثافة المائع

u : سرعة المائع

μ : لزوجة المائع

ما هي وحدات اللزوجة إذا كانت وحدات القطر و الكثافة و السرعة كالتالي: m و kg/m^3 و m/s على التوالي؟

الحل

من معادلة رقم رينولدز تكون اللزوجة كالتالي:

$$\mu = D.u.\rho/Re$$

$$\frac{m \mid \frac{m}{s} \mid \frac{kg}{m^3}}{} = kg/\ s\ .m$$

مثال ١- ١٦

نحاس موصليته الحرارية k تساوي 30 Btu/(h.ft.^oF).

حول هذا القيمة إلى: cal/(s.m. ^oC).

علما بأن:

1 Btu = 252 cal

1 ft = 0.3048 m

1 h = 3600 s

$1^oF = 5/9\ \ 1\ ^oC$

الحل:

$$\frac{17\ Btu \mid 252\ cal \mid 1\ h \mid 1\ ft \mid 1\ ^oF}{h.ft.\ ^oF \mid 1\ Btu \mid 3600\ s \mid 0.3048\ m \mid 5/9\ ^oC} = 7.03\ cal/(s.m.\ ^oC)$$

مثال 1- ١٧

معامل انتقال الحرارة بالحمل في وسط غازي عند السريان المضطرب ممثل بالمعادلة التالية:

$$h = 17\, C_p . G^{0.8}/D^{0.2} \qquad (1\text{-}2)$$

حيث:

السعة الحراري (C_p) : $Btu/(lb.^oF)$

القطر الداخلي للأنبوب (D) : in

السرعة الكتلية للغاز (G) : $lb/(ft^2.s)$

معامل انتقال الحرارة بالحمل (h) : $Btu/(h.ft^2.^oF)$

حول المعادلة (2-1) إلى الصيغة التالية:

$$h_1 = x_1\, C_{p1}\, G_1^{0.8} D_1^{0.2} \qquad (1\text{-}3)$$

حيث:

السعة الحراري: (C_{p1}) : $kcal/(kg.^oC)$

القطر الداخلي للأنبوب: (D_1) : cm

السرعة الكتلية للغاز: (G_1) : $kg/(m^2.s)$

معامل انتقال الحرارة بالحمل: (h_1) : $kcal/(h.m^2.^oC)$

معلومات إضافية:

$1\ kcal = 3.97\ Btu$

$1\ m = 3.28\ ft$

$1\ cm = 0.3937\ in$

$1\ kg = 2.2\ lb_m$

الحل:

الطريقة المتبعة هي معاملة السعة الحرارية و القطر و سرعة الكتلة و معامل انتقال الحرارة كما لو كان قيمة عددية و تحويلها إلى الوحدات المطلوبة.

السعة الحرارية:

$$\frac{\text{Btu}}{\text{lb }^{o}\text{F}} \left| \frac{1\text{ kcal}}{3.97\text{ Btu}} \right| \frac{2.2\text{ lb}}{1\text{ kg}} \left| \frac{9/5\ ^{o}\text{F}}{1^{o}\text{C}} \right. = 1\ \text{kcal}/(\text{kg}.^{o}\text{C})$$

إذن: $C_p = C_{p1}$

سرعة الكتلة:

$$\frac{lb_m}{ft^2.s} \left| \frac{1\text{ kg}}{2.2\ lb_m} \right| \frac{1\ ft^2}{0.093\ m^2} = 4.88\ \text{kg}/(m^2.s)$$

إذن:

$$G = 0.205\ G^1$$
$$G^{0.8} = 0.2815\ G_1^{0.8}$$

القطر الداخلي:

$$\frac{1\text{ in}}{} \left| \frac{2.54\text{ cm}}{1\text{ in}} \right. = 2.54\text{ cm}$$

إذن:

$$D = 0.393\ D_1$$
$$D^{0.2} = 0.8299\ D_1^{0.2}$$

معامل انتقال الحرارة:

$$\frac{\text{Btu}}{\text{h.ft}^2.^{o}\text{F}} \left| \frac{1\text{ kcal}}{3.97\text{ Btu}} \right| \frac{1\ ft^2}{0.093\ m^2} \left| \frac{9/5\ ^{o}\text{F}}{1^{o}\text{C}} \right. = 4.875\ \text{kcal}/(\text{h.m}^2.^{o}\text{C})$$

إذن:

$$h = 0.205\ h_1$$

بعد التعويض عن القيم في المعادلة (2-1) نصل إلى:

$$0.204\ h_1 = 17\ C_p^{\,1}(0.2815)G_1^{0.8}/(0.8299\ D_1^{0.2})$$

$$h_1 = 28.27\ C_p^{\,1}G_1^{0.8}/D_1^{0.2}$$

مثال ١- ١٨

محلول (solution) يحتوي على 20 ٪ وزنا من ملح الطعام (NaCl) في الماء (H_2O).

أ. احسب kg NaCl/kg H_2O

ب. كم تصبح النسبة المئوية (٪) للملح إذا تبخر 50% من الماء؟

ج. احسب كمية الماء التي يلزم تبخيرها لتصبح نسبته المئوية في المحلول تساوي 25٪ ؟

الحل:

أ. لنفرض أن لدينا 100 kg من المحلول:

وان نسبة الملح في المحلول :x

ونسبة الماء في المحلول : y

أي أن : $(x)/(x+y) = 0.20$

ومنها نستنتج أن:

$x = (0.20/0.80)y = 0.25\ y$

$x/y = 0.25$ kg NaCl/kg H_2O

ب.

إذا كانت كتلة الماء في المحلول = 80 kg

أي أن كتلة الماء المتبقية بعد تبخر 50%منه = 80 kg - 80 kg × 0.5 = 40 kg

كتلة الماء والملح في المحلول بعد تبخر 50% من الماء = 40 kg H_2O + 20 kg NaCl = 60 kg

النسبة المئوية للملح = (60 kg/20 kg) × 100 = 33%

ج.

كتلة 25 % من الماء في المحلول = 80 kg H_2O × 0.25 = 20 kg H_2O

مثال ١- ١٩

خليط يحوي على طين مسحوق في الماء. النسبة المئوية للماء = 75 %. على اثر عملية ترشيح متبوعة بتجفيف تم فصل 80% من الماء لتصبح كتلته = 600 kg.

أ. ما هي كتلة الخليط قبل عملية الفصل؟

ب. ما هي نسبة الطين في الماء بعد العمليتين؟

الحل

أ.

لنفرض m كتلة الخليط في البداية.

إذن: كتلة الماء في الخليط= $0.75 \times m$

كتلة الماء المتبخر: $0.80 \times 0.75 \times m$

كتلة الماء المتبقي بعد الترشيح: $600\ kg = 0.20 \times 0.75 \times m$

إذن:

$$m = 600/(0.20 \times 0.75) = 4000\ kg$$

كتلة الماء المتبخر: $2400\ kg = 4000 \times 0.80 \times 0.75$

كتلة الطين الجاف في البداية: $1000\ kg = 0.25 \times m$

كتلة الطين والماء بعد الترشيح و التجفيف: $1600\ kg = 4000 - 2400$

ب.

النسبة المئوية للطين بعد العمليتين: $(1600\backslash 1000) \times 100 = 62.5\%$

مثال ١- ٢٠

إذا تم تبخير محلول ملح الصوديوم (NaCl) في الماء من 4% إلى 5%.

احسب:

أ. نسبة المئوية للماء المتبخر من المحلول الأصلي؟

ب. نسبة النقص في كتلة المحلول الأصلي؟

الحل

أ.

لنفرض أن m_1 كتلة المحلول الأصلي و m_2 كتلة المحلول بعد عملية التبخير

كتلة الملح في البداية: $0.04 \times m_1$

كتلة الملح في النهاية: $0.05 \times m_2$

علما أن : $0.04 \times m_1 = 0.05 \times m_2$

نسبة الماء المتبخر بالنسبة لكتلة الخليط:

$(m_1 - m_2)/m_1 = 1 - m_2/m_1 = 0.2 = 20\ \%$

نسبة الماء المتبخر بالنسبة لكتلة الماء في البداية:

$(m_1 - m_2)/0.96m_1 = 1.041(1 - m_2/m_1) = 0.2083 = 20.83\ \%$

أ- نسبة النقص في كتلة المحلول الأصلي:

$(m_1 - m_2)/ m_1 = (1 - m_2/m_1) = 0.20 = 20\ \%$

مثال ١- ٢١

تم تخفيض نسبة الرطوبة في ورق مصنع (نسبة الرطوبة فيه 10 كيلو جرام ماء/100 كيلو جرام ورق جاف) بعد عملية تجفيف داخل مجفف نفقي إلى 2%.

احسب كم كيلو جرام ماء يتبخر لكل ساعة إذا كان معدل دخول الورق إلى المجفف = ١٠٠٠ كيلو جرام لكل ساعة؟

الحل

كتلة الماء في الورق قبل التجفيف m_1 : $90.91\ kg = 1000 \times (110\backslash 10)$

كتلة الورق قبل التجفيف m_2 : $909.1\ kg = 1000 \times (110\backslash 100)$

كتلة الماء في الورق بعد التجفيف m_3 : $18.18\ kg = 0.02 \times 909.1$

كتلة الماء المتبخر أثناء التجفيف m_4 : $72.72\ kg = 18.18 - 90.91$

معدل التبخر: $72.72\ kg/h$

مثال ١- ٢٢

١٨- احسب رقم رينولدز ($Re = Du\rho/\mu$) لأنبوب قطره ($D = 1\ in$) يجري داخله الماء بسرعة $u = 4\ ft/s$ عند درجة حرارة تساوي $60\ °F$ علما أنه عند هذه الدرجة تكون كثافة و لزوجة الماء هما على التوالي: $\mu = 1.1\ cp\ ,\ \rho = 0.998\ kg/m^3$

قارن بين النتيجتين باستعمال وحدات fps و S.I .

الحل:

وحدات النظام الانجليزي

القطر

$$\frac{1\text{ in}}{\frac{1\text{ ft}}{12\text{ in}}} = 0.0833\text{ ft}$$

السرعة

$$\frac{4\text{ ft}}{\text{s}} \left| \frac{3600}{1\text{ hr}} \right. = 14400\text{ ft/h}$$

الكثافة

$$\frac{0.998\text{ g}}{\text{cm}^3} \left| \frac{1\text{ lb}}{454\text{ g}} \right| \frac{(30.48\text{ cm})^3}{\text{ft}^3} = 62.30\text{ lb/ft}^3$$

اللزوجة

$$\frac{1.1\text{ cp}}{\frac{2.42\text{ lb/(ft. h)}}{1\text{ cp}}} = 2.66\text{ lb/(ft.h)}$$

رقم رينولدز

$$\frac{0.0833\text{ ft}}{2.66\text{ lb/(ft.h)}} \left| \frac{14400\text{ ft}}{\text{h}} \right| \frac{62.30\text{ lb}}{\text{ft}^3} = 28100$$

ب - وحدات S.I

القطر

$$\frac{1\text{ in}}{\frac{0.0254}{1\text{ in}}} = 0.0833\text{ ft}$$

السرعة

$$\frac{4\ \text{ft}}{\text{s}} \left| \frac{0.3048}{1\ \text{ft}} \right. = 1.22\ \text{m/s}$$

الكثافة

$$\frac{0.998\ \text{g}}{\text{cm}^3} \left| \frac{1\ \text{kg}}{1000\ \text{g}} \right| \frac{10^6\ \text{cm}^3}{1\ \text{m}^3} = 998\ \text{kg/m}^3$$

اللزوجة

$$\frac{1.1\ \text{cp}}{} \left| \frac{0.1\ \text{N.s/m}^2}{100\ \text{cp}} \right. = 1.1\ 10^{-3}\ \text{N.s/m}^2$$

رقم رينولدز

$$\frac{0.0254\ \text{m}}{1.1\ 10^{-3}\ \text{N.s/m}^2} \left| \frac{1.22\ \text{m}}{\text{s}} \right| \frac{998\ \text{kg}}{\text{m}^3} = 28100$$

تمارين

١- كم عدد الأمتار المكعبة في قضيب طوله 30 in و قطره 0.35 in.

٢- حول ما يلي:

أ. 50 mi/hr إلى ft/s

ب. 30 lb/in^2 إلى kg/m^2

ج. 7 cm/hr^2 إلى m/s^2

د. 1 L/hr إلى gal/min

هـ. 10 $lb/(ft^2.min)$ إلى $kg/(m^2.s)$

و. 59 g H_2O إلى lb mole H_2O

ز. 14.7 psi إلى lb/ft^2

ك. 100 °C إلى K

ل. 70 kg إلي lb

٣- أوجد السرعة بالأقدام/ثانية لماء يجري داخل أنبوب بمعدل سريان يساوي 60 U.S gal/min، إذا كانت مساحة مقطع الأنبوب العرضي تساوي $3.355\ in^2$.

٤- معادلة Colburn لانتقال الحرارة ممثلة بما يلي:

$$(h/C_p.G)\ (C_p\mu\ /k)^{2/3} = 0.023/(\ D.G/\ \mu)^{0.2}$$

حيث:

السعة الحرارية C_p : Btu/(lb °F)

اللزوجة μ : lb/(h.ft)

الموصلية الحرارية k : Btu/(h. ft. ° F)

قطر الأنبوب D: ft

سرعة الكتلة G: $lb/(h.ft^2)$

ما هي وحدات معامل انتقال الحرارة h؟

٥- أثبت صحة التحويلات التالية:

أ. $1.98721\ ft^3 = 28.317\ L$

ب. $1\ m^3 = 35.313\ ft^3$

ت. $1\ g\ cm/s^2\ (dyn) = 7.2330\ 10^{-5}\ lb_m.ft/s^2$

ث. $1lb_f = 4.448\ N$

ج. $1\ g\ cm/s^2\ (dyn) = 2.2481\ 10^{-6}\ lb_f$

ح. $1\ psia = 1\ lbf/in^2$

خ. $1\ lbf/ft^2 = 4.7880\ 10^2\ dyn/cm^2 = 47.88\ N/m^2$

د. $1\ mm\ Hg\ (0\ °C) = 1.33.224\ 10^2\ N/m^2 = 0.1333224\ kPa$

ذ. $1\ hp = 550\ ft.lb/s$

ر. $1\ hp = 0.7068\ Btu/s$

ز. $1\ J/s = 1\ W$

س. $1\ J = 1\ N.m = 1\ kg.m/s^2$

ش. $1\ ft.lb_f = 1.35582\ J$

ص. $1\ ft.lb_f/lb_m = 2.9890\ J/kg$

ض. $1\ Btu/(h.ft.\ °F) = 4.1365\ 10\text{-}3\ cal/(s.cm.\ °C)$

ط. $1\ Btu/(h.ft.\ F) = 1.73073\ W/(\ m.\ K)$

ظ. $1\ Btu/(h.ft.\ °F) = 1.3571\ 10^{-4}\ cal/(s.cm^2.\ °C)$

ع. $1\ kcal/(h.m^2.\ °F) = 0.2048\ Btu/(h.ft^2.\ °F)$

غ. $1cp = 10^{-3}\ Pa.s = 10^{-3}\ kg/(m.s) = 10^{-3}\ N.s/m^2$

ف. $1\ cp = 2.0886\ 10^{-5}\ lb_f.s/ft^2 1\ cm^2/s = 3.875\ ft^2/h$

ق. $1\ cm^2/s = 10^{-}4\ m^2/s$

ك. $1\ m^2/h = 10.764\ ft^2/h$

ل. $1g/(s.cm^2) = 7.3734\ 10^3\ lb_m/(h.ft^2)$

م. $1\ g\ mol/(s.cm^2) = 7.3734\ 10^3\ lb\ mol/(h.ft^2)$

ن. $1\ Btu/(h.ft^2) = 3.1546\ W/m^2$

ه. $1\ cal/h = 1.1622\ 10^{-3}\ W$

و. $1\ Btu/(lb_m.°\ F) = 4.1868\ kJ/(kg.K)$

ي. $1\ ft.lbf/lb_m = 2.9890\ J/kg$

أ. $1\ cal/(g.\ °C) = 4.1868\ kJ/(kg.K)$

ب ب. $1\ kcal/(g.mol) = 4.1840\ 103\ kJ/(kgmol)$

ت ت. $1\ cm/s = 10^{-2}\ m/s$

ث ث. $1\ ft/h = 8.4668\ 10^{-5}\ m/s$

٦- تقل كثافة الجو كلما ازداد الارتفاع عن سطح الأرض. فعندما يكون الضغط مساويا 400 mm Hg، احسب كم ($in\ H_2O$) و (kN/m^2) و (atm) المساوية لهذا الضغط؟

٧- الضغط المقاس داخل خزان ثاني أكسيد الكربون (CO_2) يساوي 51 psi .ما هو الضغط المطلق داخل الخزان إذا كان الضغط البارومتري 28 in Hg؟

٨- احسب الضغط المطلق لهواء يجري داخل قناة بضغط يساوي 5 in H_2O بالوحدات التالية:

أ- $mm\ H_2O$

.a Pa

إذا كان الضغط البارومتري:730 mm Hg

٩- ما هو الضغط المطلق داخل خزان إذا كان التخلخل داخله يساوي 25.4 in Hg و الضغط البارومتري 14.7 psia؟

١٠- ما هو حجم الزئبق، بـ cm^3، في أنبوب قطره الداخلي 8 mm و طوله 3 ft؟

١١- إذا كانت كثافة الزئبق تساوي $13.6\ g/cm^3$ احسب كثافته بالوحدات التالية:

أ- lb/ft^3

ب- kg/m^3

١٢- محلول ملحي كثافته $1.2\ g/cm^3$ وحجمه 0.1 L عند درجة حرارة تساوي 0^oC ، يحتوي على 25 g من ملح الطعام.

أ- ما هي تركيبة المحلول بالكتلة (% ملح)؟

ب- احسب كتلة الملح بـ lb الممكن إذابتها في $1\ ft^3$ من المحلول؟

ت- ما هي تركيبة المحلول بالمولات (%ملح)؟

١٣- لمعايرة ثرمومتر مقابل ثرمومتر قياسي يعطي قراءة تساوي 22 °F. كم تكون قراءة الثرمومتر بالوحدات K, °C؟

١٤- إذا رفعت درجة حرارة المادة من 0° F إلى100 °F، احسب:

أ- درجات الحرارة البدائية و النهائية بالوحدات K, °R؟

ب- مقدار التغيير بدرجة الحرارة بالوحدات K, °R ؟

ج- الفرق بدرجة الحرارة بالوحدات K, °R عند ارتفاع درجة الحرارة بمقدار100 °F.

١٥- أثبت ما يلي:

أ- $T(°F) = 2[\ T(°C) + 0.1\ (160\ -\ (°C))]$

ب- $T(°F) = [2\ T(°C) - 0.1\ (\ 2\ T(°C))] + 32$

١٦- احسب الضغط المقاس على عمق 5 mil تحت سطح البحر عند 60 °F بـ lb_f/in^2 إذا كان الوزن النوعي لماء البحر عند 60 °F يساوي 1.042.

أسس التقنية الكهربائية

متغيرات العمليات الكيميائية

الجدارة

فهم أساسيات الحسابات الكيميائية للسهر على التشغيل الكفء لأجهزة الإنتاج في الصناعة ، المحافظة على الطاقة وإدراك الأسباب الكامنة وراء مشاكل التصنيع.

الأهداف

في نهاية هذا الفصل يكون الطالب قادرا على:

- معرفة متغيرات العمليات الكيميائية (درجة الحرارة، الضغط، الكسر المولي، الكسر الحجمي، الكسر الكتلي، الكثافة، الوزن النوعي)
- المصطلحات المستعملية في طرق التحليل و القياسات.

مستوى الأداء المطلوب : أن لا تقل الجدارة عن ٩٥ ٪.

الوقت المتوقع للتدريب : ١٥ ساعة.

الوسائل المساعدة : اعتمادا الطريقة المتبعة في المقرر لحل المسائل.

متطلبات الجدارة

قبل دراسة هذا الفص يجب أن يكون الطالب ملما بالعلوم التالية:

الكيمياء العامة

الكيمياء الفيزيائية

الديناميكا الحرارية الكيمائية

الرياضيات الأساسية

الكثافة (ρ) Density

هي نسبة الكتلة على وحدة الحجم.

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (2-1)$$

يعبر عن الكثافة بالوحدات kg/m^3 , g/cm^3 , $1b_m/ft^3$

يحتوي تعبير الكثافة عادة على كل من القيمة العددية والوحدات المرافقة والجدول التالي يوضح كثافة الماء عند درجة حرارة($4^\circ C$) للأنظمة المختلفة:

النظام	كثافة الماء
النظام الدولي (SI)	$1000\ kg/m^3$ $1.0\ g/cm^3$
النظام الأنجليزي	$62.4\ 1b_m/ft^3$

قياس الكثافة

١. للمواد الصلبة: بطريقة الإزاحة لمعرفة الحجم ويشترط أن وزن هذه المادة معروف.
٢. للمواد السائلة: بجهاز الهيدرومتر.
٣. للمواد الغازية: بميزان ادواردز.

الوزن النوعي (S.G) Specific Gravity

هو نسبة مجردة من الأبعاد (الوحدات) بين كثافة المادة ذات الاهتمام (A) إلى المادة المتخذة كمرجع (reference).

$$S.G. = \frac{\rho}{\rho_{ref}} \qquad (2-2)$$

و يعتبر الماء مرجع للسوائل والمواد الصلبة، لذا فالوزن النوعي (S.G.) هو نسبة كثافة المادة إلى كثافة الماء. أما الوزن النوعي للغازات فالمرجع هو الهواء ويمكن أن ينسب إلى غازات أخرى.
وكثافة السوائل لا تعتمد على الضغط، ولكن تتغير مع درجة الحرارة. لذا فانه من الضروري تثبيت درجة الحرارة عند نشير إلى الوزن النوعي.

مثال ٢- ١

إذا كان الوزن النوعي لثانى البرومـوبنتين مساويا 1.57 ، احسب كثافته بالوحدات المختلفة لنظام الوحدات.

الحل

$$S.G.=\frac{\rho_A}{\rho_{H_2O}}$$

$$\rho_A = S.G. \times \rho_{H_2O}$$

$$\rho_A = 1.57 \times (1000\ \frac{kg}{m^3}) = 1570\ \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_A = 1.57 \times (1\ \frac{g}{cm^3}) = 1.57 \frac{g}{cm^3}$$

$$\rho_A = 1.57 \times (62.4\ \frac{lb_m}{ft^3}) = 97.9\ \frac{lb_m}{ft^3}$$

الحجم النوعي Specific Volume (S.V.)

الحجم النوعي لأي مركب هو مقلوب الكثافة **(S.V. = 1/ρ)** ويعبر عنه بالوحدات التالية:

$$ft^3/1b_m,\ cm^3/g,\ m^3/kg$$

مثال ٢- ٢

احسب الحجم النوعي لثاني البروموبنتين في المثال ٢- ٢.

الحل

$$\text{الحجم النوعي لثاني البروموبنتين} = \frac{١}{\text{كثافة ثاني البروموبنتين}}$$

$$S.V.=\frac{1}{1570\frac{kg}{m^3}}=6.369\times10^{-4}\frac{m^3}{kg}$$

$$S.V.=\frac{1}{1.570\frac{kg}{m^3}}=0.6369\frac{cm^3}{g}$$

$$S.V.=\frac{1}{97.9\frac{lb_m}{ft^3}}=0.0102\frac{ft^3}{lb_m}$$

طرق التعبير عن تراكيب المخاليط والمحاليل

هناك طرق مختلفة وشائعة الاستعمال للتعبير عن تركيب المخاليط والمحاليل، ولتوضيحها نفرض أن خليط مكون من مادتين A و B حيث تحتوى المادة A على (x kg) بينما تحتوى المادة B على (y kg) . فإذا كانت الأوزان الجزيئية للمادتين A وB تساوي (M_A kg/mol) و (M_B kg/mol) على التوالي وحجم الخليط يساوى (V m^3). . عند فصل المادتين A و B من الخليط إلى حالتهما النقية وجد أن حجمهما يكون ,, V_A و V_B على التوالي.

النسبة المئوي (٪) الوزنية (%) Weight

تحسب النسبة المئوية الوزنية لأي مادة في خليط بقسمة وزنه تلك المادة على مجموع أوزان المواد في الخليط كما في المعادلة أدناه:

$$\text{النسبة المئوية (\%) الوزنية للمادة A} = \frac{\text{وزن المادة A}}{\text{(وزن المادة A + وزن المادة B)}} \times ١٠٠$$

إن هذه الطريقة شائعة الاستعمال لمركبات المواد الصلبة والسائلة ولا تستعمل عادة للحالات الغازية.

و أحد الفوائد المستخلصة من تعبير التركيب بالنسبة المئوية الوزنية هو عدم تغير قيمة النسبة بتغير درجة حرارة الخليط (عند افتراض عدم وجود أي تبخر أو تبلور أو تفاعل كيميائي). ويجب أن يكون حاصل جمع جميع النسب المئوية لأوزان مركبات الخليط يساوى مائة.

النسبة المئوية (٪) الحجمية (%) Volume

تحسب النسبة المئوية الحجمية لأي مادة في خليط بقسمة حجم تلك المادة على مجموع احجام المواد في الخليط كما هو مبين في المعادلة أدناه:

$$\text{النسبة المئوية الحجمية للمادة A} (\%) = \frac{\text{حجم المادة A}}{\text{(حجم المادة A + حجم المادة B)}} \times ١٠٠$$

وتستعمل هذه النسبة في اغلب الأحيان للغازات تحت الضغوط المنخفضة وفى بعض الأحيان للسوائل ونادرا ما تستعمل للمواد الصلبة، وأي نسبة مئوية للغازات تذكر بدون بيان نوعها تؤخذ بأنها نسبة مئوية حجمية.

و.يتم تحليل الغازات ومركباته بدرجة حرارة الغرفة وتحت الضغط الجوى. ويسلك تقريبا الخليط ومركباته الغازية المفردة سلوك الغاز المثالي.

ويمكن الحصول على الحجم الكلى بجمع أحجام المواد النقية للخليط:

$$V_A + V_B + ... = V \qquad (2\text{-}3)$$

ويجب أن يكون حاصل جمع النسب المئوية الحجمية للمركبات يساوي مائة. وينتج عن أي تغيير بدرجة الحرارة تغير مساوي بالأحجام الجزيئية للمركبات، لذا فان التركيب الحجمى للغازات ثابت بتغير درجة الحرارة.

أما في حالة المحاليل السائلة ففي اغلب الأحيان يلاحظ حدوث تقلص آو تمدد بحجم الخليط أي ان إن حاصل جمع أحجام المركبات النقية قبل الخلط لا يساوي حجم الخليط لذا فان النسبة المئوية في هذه الحالة لا تساوى مائة، إضافة إلى ذلك فإن صفات التمدد للمركبات النقية فيما بينها في الغالب غير متساوية وتختلف عما عليه للخليط. .ولهذا السبب فان أي تغير بدرجة الحرارة سيؤدى إلي تغير تركيب المحلول السوائل ووفقا لهذا فإن حساب النسبة المئوية الحجمية لمحاليل السوائل يجب أن يتبعها علاقة تغير الحجم مع درجة الحرارة.

مثال ٢- ٣

إذا كان 215 kg من الزئبق تحتل حجم قدره $0.56\ ft^3$ عند 20^oC وعُلم أن تغير حجم الزئبق مع درجة الحرارة يمكن التعبير عنه بالمعادلة التالية:

$$V(T)=V_0(1+0.18182\times10^{-3}T+0.0078\times10^{-6}T^2) \qquad (2\text{-}4)$$

١. احسب الحجم المحتل بواسطة الزئبق إذا رفعت درجة الحرارة إلى $100\ ^oC$.

٢. افترض أن الزئبق وضع في أنبوب قطره يساوي 0.25 in ، احسب التغير في الارتفاع عندما ترفع درجة حرارة الزئبق من 20^oC إلى $100\ ^oC$.

الحل

١. من المعادلة (2-4)

$$V(100^oC)=V_0(1+0.18182\times10^{-3}(100)+0.0078\times10^{-6}(100)^2) \qquad (2-5)$$

و

$$V(20^oC)=0.560ft^3=V_0(1+0.18182\times10^{-3}(20)+0.0078\times10^{-6}(20)^2) \qquad (2-6)$$

بإيجاد قيمة V_0 من المعادلة 2-6

$$V(100^oC)=0.568ft^3 \qquad (2-7)$$

٢. حجم الزئبق في الأنبوب يساوي:

$$V=\frac{\pi D^2H}{4} \qquad (2-8)$$

حيث تمثل:

D: قطر الأنبوب.

H: الارتفاع.

$$H(100^oC)-H(20^oC)=\frac{V(100^oC)-V(20^oC)}{\frac{\pi D^2}{4}} \qquad (2-9)$$

D = (0.25/12) ft
= 23.5 ft

الكسر الكتلي و الكسر المولى Mass and Mole Fractions

غالبا ما تحتوي تيارات (streams) العملية على أكثر من مادة في صورة خليط من السوائل أو الغازات.

ويمكن التعبير عن التركيب الكتلي (mass fraction, x_i) أو المول (mole fraction, y_i) بواسطة المعادلات التالية:

$$\text{الكسر الكتلي للمادة A } (x_A) = \frac{\text{كتلة المادة A}}{\text{(الكتلة الكلية للخليط)}} \left(\frac{\text{Kg A}}{\text{Kg total}}\right) \left(\frac{\text{lb}_m\text{ A}}{\text{lb}_m\text{ total}}\right)$$

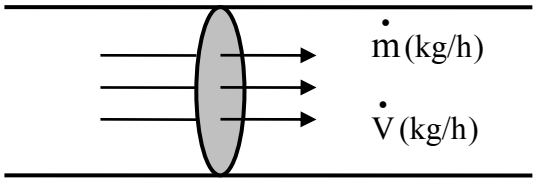
و

$$\text{الكسر المولي للمادة A } (y_A) = \frac{\text{عدد مولات المادة A}}{\text{(عدد المولات الكلية للخليط)}} \left(\frac{\text{kmol A}}{\text{kmol total}}\right) \left(\frac{\text{lb mol A}}{\text{lb mol total}}\right)$$

ويمكن التعبير عن الكسر الكتلي أو المولي كنسبة مئوية كتلية أو مولية بضرب x_A أو y_A في ١٠٠ ويجب ان يساوي حاصل جمع الكسر الكتلي أو المولي مساويا لواحد (١).

معدلات السريان الكتلي والحجمي Mass and Volumetric Flow Rate

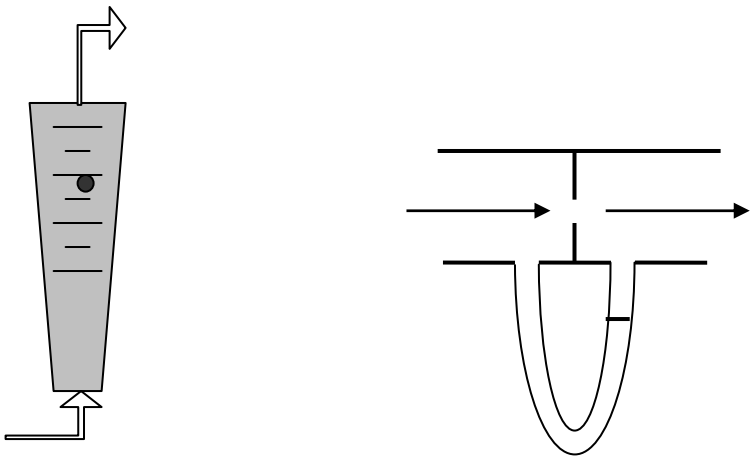
معظم العمليات يتخللها حركة للمواد فيما ببين وحدات العمليات أو من نقطة إلى أخرى. معدل انتقال هذه المواد هو معدل سريانها أو تدفقها. ويعبر عن معدلات السريان لتيارات العملية بمعدل السريان الكتلي (mass flow rate) $\frac{\text{كتلة}}{\text{وقت}}$ أو معدل سريان حجمي (volumetric flow rate) $\frac{\text{حجم}}{\text{وقت}}$



ويمكن استخدام الكثافة معدل السريان ألحجمي إلى معدل سريان كتلي أو العكس كما يلي:

$$\text{الكثافة } (\rho) = \frac{\text{الكتلة } (m)}{\text{الحجم } (V)} = \frac{\text{معدل السريان الكتلي } (\dot{m})}{\text{معدل السريان ألحجمي } (\dot{V})}$$

ويقاس معدل السريان بالروتاميتر (Rotameter) والاورفيس ميتر (Orifice meter).



(ب) (أ)

شكل ٢- ١: (أ) اورفيس ميتير (ب) روتاميتير

مثال ٢- ٤

محلول يحتوي على نسبة كتلية تساوي 15% من المادة A ($x_A = 0.15$) و نسبة مولية تساوي 20% من المادة B ($y_B = 0.20$). احسب:

١. كتلة المادة A في 175 kg من المحلول.
٢. معدل التدفق الكتلي للمادة A إذا كان معدل التدفق للمحلول يساوي 53 lb_m/h.
٣. معدل التدفق المولي للمادة B إذا كان معدل التدفق للمحلول يساوي 1000 mol/min.
٤. معدل التدفق المولي للمحلول إذا كان معدل التدفق المولي للمادة B يساوي 25 kmol B/s.
٥. كتلة المحلول المحتوي على 300 lb_m من المادة A.

الحل

١.

$$\frac{0.15 \text{ kg A}}{\text{kg محلول}} \left| \frac{175 \text{ kg محلول}}{} \right. = 26 \text{ kg A}$$

٢.

$$\frac{8.0\ lb_m\ A}{h} = \frac{0.15\ lb_m\ A}{lb_m} \left| \frac{53\ lb_m}{h} \right.$$

٣.

$$\frac{200\ mol\ B}{min} = \frac{0.2\ mol\ B}{mol} \left| \frac{1000\ mol}{min} \right.$$

٤.

$$\frac{140\ kmol\ \text{محلول}}{s} = \frac{1\ kmol\ \text{محلول}}{0.20\ kmol\ B} \left| \frac{28\ kmol\ B}{s} \right.$$

٥.

$$2000\ lb_m\ \text{محلول} = \frac{1 lb_m\ \text{محلول}}{0.15\ lb_m\ A} \left| \frac{300\ lb_m\ A}{} \right.$$

الأساس الجاف في الحسابات :

إن تحاليل الغازات مثل الهواء و نواتج الاحتراق و غازات أخرى مشابهة تبنى عادة على الأساس الجاف أي باستثناء بخار الماء حيث تسمى هذه التحاليل بتحاليل الاورست.
ويحتوى الهواء على 21% أوكسجين و 79% نيتروجين. .و يعد الهواء من الغازات المثالية، لذا فان كل نموذج من الهواء يحتوى على 21% حجما أوكسجين وبنفس الوقت 21% مول أوكسجين .ولما كانت النسبة المئوية ممثلة بحاصل ضرب الكسر بمائة فان الكسر المولى للأوكسجين يساوى 0.21.

مثال ٢- ٥

مادة تستعمل لتنظيف مياه الصرف الصحي تحتوي على 5.00 kg ماء و 5.00 kg هيدروكسيد الصوديوم (NaOH). اوجد الكسر الكتلي والكسر المولى للماء وهيدروكسيد الصوديوم.

الحل

ليكون الكسر الكتلي للماء و هيدروكسيد الصوديوم هما x_A و x_B على التوالي، الكسر المولي لهما y_A و y_B على التوالي.

اذن:

$$x_A = \frac{5\,kg\,A}{(5\,kg\,A + 5\,kg\,B)} = 0.5$$

$$x_B = \frac{5\,kg\,B}{(5\,kg\,A + 5\,kg\,B)} = 0.5$$

بما ان:

الوزن الجزئي للماء (H_2O) = (2 × 1+1 × 16) = 18 كجم/مول

الوزن الجزئي لهيدروكسيد الصوديوم (NaOH) = (1 × 23 + 1 × 16 + 1 × 1) = 40 كجم/مول

عدد مولات الماء = $\frac{5\ kg}{18\ kg/mol}$ = 0.278 mol

عدد مولات هيدروكسيد الصوديوم = $\frac{5\ kg}{40\ kg/mol}$ = 0.125 mol

الكسر المولي للماء (y_A) = $\frac{0.278\ mol}{0.403\ total\ mol}$ = $\frac{0.699\ mol\ A}{total\ mol}$

الكسر المولي لهيدروكسيد الصوديوم (y_B) = $\frac{0.125\ mol}{0.403\ total\ mol}$ = $\frac{0.311 mol\ A}{total\ mol}$

يجب أن يكون مجموع الكسر المولى للماء والكسر المولى لهيدروكسيد الصوديوم يساوى 1.0.

أي 0.699 + 0.311 = 1

يجب أن يكون مجموع الكسر الوزني للماء والكسر الوزني لهيدروكسيد الصوديوم يساوى 1.0.

أي 0.5 + 0.5 = 1

مثال ٢- ٦

احسب الكسر الكتلي (x_A) للأوكسجين في خليط يحوي أوكسجين وهيدروجين، إذا كان الكسر المولى للأوكسجين يساوي 0.333.

الحل

ليكون: y_B الكسر المولي للهيدروجين

m_A وزن الأوكسجين

m_B وزن الأوكسجين

m_T وزن الخليط

x_A الكسر الكتلي للأوكسجين

$y_B = (0.333 \quad -1) = 0.667$

$m_A = (32 \text{ kg/mol}) \times 0.333 = 10.66 \text{ kg}$

$m_B = (2 \text{ kg/mol}) \times 0.667 = 1.33 \text{ kg}$

$m_T = 10.56 + 1.33 = 11.99 \text{ kg}$

$x_A = 10.66/11.99 = 0.889 \text{ kg}$

التركيز (Concentration)

إن المقصود بالتركيز هو التعبير عن كمية المذاب لكل وحدة حجم من المذيب في المحلول أو الخليط المكون من مركبين أو اكثر .وهناك وحدات مختلفة تستعمل للتعبير عن التركيز مثل:

$$g/cm^3, \quad kg/L^3, \quad lb_m/ft^3$$

ووحدات الحجم الشائعة الاستعمال هي اللتر (L) ، القدم المكعب (ft^3) ، الجالون (gal)، والمتر المكعب (m^3). أما بعض التعابير الشائعة للتركيز فممثلة بالتالي:

جم مذاب/لتر.

جم مولات مذاب/لتر.

رطل مذاب/جالون.

رطل مولات مذاب/جالون.

كجم مذاب/متر مكعب.

كيلو مولات مذاب/متر مكعب.

وهذه التعابير تستعمل بصورة واسعة لتعيين تراكيب المحاليل السائلة سواء كان ذلك في المختبرات أم المصانع .ويعود ذلك إلى سهولة قياس أحجام السوائل.

وبالنسبة للمحاليل ذات التركيز المنخفضة جدا فيعبر عن تركيزها بالأجزاء للمليون (parts per million–ppm). ويكافئ الـ ppm الكسر الكتلي للمواد الصلبة والسائلة وذلك لان كمية المجموع اكثر بكثير من كمية المذيب.

و هناك طرق أخرى للتعبير عن التركيز مثل:

المولارية (Molarity) - (المول/لتر).

العيارية (Normality) - (الوزن المكافئ/لتر).

المولالية (Molality) - (مول/1000 جرام مذيب) .

مثال ٢- ٧

محلول كلوريد الصوديوم (NaCl) في الماء يحتوى على $230\ kg/m^3$ كلوريد الصوديوم عند درجة حرارة $20^{\circ}C$ حيث تكون كثافة المحلول تساوي $1148\ kg/m^3$ أوجد ما يلي:

١. التركيب بالنسبة المئوية الكتلية.
٢. النسبة المئوية الحجمية للماء.
٣. التركيب بالنسبة المئوية المولية.
٤. المولالية.

الحل

الأساس: $1\ m^3$ من المحلول

ليكون: m_1: كتلة المحلول

m_2: كتلة كلوريد الصوديوم (NaCl)

m_3: كتلة الماء

n_2: عدد مولات كلوريد الصوديوم (NaCl)

n_3: عدد مولات الماء

Mw : الوزن ألجزيئي لـ NaCl

إذن:

$$\text{كتلة المحلول } (m_1) = \rho \times V = (1148\ kg/m^3) \times (1\ m^3) = 1148\ kg$$

و بما أن:

$$m_2 = 230\ kg$$

اذن:

$$\text{عدد مولات NaCl } (n_2) = \frac{m_2}{Mw} = \frac{230\ kg}{58.5\ kg/kmol} = 3.93 kmol$$

$$\text{كتلة الماء } (m_3) = 230 - 1148 = 918\ kg$$

$$\text{عدد مولات الماء } (n_3) = \frac{918\ kg}{18.0\ kg/kmol} = 51\ kmol$$

$$\text{عدد مولات في المحلول} = 3.93 + 51.0 = 54.93\ kmol$$

مجموع المولات في المحلول

١. التركيب بالنسبة المئوية الكتلية

$$\text{النسبة المئوية الكتلية لـ NaCl} = \frac{230\ kg\ NaCl}{1148\ kg} \times 100 = 20\%$$

$$\text{النسبة المئوية للماء} = \frac{918\ kg\ H_2O}{1148\ kg} \times 100 = 80\%$$

٢. النسبة المئوية الحجمية للماء

كثافة الماء النقي عند درجة حرارة $20\ ^{\circ}C$ هي $998\ kg/m^3$

$$\text{حجم الماء} = \frac{918\ kg}{998\ kg/m^3} = 0.920\ m^3$$

$$\text{النسبة المئوية الحجمية للماء} = 0.920\ m^3 \times 1\ m^3 = 92\ \%$$

٣. التركيب بالنسبة المئوية المولية

$$\text{النسبة المئوية المولية للماء} = \frac{51\ \text{kmol}\ H_2O}{54.93\ \text{total mole}} \times 100 = 92.84\ \%$$

$$\text{النسبة المئوية المولية لـ NaCl} = \frac{3.93\ \text{kmol NaCl}}{54.93\ \text{total mole}} \times 100 = 7.16\%$$

٤. المولالية

$$\text{المولالية} = 3.93\ \text{kmol NaCl} \times \frac{1000\ \text{kg}\ H_2O}{918\ \text{kg}\ H_2O} = \frac{4.28\ \text{kmol NaCl}}{1000\ \text{kg}\ H_2O}$$

مثال ٢- ٨

عند 60 °F الوزن النوعي (Specific Gravity, S.G) لمحلول يحتوي على 30 % وزنا من حامض الكبريتيك (H_2SO_4) يساوي 1.22. ما هو تركيز الحامض بالوحدات التالية؟

أ. lb mole/U.S gal

ب. lb/ft^3

ج. g/L

الحل:

أ. 100 lb من محلول تركيزه 30 % وزنا يحتوي على 30 lb من H_2SO_4 النقي و70 lb من الماء H_2O.

بما أن:

$$\text{تركيز المحلول (المولارية)} = \frac{\text{عدد المولات}}{\text{حجم المحلول}}$$

$$\text{الكثافة } (\rho) = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$$

$$\text{عدد المولات} = \frac{\text{وزن المادة}}{\text{الوزن ألجزيئي}}$$

$$\text{الوزن ألجزيئي لـ } H_2SO_4 = 2 \times \frac{1\ lb}{lbmol} + \frac{32\ lb}{lbmol} + (4 \times \frac{16\ lb}{lbmol}) = \frac{98\ lb}{lbmol}$$

$$\text{عدد المولات} = \frac{30\ lb}{\frac{98\ lb}{lbmol}} = 0.306\ lbmol$$

كثافة الماء (ρ) عند 4^oC = $62.4\ lb/ft^3$

بما أن:

$$\text{الوزن النوعي للمحلول (S.G)} = \frac{\text{الكثافة}}{\text{كثافة الماء عند } 4^oC}$$

إذن

$$\text{كثافة المحلول} = \text{الوزن النوعي للمحلول (S.G)} \times (\text{كثافة الماء عند } 4^{o}C)$$

$$\text{كثافة المحلول} = 1.22 \times 62.4\ lb/ft^3 = 76.128\ lb/ft^3$$

إذن

$$\text{حجم المحلول} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الكثافة}}$$

$$\frac{100\ lb\ solution}{76.128\ lb/ft^3} \left| \frac{7.481\ gal}{1\ ft^3} \right. = 9.83\ gal$$

إذن:

$$\text{تركيز الحامض (المولارية)} = \frac{0.306\ lbmol}{9.83\ gal} = 0.031\ lbmol/gal$$

ب.

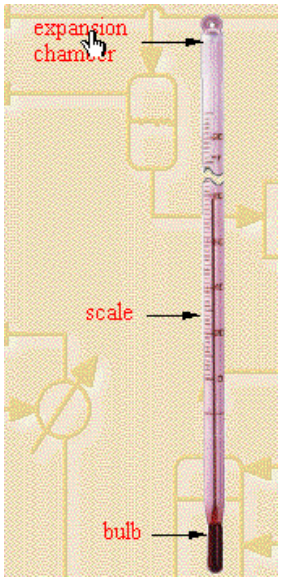
$$\frac{0.03113\ lbmol\ H_2SO_4}{gal} \left| \frac{98.08\ lb\ H_2SO_4}{1\ lb\ mol\ H_2SO_4} \right| \frac{7.481\ gal}{1\ ft^3} = 22.84\ lb\ H_2SO_4/ft^3$$

ج.

$$\frac{22.84\ lb\ H_2SO_4}{1\ ft^3} \left| \frac{454\ g}{1\ lb} \right| \frac{1\ ft^3}{28.32\ L} = 366.15\ g\ H_2SO_4/L$$

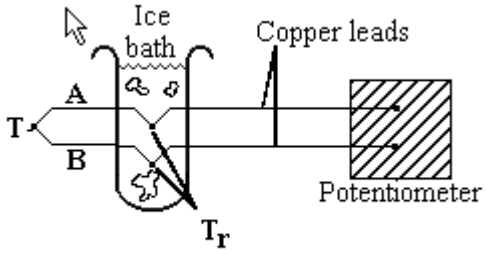
درجة الحرارة (Temperature)

تم استنباط فكرة مقياس درجة الحرارة الترمومتر لتحديد نوع وكمية الحرارة.

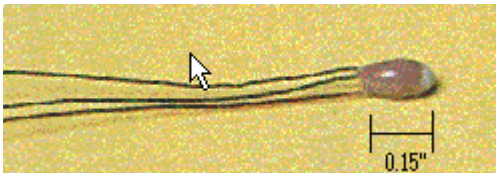


وهناك طرق أخرى شائعة الاستعمال لقياس درجة الحرارة من أهمها:

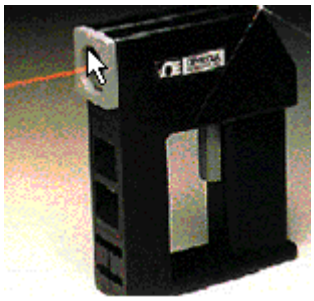
١. **المزدوج الحراري –Thermocouple** – يستعمل كمقياس لدرجة الحرارة و يعمل بتوليد الفولتية عند نقطة اتصال موصلين غير متشابهين والمتغيرة بتغير درجة الحرارة.



٢. **الثرمستر –Thermister** – يعمل هذا الجهاز على أساس خواص تبديل المقاومة الكهربائية مع درجة الحرارة.



٣. **البايروميتر–Pyrometer** – جهاز يستعمل لقياس درجات الحرارة العالية حيث يسجل الطاقة المشعة التي تترك الجسم الحار.



ودرجة الحرارة هي قياس للطاقة الحرارية للحركة العشوائية لجزيئات الجسم المتوازن حراريا. ووحدات قياس درجة الحرارة هي الفهرنهايت Fahrenheit ويرمز لها بـ ^{o}F و المئوية Celsius ويرمز لها بـ ^{o}C.

إن القياس العلمي الشائع الاستعمال هو مقياس المئوية – ميزان الحرارة المئوي حيث درجة الصفر تمثل نقطة تجمد الماء ودرجة المائة تمثل نقطة غليان الماء الاعتيادية .

أما مقياس الفهرنهايت فان درجة $32^{\circ}F$ تمثل نقطة تجمد الماء ودرجة $212^{\circ}F$ تمثل درجة غليان الماء الاعتيادية.

وهناك مقياسان لقياس الدرجة الحرارية المطلقة أولهما متدرج من المقياس المئوي وله نفس وحداته ويسمى بمقياس كلفن Kelvin ويرمز لها بـ K وثانيهما متدرج المقياس الفهرنهايت وله نفس وحداته ويسمى بمقياس رانكن Rankine ويرمز لها بـ ^{o}R . ويمكن التحويل من وحدة إلى أخرى كما يلي:

$$T(K) = T(^{o}C) + 273.15$$
$$T(^{o}R) = T(^{o}F) + 459.67$$
$$T(^{o}R) = 1.8T(K)$$
$$T(^{o}F) = 1.8T(^{o}C) + 32$$

يوجد معاملات أخرى لتحويل درجات الحرارة المختلفة كما يلي:

$$\frac{1.8\ ^{o}C}{1\ ^{o}C}\ ,\ \frac{1.8\ ^{o}R}{1\ K}\ ,\ \frac{1\ ^{o}F}{1\ ^{o}R}\ ,\ \frac{1\ ^{o}C}{1\ K}$$

مثال٢- ٩

حول $100\ ^{\circ}C$ إلى ما يعادلها من وحدات درجة الحرارة الاخرى:

١. K
٢. $^{\circ}F$
٣. $^{\circ}R$

الحل

$$T(K) = T(^{o}C) + 273.15$$
$$= 100 + 273.15 =$$
$$= \mathbf{373.15\ K}$$
$$T(^{o}F) = 1.8T(^{o}C) + 32$$
$$= 1.8\ (100^{o}C) + 32 = 212$$
$$= \mathbf{212^{o}F}$$
$$T(^{o}R) = 1.8T(K)$$
$$= 1.8\ (373.15K)$$
$$= 671.67\ ^{\circ}R$$

الضغط (Pressure)

يعرف الضغط (P) بالقوة المسلطة على وحدة المساحات أي:

$$P = F/A \qquad (2\text{-}10)$$

تعار يف هامة

١. الضغط الجوى Atmospheric Pressure: هو ضغط الهواء والجو المحيط بنا والمتغير من يوم إلى آخر.
٢. الضغط البارومتري Barometric Pressure : هو نفس الضغط الجوى ويسمى ضغط بارومتري بسبب استعمال البارومتر لقياسه.
٣. الضغط المطلق Absolute Pressure: هو قياس الضغط الذي يشير إلى فراغ تام (vacuum) أو ضغط صفر.
٤. ضغط المقاس Gauge Pressure: هو الضغط المعبر عنه بالكمية المقاسة من (فوق) الضغط الجوى (أو لضغط آخر يستعمل كمرجع).
٥. الجو المخلخل من الهواء –فراغ- : هي طريقة التعبير عن الضغط بالكمية الأقل من الضغط الجوى (أو لضغط آخر يستعمل كمرجع).

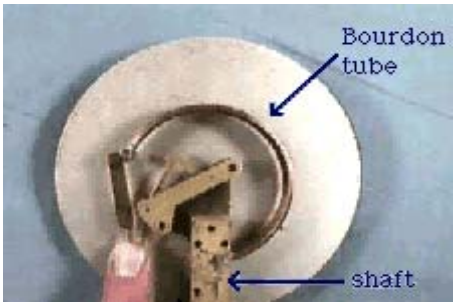
ومن وحدات قياس الضغط ما يلي:

N/m^2, dynes/cm^2, lb_f/in^2, psi, pascal, ft H_2O, atm, bar, mmHg

قياس ضغط الموائع Fluid Pressure Measurement

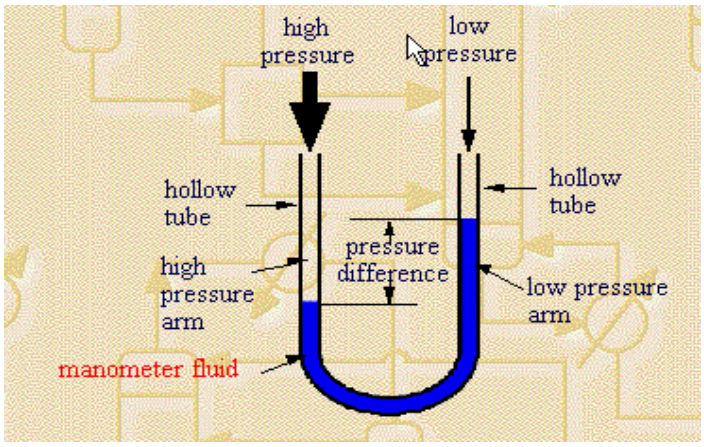
١. ساعة بُوردن (Bourdon gauge)

وهي عبارة عن أنبوب مطاطي مغلق من جهة ومثني على شكل حرف C. تعرض النهاية المفتوحة إلى المائع المراد قياس الضغط له. وعندما يزداد الضغط فان الأنبوب المطاطي يبدأ بالاستطالة مسببا دوران للمؤشر المثبت في الأنبوب. موقع المؤشر على ساعة معايرة يعطي ضغط الساعة للمائع (gauge pressure).



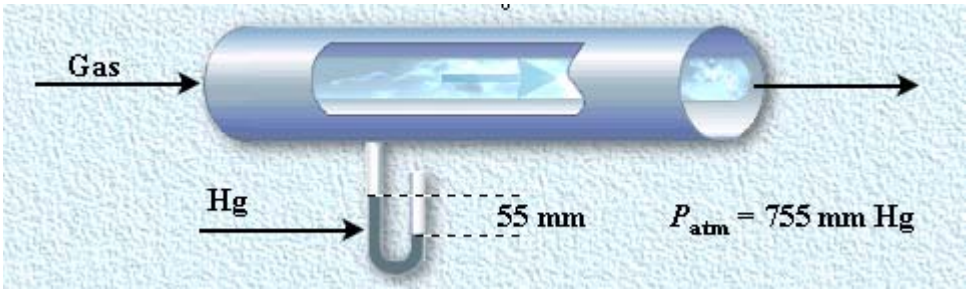
٢. المانوميتر Manometer

وهو عبارة عن أنبو على شكل U مملوء بمائع معلوم الكثافة (يسمى مائع المانوميتر manometer fluid). عندما يتم تعريض نهايتي المانوميتر إلى ضغوط مختلفة، فان مستوى المائع داخل الأنبوب ينخفض في الساق ذات الضغط العالي بينما يرتفع في الساق ذات الضغط المنخفض. ويمكن حساب الاختلاف في الضغط بواسطة قياس فرق ارتفاع المائع في ساقي المانوميتر.



أ. **المانوميتر مفتوح النهاية** Open-end Manometer

تعرض احد الساق المانوميتر إلى المائع المراد قياس ضغطه بينما تعرض الساق الأخرى إلى الضغط الجوي (atmospheric pressure).



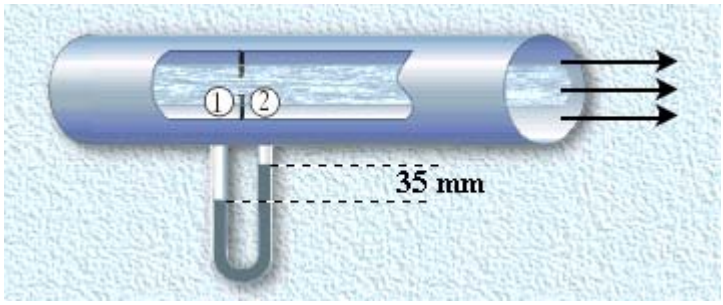
شكل ٢- ٢: مانوميتر مفتوح النهاية

ب. **المانوميتر مغلق النهاية** Seal-end Manometer

ويحتوي على فراغ (vacuum) عند احد نهايتيه.

ت. **المانوميتر التفاضلي** Differential Manometer

ويستخدم لقياس الاختلاف في الضغط عند نقطتين في أي عملية.



شكل ٢- ٣: مانوميتر التفاضلي

قياس الضغط (نسبى أو مطلق) يعتمد على نوعية المقياس المستعمل للقياس. فمثلا المانوميتر مفتوح النهاية (شكل ٢- ٢) يقرأ الضغط النسبي نسبة إلى الضغط الجوى. وضغط المرجع في النهاية المفتوحة هو الضغط الجوى. من جهة أخرى غلق نهاية المانوميتر يوليد فراغ مما يسهل علينا مقياسا الضغط مقابل فراغ (Vacuum) كامل أو ضغط معدوم .

إن هذا القياس للضغط يسمى بالضغط المطلق. وقياس الضغط المطلق منسوب إلى جو فارغ تماما وهذا المرجع لا يعتمد على الموقع أو درجة الحرارة أو الضغط الجوى أو أي عوامل أخرى وعليه فان الضغط المطلق يعطى قيمة دقيقة وغير متغيرة وسهلة المعرفة.

تشير نقطة الصفر لمقياس الضغط المطلق إلى ضغط الفراغ التام بينما في حالة مقياس الضغط النسبي فيشير عادة إلى ضغط الهواء الذي يحيط به في جميع الأوقات وكما هو معروف أن ضغط الهواء الجوى يتغير قليلا من وقت إلى آخر.

إن فهم طريقة العمل الرئيسية للمانوميتر ستساعد على إدراك طبيعة الضغط المقاس به.

ويتذبذب مستوى سطح المائع في ساقي المانوميتر حتى نحصل على نقطة الموازنة للسائل (Hydrostatic balance) حيث يستقر السائل في المانوميتر والفرق بين ارتفاع المئع في الساق المفتوحة و الساق المتصلة بمصدر الضغط المطلوب قياسه يساوى الفرق بين الضغط الجوى والضغط المسلط. إذا كان العامل المؤثر للضغط اقل من الضغط الجوى – التفريغ (Vacuum) بدل من الضغط – اكثر من الضغط الجوى – والمرتبط بنفس الساق الأخرى، فان فرق الضغط يساوى الفرق بارتفاع السائل في الساقين.

ويعتبر الماء و الزئبق المائعين الأكثر استعمالا في المانوميتر ويعبر عن القراءة بالبوصات أو بوصات الزئبق أو الملميتر زئبق.

إن مقاييس الضغط قد تكون اكثر إرباكا من مقاييس درجة الحرارة لكون نقطة الصفر بمقاييس الضغط النسبية ليست ثابتة وذلك لاعتمادها على الضغط الجوى المتغير نسبيا من وقت إلى آخر بينما في مقاييس درجة الحرارة فان درجة الغليان أو درجة التجمد للماء دائما ثابتة القيم والممارسة خير وسيلة للتدريب على مقاييس الضغط .

إن العلاقة بين الضغط النسبي والمطلق يمكن التعبير عنها بالعلاقة التالية:

الضغط المطلق = الضغط المقاس + الضغط الجوي (الضغط البارومتري)

$$P_{absolute} = P_{gauge} + P_{atm} \qquad (2\text{-}11)$$

يجب أن تستعمل وحدات ثابتة لجميع الحدود في المعادلة أعلاه ومن الملاحظ في هذه المعادلة أن الضغط الجوى أي الضغط البارومتري يضاف إلى قراءة الضغط المقاس أو الضغط النسبي (أو قراءة البارومتر ذو النهاية المفتوحة) وذلك للحصول على الضغط المطلق.

إن نظام مقياس تخلخل الضغط شائع الاستعمال في الأجهزة التي تعمل تحت ضغط اقل من الضغط الجوى كما هي الحالة بالنسبة للمبخرات والمرشحات التي تعمل تحت جو مخلخل من الهواء.

يجب الملاحظة وعدم الالتباس بين الضغط القياسي وبين الضغط الجوى ..فالضغط القياسي يعرف بالضغط (تحت تأثير قوة الجاذبية القياسية)المكافئ إلى 14.696 psi أو 760 mmHg عند درجة $10^{\circ}C$ والقيمة المكافئة بالوحدات الأخرى بينما الضغط الجوى متغير القيمة ويجب الحصول عليه من المانوميتر لكل مرة نحتاجه.

تعيين فرق الضغط في المانوميتر

لتحديد العلاقة في تعيين فرق الضغط عند اختلاف مستوى السائل في المانوميتر فيجب أن يساوى ضغط السائل في أي نقطتين وفى نفس الارتفاع في السائل المستمر. وتوصف المعادلة العامة للمانوميتر بالشكل الآتي:

$$P_1 + \rho_1 g d_1 = P_2 + \rho_2 g d_2 + \rho_f g h \qquad (2\text{-}12)$$

- في المانوميتر التفاضلي يكون السائل 1 هو نفسه السائل 2

وبالتالي تصبح المعادلة ١٢- ٢ أعلاه:

$$\rho_1 = \rho_2 = \rho_f \qquad (2\text{-}13)$$

$$P_1 - P_2 = (\rho_f - \rho)\, g \cdot h \qquad (2\text{-}14)$$

- إذا كان أحد ساقي المانوميتر مفتوح للهواء الجوى فان كثافة المائع في هذه الساق اقل بـ 100-1000 مرة من كثافة سائل المانوميتر، لذا فان $\rho \cdot g \cdot d$ يمكن أن تهمل في المعادلة العامة للمانوميتر لتصبح المعادلة:

$$P_1 - P_2 = \rho_f \cdot g \cdot h \qquad (2\text{-}15)$$

- إذا كان كلا المائعين غاز تصبح المعادلة:

$$P_1 - P_2 = h \qquad (2\text{-}16)$$

مثال٢- ١٠

مانوميتر تفاضلي يستخدم لقياس الانخفاض في الضغط بين نقطتين في أنبوب مياه. الوزن النوعي (S.G.) لمائع المانوميتر هو 1.05. القياسات لكل مائع في كل ساق للمانوميتر معطاة كما هو موضح في الشكل أدناه. احسب الفرق في الضغط بين النقطتين 1 و 2 .

الحل:

$$h = (382 - 374)\ mm = 8\ mm$$

$$P_1 - P_2 = (\rho_f - \rho)\, g \cdot h$$

$$= (1.05 - 1.00) \times 980 \times 0.8$$

$$= 39.2\ \text{dynes}/cm^2$$

مثال٢- ١١

ضغط الغاز المسحوب خلال أنبوب بواسطة مضخة تفريغ مقاس بمانوميتر زئبقي ذو نهاية مفتوحة وكانت القراءة 2- in احسب الضغط المقاس بـ inHg ثم احسب الضغط المطلق إذا علمت أن الضغط الجوى يساوي 30 inHg .

الحل

$$P_1 - P_{atm} = -2\ \text{inHg}$$

$$P_1 = Patm + P_{gaug}$$

$$= 30 - 2 = 28\ \text{inHg}$$

تمارين

١. احسب :

- الوزن بالـ lb_f لجسم كتلته 25 lb_m
- الكتلة بالـ kg لجسم وزنه 25 N
- الوزن بال dyne لجسم كتلته 10 ton

٢.خزان به سائل طول هذا الخزان 50 m وعرضه 15 m وعمقه 2 m إذا كانت كثافة هذا السائل 58 lb_m/ft^3 فاحسب محتوى الخزان بال lb_f

٣ .احسب الكثافة للزئبق بال lb_m/ft^3 إذا علمت أن الوزن النوعي للزئبق هو 13.546 عند 20 $^{\circ}C$ ثم احسب الحجم بال ft^3 ل 215 kg زئبق

٤. احسب الحجم النوعي للزئبق في السؤال الثالث .

٥.خليط مكون من مجموعة غازات وكان الكسر الكتلي لكل غاز من هذه الغازات هي على النحو التالي :

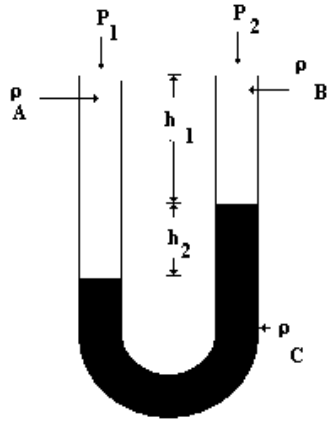
O_2 = 16 %
CO = 4.0 %
CO_2 = 17 %
N_2 = 63 %

احسب الكسر المولى للخليط.

٦. حول درجات الحرارة التالية:

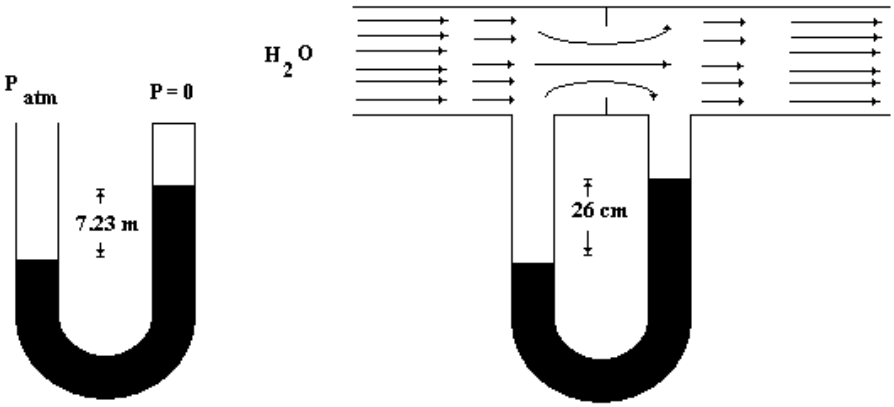
- 85 $^{\circ}F$ إلى $^{\circ}R$
- 40 $^{\circ}C$ إلى K
- 85 $^{\circ}F$ إلى $^{\circ}C$
- -10 ^{0}C إلى $^{\circ}F$

٧. .ثلاث سوائل مختلفة في المانوميتر الموضح أدناه:



- اشتق العلاقة التي تبين فرق الضغط $P_1 - P_2$ متضمنة ρ_A ، ρ_B ، h_1 ، h_2 ، ρ_C
- افترض أن المائع A هو الميثانول والمائع B هو الماء وC هو مائع المانوميتر وان الوزن النوعي لمائع المانوميتر هو 1.37 و P_2 هو 121 kPa و h_1 هو 30 cm و h_2 هو 24 cm احسب P_1 بال kPa

٨, .سائل مجهول الكثافة يستخدم في مانوميترين مانوميتر الأول أحد ساقيه مغلقه والمانوميتر الثاني متصل بأنبوب من نوع اروفيس الضغط البارروميترى قرىء خلال يوم وكان 756 mmHg احسب فرق الضغط بال mmHg من النقطة a الى النقطة b .



أسس التقنية الكيميائية

موازنات المادة

الجدارة

فهم أساسيات الحسابات الكيميائية للسهر على التشغيل الكفء لأجهزة الإنتاج في الصناعة ، المحافظة على الطاقة وإدراك الأسباب الكامنة وراء مشاكل التصنيع.

الأهداف

في نهاية هذا المقرر يكون الطالب قادرا على:

١- فهم مبدأ موازنات المادة،

٢- تطبيق قواعد الموازنة بطريقة مرتبة و سهلة و الحصول على خبرة واسعة لحل المسائل بطريقة علمية .

مستوى الأداء المطلوب

أن لا تقل الجدارة عن ٩٥ ٪ نظرا لأهمية المقرر فيما بعد.

الوقت المتوقع للتدريب

ساعات١٠

الوسائل المساعدة

اعتمادا الطريقة المتبعة في المقرر لحل المسائل.

متطلبات الجدارة

قبل دراسة هذا المقرر يجب أن يكون الطالب ملما بالعلوم التالية:

الكيمياء العامة

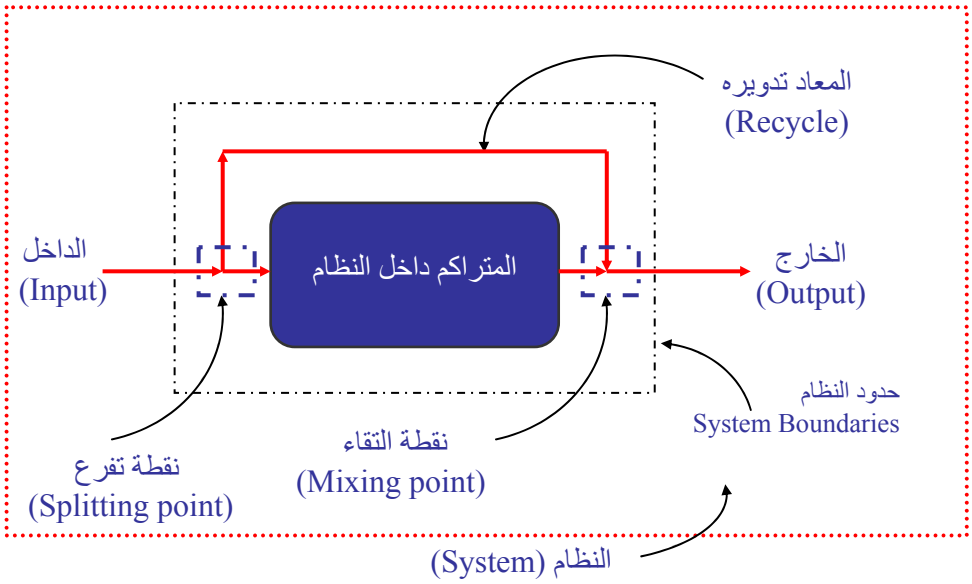
الكيمياء الفيزيائية

الديناميكا الحرارية الكيمائية

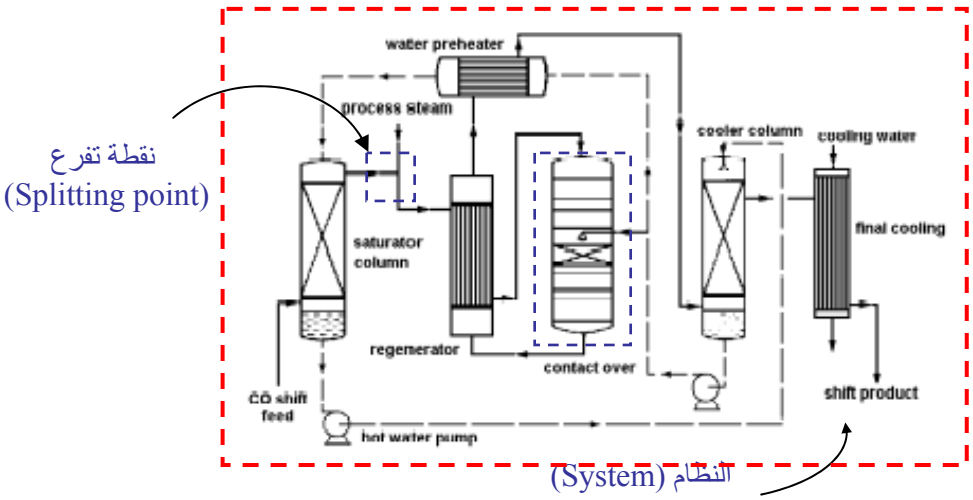
الرياضيات الأساسية

موازنات المادة (Mass Balances)

يطلق على اي عملية (عمليات) كيميائية او فيزيائية **نظام** *(System)*. ولكل نظام يوجد: **داخل او تغذية** *(Feed or input)* (المواد المتفاعلة في حالة التفاعلات الكيميائية)، **خارج** *(Product or output)* (المواد الناتجة من التفاعل)، متراكم **داخل النظام** *(Accumulation)* (وهو ماتبقى داخل النظام)، **حدود النظام** *(System boundaries)* (يعين حدود انتقال المادة او الطاقة من والى النظام) كما هو مبين في الشكل ٣- ١.



الشكل ٣- ١: مكونات النظام و مصطلحاته



الشكل ٣- ٢: حدود النظام لعملية كيميائية

ويمكن تطبيق هذه المصطلحات على رسم انسيابي (flowchart) لعملية كيميائية كما هو مبين في الشكل ٣- ٢.

ويوجد ضوابط لا يستطيع احد تجاهلها عند تصميم (Design) وحدة عمليات جديدة أو فحص وتحسين (Optimizing) وحدة قائمة. فمثلا فإننا لا يمكن تحديد كمية الداخل من مادة A إلى مفاعل ما بـ 500 g ثم نتوقع أن نحصل على 1000 g من A أو الناتج B.

مثال آخر يوضح تواز المادة، فإذا فترضنا انه يتم حرق فحم –في فرن محطة توليد طاقة يوميا- يحتوي على 2000 kg من الكبريت (S)، فإننا نعلم - وبدون تحليل غازات المدخنة (Stack gases) أو الرماد الناتج من عملية الحرق- أن متوسط كمية الكبريت التي تغادر الفرن بشكل أو بآخر في اليوم هي 2000 kg.

إن المرجع في الاستنتاجات أعلاه هو قانون حفظ المادة و الطاقة (الداخل للنظام يجب ان يخرج من النظام أو يتراكم فيه) والذي يعتبر قاعدة أساسية لكثير من القوانين في ميدان العلوم و الهندسة.

أخذ هذا القانون البسيط أشكالا عدة منها:

أ- أن الكتلة أو الطاقة لا تستحدث و لا تفنى.

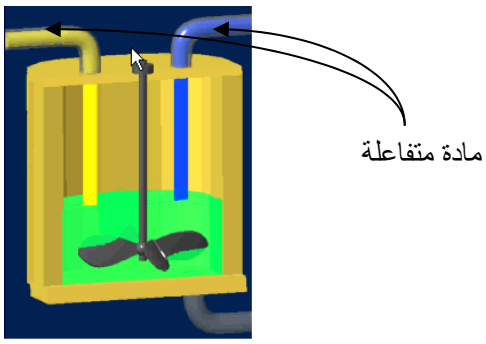
ب- أن الكتلة أو الطاقة- لأي نظام معزول(Isolated System) - ثابتة.

تصنيف العمليات

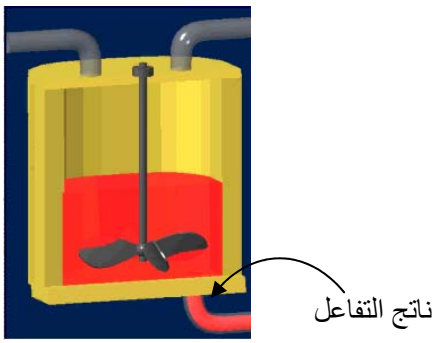
يمكن تصنيف العمليات الكيميائية والفيزيائية إلى:

العملية المتقطعة (Batch Process):

هي العملية التي تكون فيها التغذية الداخلة (Feed) في البداية و يبقى خلالها صمام الخارج مغلق إلى نهاية العملية و تفريغ المنتج (Product) كما هو موضح في الشكل ٣- ٣. والسبب في إطلاق اسم متقطع على هذا النوع من العمليات هو عدم وجد انتقال للمادة من خلال حدود النظام أثناء حدوث العملية. وتستخدم عندما تكون الكمية المطلوب إنتاجها قليلة.



شكل ٣- ٣: العملية المتقطعة(أ) قبل التفاعل يفتح صمام الدخول للمواد المتفاعلة (اللون الأصفر الأزرق).



شكل ٣- ٣: العملية المتقطعة (ب) بعد التفاعل يفتح صمام الخروج للحصول على المنتج (اللون الأحمر).

العملية المستمرة (Continuous Process):

هي العملية التي يكون فيها سريان الداخل والخارج مستمر خلال حدوث العملية كما هو موضح في الشكل ٣- ٤. وتستخدم عندما يكون المطلوب هو إنتاج كميات كبيرة.

شكل ٣- ٤: العملية المستمرة: تكون صمامات الدخول و الخروج أثناء التفاعل مفتوحة.

العملية شبه المتقطعة (Semibatch):

وهي العملية التي لا يمكن تصنيفها على أنها متقطعة أو مستمرة.

شكل ٣- ٥: العملية شبه المتقطعة (أ) قبل التفاعل يفتح صمام الدخول للمادة المتفاعلة الأولى (اللون والأزرق).

شكل ٣- ٥: العملية شبه المتقطعة (ب) قبل التفاعل يفتح صمام الدخول للمادة المتفاعلة الثانية (اللون والأصفر).

شكل ٣- ٥: العملية شبه المتقطعة (ج) بعد التفاعل يفتح صمام الخروج للناتج (اللون والأحمر).

الحالة مستقرة (Steady-state) :

عندما تكون متغيرات العملية (درجة الحرارة، الضغط، الحجم، التركيز، معدل السريان الخ) ثابتة مع الوقت تسمى العملية مستقرة، وهي عادة تتحقق أثناء العمليات المستمر.

و الحالة انتقالية (Transient):

عندما يحدث تغير في أحد متغيرات العملية (درجة الحرارة، الضغط، الحجم، التركيز، معدل السريان الخ) تسمى العملية انتقالية أو غير مستقرة (Unsteady-state)، وتحدث أثناء العمليات المتقطعة وشبه المتقطعة وعند بدء التشغيل (Start-up) للعمليات المستمرة.

معادلة الموازنة العامة (The General Balance Equation)

موازنة المادة هي حساب انتقال الكتلة والتغييرات في خزين الكتلة داخل أي نظام (System) على إثر أي عملية فيزيائية أو كيميائية:

فلو فرضنا أن مادة A لها الكتلة(lb_m/min) m_1 تغذى إلى مفاعل كيميائي (Chemical Reactor) وتخرج منها بكتلة (lb_m/min) m_2 ، فانه يلزم في الحالة المستقرة أن تكون m_1 **تساوي** m_2 أما في الحالة غير المستقرة فان m_1 **لا تساوي** m_2 ويكون هذا الاختلاف راجع إما إلى:

١. وجود تسرب في المفاعل أو خطوط التغذية والخرج.
٢. خطأ أثناء قياس m_1 أو m_2.
٣. استهلاك أو إنتاج المادة A أثناء التفاعل.
٤. تراكم المادة A داخل المفاعل.

فإذا تم استبعاد السبب الأول والثاني، فان الاحتمالات الأخرى تصبح هي الأسباب الحقيقية في الاختلاف بين معدلات السريان الداخلة والخارجة.

وبالتالي يمكن كتابة معادلة الموازنة العامة لأي نظام كما يلي:

$$\begin{matrix}\text{تراكم الكتلة داخل النظام}\end{matrix} = \begin{matrix}\text{مجموع الكتلة الداخلة إلى النظام}\end{matrix} - \begin{matrix}\text{مجموع الكتلة الخارجة من النظام}\end{matrix} + \begin{matrix}\text{مجموع الكتلة المُنتجة داخل النظام}\end{matrix} - \begin{matrix}\text{مجموع الكتلة المُستهلكة داخل النظام}\end{matrix} \quad (1)$$

وعندما لا يكون هناك إنتاج أو استهلاك للكتلة داخل النظام وعندما تكون العملية في الحالة المستقرة (Steady-state)، فان معادلة الموازنة العامة (1) يمكن كتابتها كما يلي:

$$\begin{matrix}\text{مجموع الكتلة الداخلة إلى النظام}\end{matrix} = \begin{matrix}\text{مجموع الكتلة الخارجة من النظام}\end{matrix} \quad (2)$$

و يمكن توضيح معنى كل حد في المعادلة (1) في المثال التالي.

مثال ٣- ١:

إذا كان سنويا ينزح إلى مدينة ما خمسون ألف (50,000) نسمة ويغادرها سبعة وخمسون ألف (57,000) نسمة ويولد فيها اثنان وعشرون ألف (22,000) نسمة ويموت فيها تسعة عشر ألف (19,000) نسمة، احسب معدل الزيادة أو النقصان في تعداد سكان المدينة سنويا.

الحل:

لنرمز للسكان بـ **A**.

$$\begin{matrix}\text{X} \\ \text{(A/yr)}\end{matrix} = \begin{matrix}\text{19,000} \\ \text{(A/yr)}\end{matrix} - \begin{matrix}\text{75,000} \\ \text{(A/yr)}\end{matrix} + \begin{matrix}\text{22,000} \\ \text{(A/yr)}\end{matrix} - \begin{matrix}\text{50,000} \\ \text{(A/yr)}\end{matrix} \quad (3)$$

إذن:

$$X = -22{,}000 \text{ A/yr}$$

أي أن المدينة تفقد 22,000 ألف نسمة سنويا من تعداد سكانها.

خطوات إجراء موازنة المادة:

ولتسهيل إجراء موازنة المادة فانه ينصح بإتباع الخطوات التالية:

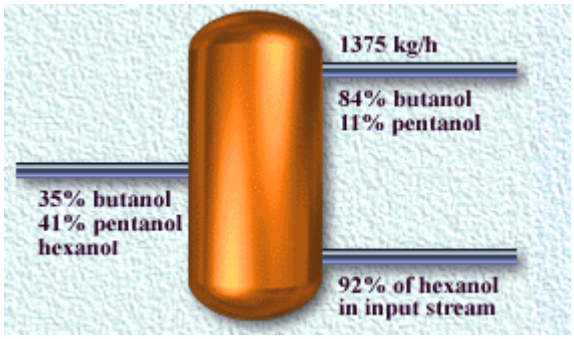
١. رسم مخطط انسيابي للعملية المراد عمل موازنة المادة لها، يوضح عليه كمية الداخل والخارج من كل وحدة في العملية.
٢. كتابة متغيرات العملية الفيزيائية والكيميائية والمعلومات المتوفرة (مثل درجة الحرارة، الضغط، التركيز...لخ) عن كل تيار (Stream) من تيارات الداخل (Input) أو الخارج (Output) أو المعاد تدويره (Recycle).
٣. اختيار أساس (Basis) للحسابات.
٤. رسم صندوق ذو خطوط متقطعة (يسمى الحدود، Boundaries) حول كل وحدة (Unit) ونقطة التقاء تيارات (Mixing point) و تفرع تيار (Splitting point) و حول العملية كاملة (Overall process).
٥. إيجاد معادلات تبين العلاقة بين الداخل والخارج من الصندوق. هذه المعادلات يجب أن تكون مستقلة (Independent equations) وهي المعادلة التي لا يمكن الحصول عليها من طرح أو جمع أو قسمة المعادلات الأخرى. كما يجب أن يكون عدد المعادلات المستقلة مساويا لعدد المجاهيل (Unknowns) داخل الصندوق المراد إجراء موازنة المادة عنده.

مثال ٢- ٢:

افترض أن خليطا من الكحول يحتوي على 35% بيوتانول (B) و 41% بينتانول (P) و الباقي هيكسانول (H). تيار (stream) من هذا الخليط يغذى إلى برج تقطير (Distillation column). المنتج المسحوب - بمعدل سريان 1375 kg/h- من أعلى البرج يحتوي على 84% من البيوتانول (B) و 11% من البينتانول (P) والباقي (H). المنتج المسحوب من قاع البرج يحتوي على 92% من الهيكسانول الداخل للبرج. ارسم مخطط السريان لهذه العملية موضحا عليه متغيرات جميع التيارات الداخلة والخارجة.

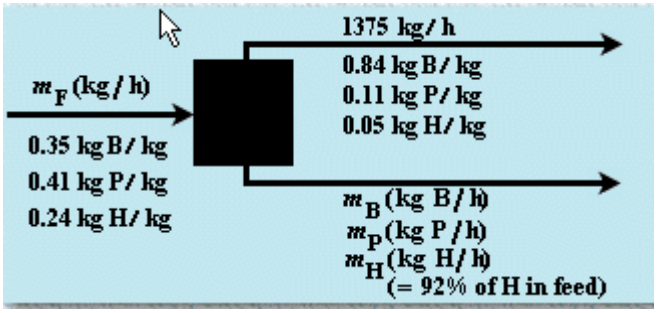
الحل

نقوم أولا برسم العملية كبرج تقطير ووضعنا المعلومات المعطاة في السؤال فقط كما في الشكل ٣-٦.



شكل ٣- ٦

نقوم الآن برسم المخطط الانسيابي للعملي (flowchart) كما في الشكل ٣- ٧.



شكل ٣- ٧

مثال ٣- ٢:

محلول ملحي يحتوي على:

$NaCl= 20\ \%, NaBr= 0.5\%, MgCl_2= 2\%, H_2O= 77.5\ \%.$

وعلى اثر عملية تبخير تم فصل بلورات نقية تمثل 50 % من الكمية الأصلية لـ NaCl الموجود أصلا في المحلول الملحي. على فرض أن الأساس في البداية هو 100 kg من المحلول أوجد ما يلي:

أ- مجموع كتل NaCl في المحلول المركز و البلورات.

ب- كتلة $MgCl_2$ في المحلول المركز بعد التبخير.

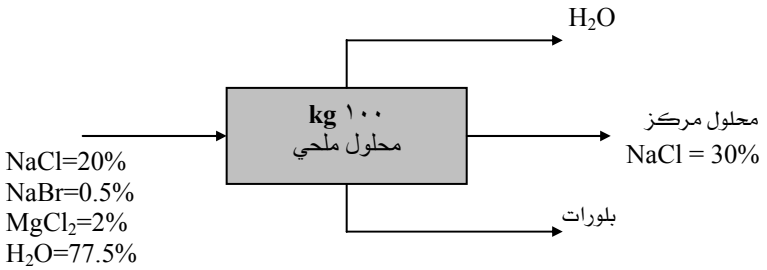
ت- كتلة NaBr في المحلول المركز بعد التبخير.

ث- كتلة H_2O في المحلول المركز بعد التبخير.

ج- كتلة (الماء المتبخر، كتل NaCl المبلور، المحلول الملحي المركز).

ح- نسبة الماء المتبخر من مجموع الماء الموجود في المحلول.

خ- إذا تم فصل جميع الماء الموجود في المحلول المركز، ما هو تركيب خليط الأملاح؟



شكل ٣- ٨: رسم انسيابي لمثال ٣- ٢.

الحل:

أ. كتلة NaCl في المحلول الملحي: $0.20 \times 100 = 20$ kg

NaCl المتبلور: $20 \times 0.50 = 10$ kg

NaCl في المحلول الملحي المركز: $20 - 10 = 10$ kg

إذن: مجموع NaCl في المحلول المركز والبلورات: $10 + 10 = 20$ kg

كتلة المحلول الملحي المركز: $0.30 \times 100 = 30$ kg

ب. كتلة $MgCl_2$ في المحلول الملحي المركز: $0.02 \times 100 = 2$ kg

ت. كتلة NaBr في المحلول الملحي المركز: $0.005 \times 100 = 0.5$ kg

ث. كتلة H_2O في المحلول الملحي المركز: $30 - (10+2+0.5) = 17.5$ kg

ج. كتلة (الماء المتبخر + NaCl المبلور + المحلول الملحي المركز): $30 + 10 + 60 = 100$ kg

ح. كتلة الماء المتبخر: $77.5 - 17.5 = 60$ kg

نسبة الماء المتبخر من مجموع الماء الموجود في المحلول: $(60/77.5) \times 100 = 77.4$ %

خ. بعد فصل جميع الماء الموجود في المحلول المركز سيصبح تركيب الخليط كالتالي:

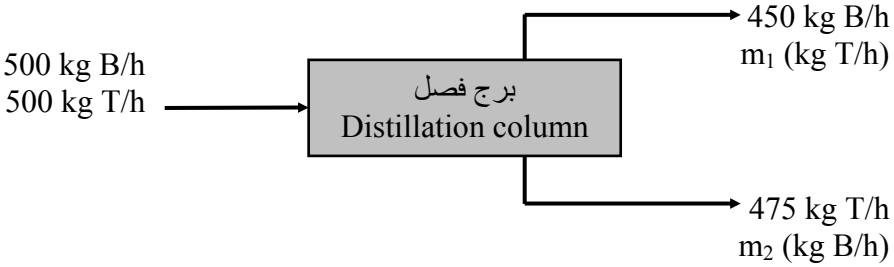
NaCl = 10 kg

$MgCl_2$ = 2 kg

NaBr = 0.5 Kg

مثال ٣- ٣:

يتم فصل خليط (1000 kg/h) مكون من 50% البنزين (B) و 50% التولوين (T). إذا كان معدل السريان ألكتلي للبنزين الناتج من أعلى برج الفصل يساوي 450 kg/h ومعدل السريان ألكتلي للتولوين في أسفل البرج يساوي 475 kg/h والعملية في الحالة المستقرة (steady-state)، اكتب معادلات الموازنة للبنزين والتولوين ثم احسب معدلات السريان المجهولة.



شكل ٣- ٩: رسم انسيابي لمثال٣- ٣.

بما أن العملية في الحالة المستقرة وليس هناك تفاعل كيميائي، فانه لا يوجد تراكم أو إنتاج أو استهلاك لأي مادة داخل النظام وبالتالي فان:

الداخل (input) = الخارج (output)

أ. موازنة البنزين:

$$500 \text{ kg B/h} = 450 \text{ kg B/h} + m_2$$

$$m_2 = 50 \text{ kg B/h}$$

ب. موازنة التلوين:

$$500 \text{ kg T/h} = m_1 + 475 \text{ kg T/h}$$

$$m_1 = 25 \text{ kg T/h}$$

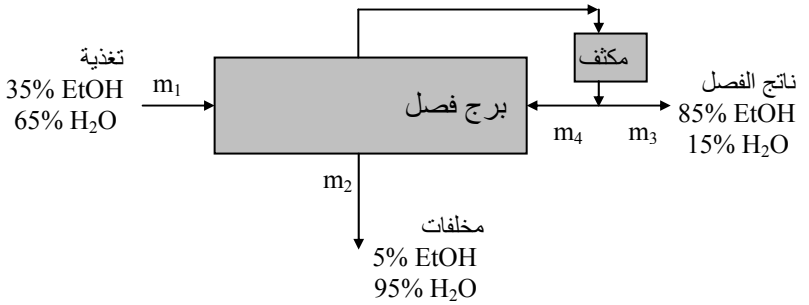
تأكيد الحسابات

$$1000 \text{ kg/h} = (450 + m_1 + m_2 + 475 \text{ kg/h})$$

$$1000 \text{ kg/h} = 1000 \text{ kg/h}$$

مثال ٣- ٤:

من الشكل أدناه لبرج فصل، احسب كتلة ناتج الفصل بـ kg لكل كيلوجرام تغذية و لكل كيلو جرام مخلفات.



شكل ٣- ١٠: رسم انسيابي لمثال٣- ٤.

الحل:

نلاحظ أن جميع التراكيب معروفة ولكن معدل السريان الكتلي لكل تيار مجهولة.

الأساس: التغذية (feed): $m_1 = 100$ kg/h

بما أنه لا يوجد تفاعل

إذن: الكتلة الداخلة = الكتلة الخارجة

أ. موازنة إجمالية: $100 = m_2 + m_3$

ب. موازنة على EtOH: $0.35 \times 100 = 0.85\ m_3 + 0.05\ m_2$

ت. موازنة على H_2O: $0.65 \times 100 = 0.15\ m_3 + 0.95\ m_2$

نستطيع حساب m_2 و m_3 من المعادلتين (أ) و (ب):

حيث سنحصل على:

$m_3 = 37.5$ kg/h

$m_2 = 62.5$ kg/h

$m_3/m_1 = 0.375$ kg/kg feed

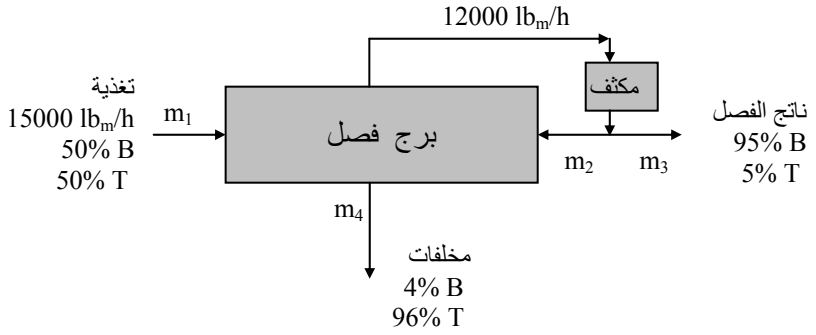
$m_2/m_1 = 0.625$ kg/kg feed

$m_3/m_2 = 0.60$

مثال٣- ٥:

يتم فصل خليط مركب من % 50 بنزين (B) و% 50 تلوين (T) في عمود فصل. الناتج من أعلى العمود (the overhead product) يحتوي على 95% بنزين (B)، بينما يحتوي الناتج من أسفل العمود (the bottom product) على 96% تلوين (T).

إذا كان معدل السريان الكتلي للتغذية يساوي 15000 lb_m/h ومعدل البخار الداخل إلى المكثف يساوي 12000 lb_m/h حيث يتم استرجاع جزء من ناتج التقطير إلى العمود كسائل معاد و الباقي يسحب للاستعمال في مكان آخر، أوجد نسبة السائل المعاد إلى ناتج التقطير المسحوب .



شكل رسم ٣- ١١: **رسم انسيابي لمثال٣- ٥.**

الحل:

الأساس: التغذية 15000 lb_m/h

عدد المجاهيل: ثلاثة و هي: m_2, m_3, m_4

نحتاج أذن إلى ثلاث معادلات لإيجاد المجاهيل:

أ. موازنة إجمالية على العمود:

$$m_1 = m_3 + m_4$$

ب. موازنة إجمالية (قبل المكثف):

$$m_1 + m_2 = 12000 + m_4$$

$$m_4 - m_2 = 3000$$

ت. موازنة على بنزين (قبل المكثف):

$$3900\ lb_m/h = 0.95\ m_2 - 0.05\ m_4 = (0.95 \times 12000)\ lb_m/h - (0.5 \times 15000)\ lb_m/h$$

$$m_4 = 7263.2\ lb_m/h$$

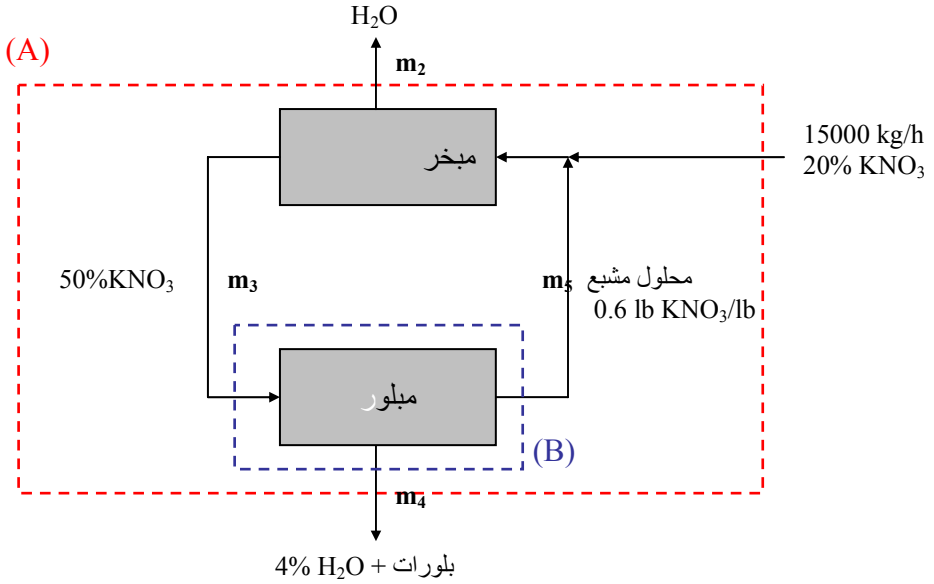
$$m_2 = 4263.2\ lb_m/h$$

$$m_3 = 7736.8\ lb_m/h$$

$$m_2/m_3 = 0.55$$

مثال ٣- ٦:

اعتمادا على المعلومات المعطاة في الشكل أسفل قم بأداء موازنة المادة وحساب معدلات السريان المجهولة (m_2, m_3, m_4, m_5).



شكل ٣- ١٢: رسم انسيابي لمثال٣- ٦.

الحل:

نبدأ بحساب معدل سريان تيار إعادة الدوران (m_5) والذي يحوي على 0.6 l KNO_3 b لكل lb من الماء (أي ان المجموع يساوي 1.6 lb) حيث يمكن حساب الكسر الكتلي لكل من KNO_3 والماء كالتالي:

$$0.375 = \frac{0.6}{1.6} = x_{KNO_3}$$

$$0.625 = \frac{1}{1.6} = x_{H_2O}$$

لحساب m_2 و m_4 سنقوم:

أ. بموازنة كلية حول النظام (المربع الأحمر A)

$$15000 = m_4 + m_2 \qquad (1)$$

ب. موازنة على KNO_3 :

$$0.2 \times 15000 = 0.96 \times m_4 \qquad (2)$$

بعد حل المعادلة (1) و (2) آنيا:

إذن: $m_4 = 3125\ lb/h$

$m_2 = 11875\ lb/h$

لحساب m_3 سنقوم بموازنة حول المبلور(المربع الأزرق B):

$$m_3 = m_4 + m_5 \qquad (3)$$

موازنة KNO_3 حول المبلور:

$$0.5\ m_3 = 0.96\ m_4 + 0.375\ m_5 \qquad (4)$$

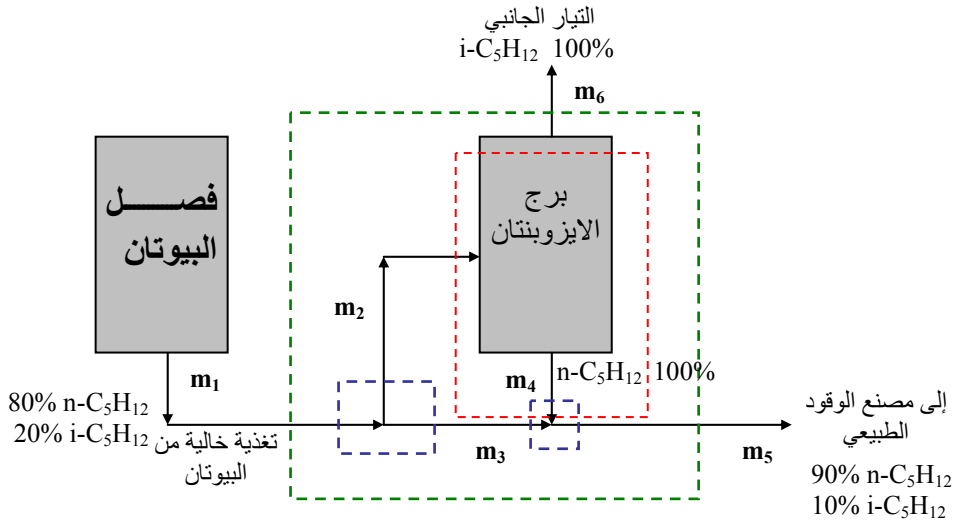
بعد حل المعادلة (3) و (4) أنيا:

إذن: $m_3 = 4768\ lb/h$

$m_5 = 1643\ lb/h$

مثال ٣- ٧:

أثناء عملية تحضير المواد الخام في مصنع إنتاج الوقود الطبيعي يتم فصل الايزوبنتان ($i\text{-}C_5H_{12}$) من البنتان العادي ($n\text{-}C_5H_{12}$) وذلك كما هو مبين في الشكل أسفل. احسب معدلات السريان المجهولة.



شكل ٣- ١٣: رسم انسيابي لمثال٣- ٧.

الحل:

الأساس: نفرض $m_1=100\ kg/h$

يمكن كتابة المعادلات التالية بعد القيام بموازنة كلية (المربع الأخضر):

$$100\ kg/h = m_5 + m_6 \quad (5)$$

موازنة كلية لـ $n\text{-}C_5H_{12}$:

$$0.8\ (100\ kg/h) = 0.9\ (m_5) \quad (6)$$

إذن:

$m_5 = 89\ kg/h$

$m_6 = 11\ kg/h$

موازنة حول برج الايزوبنتان (المربع الأحمر):

$$m_2=m_4 + 11\ kg/h \quad (7)$$

موازنة $n\text{-}C_5\ H_{12}$ حول برج الايزوبنتان:

$$0.8\ (m_2) = m_4 \quad (8)$$

إذن:

$m_2 = 55\ kg/h$

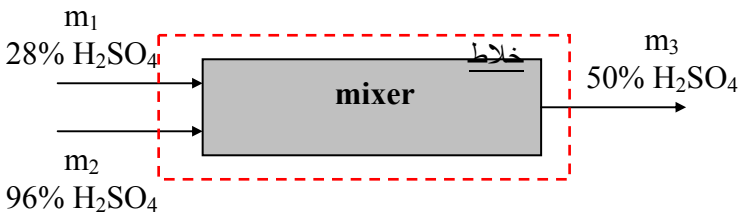
$m_3 = 45\ kg/h$

$m_4 = 44\ kg/h$

مثال ٣- ٨:

يتم تحضير محلول تركيزه % 60 من حامض الكبريتيك (H_2SO_4) بواسطة خلط محلول H_2SO_4 تركيزه % 28 و آخر تركيزه % 96. احسب كتلة الحامض المضاف؟

الحل:



شكل ٣- ١٤: رسم انسيابي لمثال٣- ٨.

الأساس: نفرض $100\ g/min$ من حامض $28\%\ H_2SO_4$

جميع التراكيب معروفة

لدين مجهولين: m_2 و m_3 ومركبين هما الماء و الحامض أي يمكن القيام بموازنتين:

أ. موازنة كلية (المربع الأحمر):

$$100 = m_2 + m_3 \qquad (9)$$

ب. موازنة على الماء:

$$(0.72 \times 100)\text{g/min} + 0.04\ (m_2) = 0.50\ (m_3) \qquad (10)$$

بعد حل المعادلات (9) و (10) نجد أن:

$m_2 = 47.83$ g/min

$m_3 = 147.83$ g/min

مثال ٣- ٩:

ما هي كتلة النتروسيليلوز الجاف الواجب إضافتها إلي محلول تركيزه % 5.5 من نفس المركب لتحضير1000 lb من النتروسيليلوز بتركيز 8%.

الحل:

الرسم التخطيطي للعملية كما يلي:

شكل ٣- ١٥: رسم انسيابي لمثال٣- ٩.

الأساس: 1000 lb من 8% النتروسيليلوز.

لدينا مجهولين هما m_1 و m_2 ومركبين هما النتروسيليلوز و الماء.

إذن يمكن القيام بموازنتين:

أ. **موازنة كلية (إجمالية):**

$$m_1 + m_2 = 1000\ lb_m \qquad (11)$$

ب. موازنة على الماء:

$$0.945\ (m_1) = 0.92 \times 1000\ lb_m \qquad (12)$$

بحل المعادلتين (11) و (12)، إذن:

$$m_1 = 973.5\ lb_m$$

$$m_2 = 26.5\ lb_m$$

مثال ٣- ١٠:

اعتمادا على المعطيات المبينة في الشكل أسفل، احسب معدلي السريان m_1 و m_2 .

شكل ٣- ١٦: رسم انسيابي لمثال٣- ١٠.

الحل:

الأساس: 100 g/s من المحلول الملحي المنتج.

عدد المجاهيل اثنين (m_1, m_2)

أ. موازنة كلية:

$$m_1 + m_2 = 100\ g/s \qquad (13)$$

ب. موازنة على الملح:

$$0.05\ m_2 + 0\ m_1 = (0.62\ g/s) \qquad (14)$$

بحل المعدلتين (13) و (14)، **إذن**:

$$m_1 = 87.6\ g/s$$

$$m_2 = 12.4\ g/s$$

مثال٣- ١١:

تمت إذابة 1200 lb من $Ba(NO_3)_2$ عند 90 °C في كمية كافية من الماء للحصول على محلول مشبع، ثم برد المحلول إلى 20 °C حيث أن القابلية للذوبان عند هذه الدرجة تساوي 8.6 g/1000g H_2O.

أ. احسب كتلة الماء اللازمة لإذابة $Ba(NO_3)_2$ عند 90 °C، و كتلة البلورات الناتجة عند 20 °C؟

ب. احسب كتلة الماء اللازمة لإذابة $Ba(NO_3)_2$ عند 90 °C، و كتلة البلورات الناتجة عند 20 °C، بفرض استعمال أكثر من 10 % ماء مما نحتاجه لمحلول مشبع عند 90 °C؟

ت. احسب كتلة الماء اللازمة لإذابة $Ba(NO_3)_2$ عند 90 °C، و كتلة البلورات الناتجة عند 20 °C، بفرض أن 5 % من الماء يتبخر بالتبريد و أن البلورات تحمل معها محلولا مشبعا بكمية مساوية لـ 5 % من كتلتها عند الجفاف؟

الحل:

الأساس: 1200 lb من $Ba(NO_3)_2$

جدول خواص الإذابة لـ$Ba(NO_3)_2$.

درجة الحرارة (°C)	الإذابة (lb/100 lb H_2O)
90	30.6
20	8.6

أ. لإذابة 1200 lb في الماء نحتاج إلى:

$$100 \times (1200/30.6) = 3921.6 \text{ lb } H_2O \quad (15)$$

كتلة الملح المذابة لمحلول مشبع يحتوي على 3921.57 lb ماء و عند 20 °C:

$$8.6 \times (3921.6/100) = 337.21 \text{ lb} \quad (16)$$

كتلة البلورات الناتجة:

$$1200 - 337.21 = 862.75 \text{ lb} \quad (17)$$

ب. كتلة الماء بحالة الإشباع 110 % و عند 90 °C.

$$1.1 \times 3921.6 = 4313.73 \text{ lb} \quad (18)$$

كتلة الملح المذابة لمحلول مشبع يحتوي على 4313.73 lb ماء و عند 20 °C:

$$8.6 \times (4313.73/100) = 371 \text{ lb} \quad (19)$$

كتلة البلورات الناتجة:

$$1200 - 371 = 829 \text{ lb} \quad (20)$$

ت. كتلة الماء في الملح المبلور:

$$0.05 \times 862.74 = 44 \text{ lb} \quad (21)$$

كتلة الماء اللازم:

$$3921.6 \times 1.05 + 44 = 4161 \text{ lb} \quad (22)$$

إعادة التدوير (Recycle)

يندر أن يتم التفاعل التالي بشكل كامل في المفاعل الكيميائي (أي تتحول جميع المواد المتفاعلة إلى نواتج):

$$A \rightarrow B$$

وبغض النظر عن قلة كمية المادة A أو طول فترة مكوثها في المفاعل، فان جزء من المادة A سيخرج مع المنتج. لذا فلابد من إيجاد وسيلة لفصل المادة A عن المنتج إذا أردنا أن نبيع منتج عالي النقاوة ومن ثم إعادة تدوير (recycle) هذا الجزء من المادة A إلى المفاعل.

بالإضافة للسبب أعلاه فانه يُحتاج إلى إعادة التدوير جزء في العمليات الكيميائية في الحالات التالية:

١. استعادة العامل الحفاز (Recovery of catalyst)

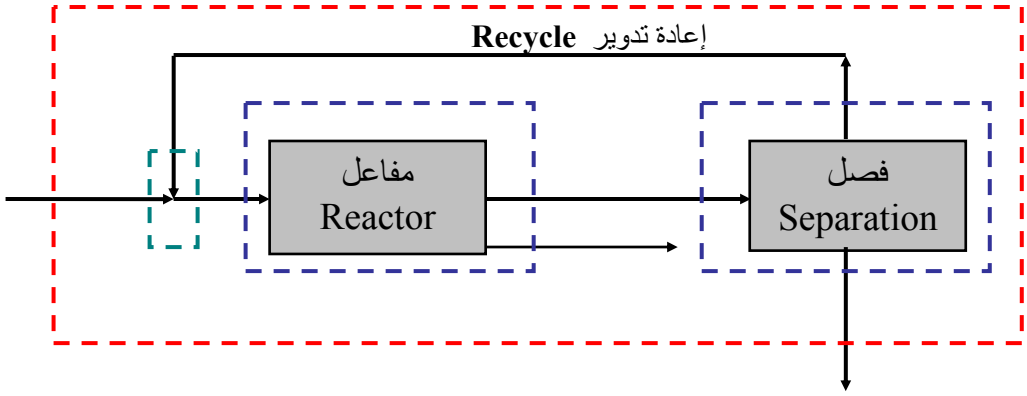
في كثير من الأحيان يتطلب الأمر إضافة مواد كيميائية غالية الثمن تسمى حفازات لزيادة سرعة التفاعل، وبالتالي فلابد من وجود وحدات لفصل الحفاز من المنتج وإعادة استخدامه في المفاعل مرة ثانية.

٢. تخفيف تيار التغذية (Dilution of a process stream)

عندما تكون التغذية للعملية الكيميائية –مثلا لمرشح (Filter)- على شكل مادة صلبة معلقة في مادة سائلة (a suspension of solid in a liquid)، فإذا كان تركيز المادة الصلبة عالي فانه يصعب نقل و التعامل مع تيار التغذية. لذا فلابد من تخفيف تيار التغذية بتغذية جديدة فان السائل المستخلص من عملية الترشيح (filtrate) يعاد استخدامه لخفيف تركيز تيار التغذية.

٣. التحكم بمتغيرات العملية (Control of a process variable)

إذا إفترضنا أن التفاعل ينتج كمية كبيرة جدا من الحرارة مما يؤدي إلى صعوبة التحكم بالمفاعل، فانه بتخفيف تركيز المواد المتفاعلة –بواسطة إعادة تدوير جزء من تيار الخارج من المفاعل إلى تيار التغذية- سيؤدي إلى خفض كمية الحرارة المنتجة من التفاعل وبالتالي يصبح من الممكن السيطرة على المفاعل



مثال٣- ١٢:

تيار يحتوي على 80 mole% من الاسيتالدهيد (C_2H_4O) و 20 mole% أوكسجين يغذى الى مفاعل (الشكل ٣- ١٧) حيث يحدث التفاعل التالي:

$$C_2H_4O + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow C_2H_4O_2 \qquad (23)$$

$$C_2H_4O + \frac{5}{2}O_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2 \qquad (24)$$

حيث حامض الخل (C_2H_4O) هو المنتج المرغوب فيه. إذا كانت نسبة التحول للاسيتالدهيد داخل المفاعل 40% وجميع الأوكسجين الداخل إلى المفاعل يتم استهلاكه. يتم إرسال الخارج من المفاعل إلى عملية فصل متعددة الوحدات (multiple-unit separation process) حيث يُفصل ثلاث تيارات نواتج هي:تيار يحتوي على 84% من الاسيتالدهيد غير متفاعل حيث يعاد تدويره إلى المفاعل، والتيار الثاني يحتوي على الباقي من الاسيتالدهيد و ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، والتيار الثالث يحتوي على حامض الخل وماء. إذا كانت التغذية الداخلة إلى العملية هي الاسيتالدهيد والأكسجين أوجد:

رسم وتعليم (label) المخطط الانسيابي (flowchart) للعملية.

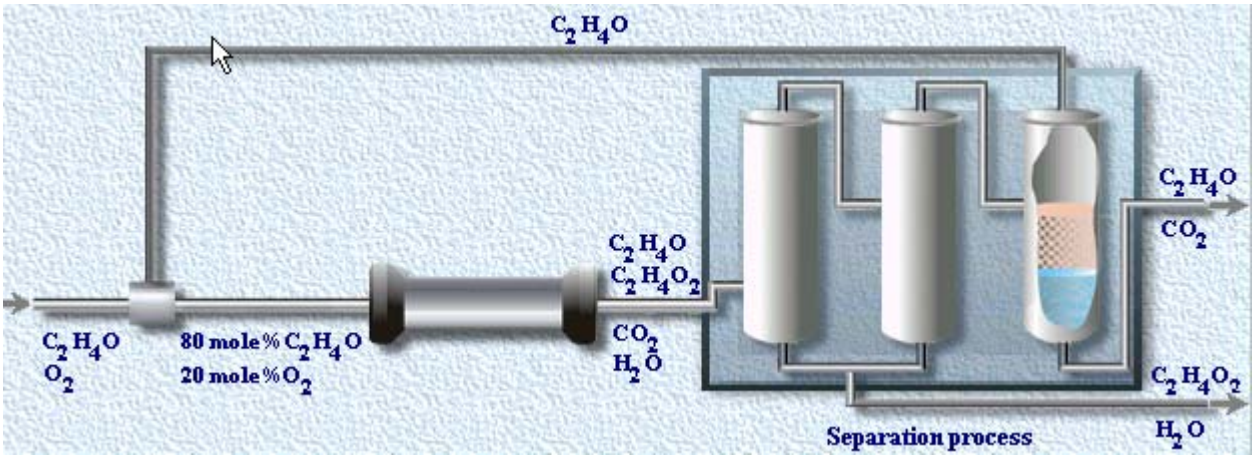
اختيار الأساس المناسب لإجراء الحسابات.

اكتب معادلات موازنة المادة للعملية كاملة ووحداتها.

تركيبة التغذية الداخلة إلى العملية.

تركيبة الخارج من المفاعل.

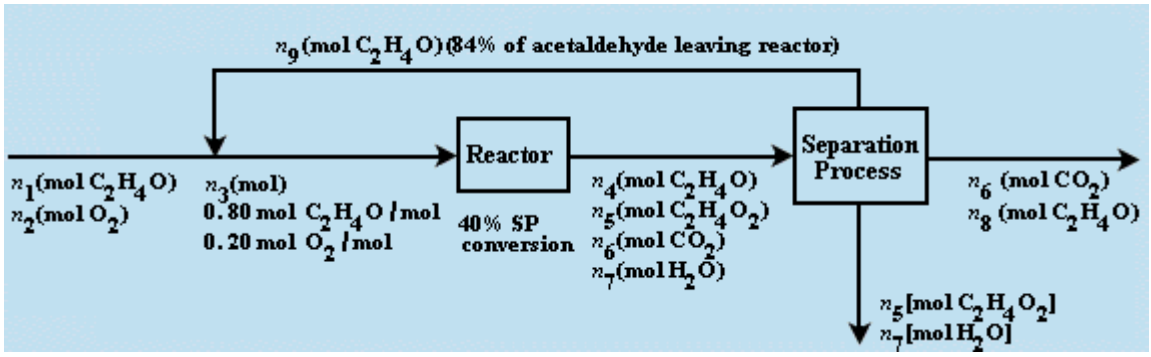
تركيبة التيارات الخارجة من عملية الفصل



شكل ٣- ١٧: رسم توضيحي لمثال٣- ١٢.

الحل:

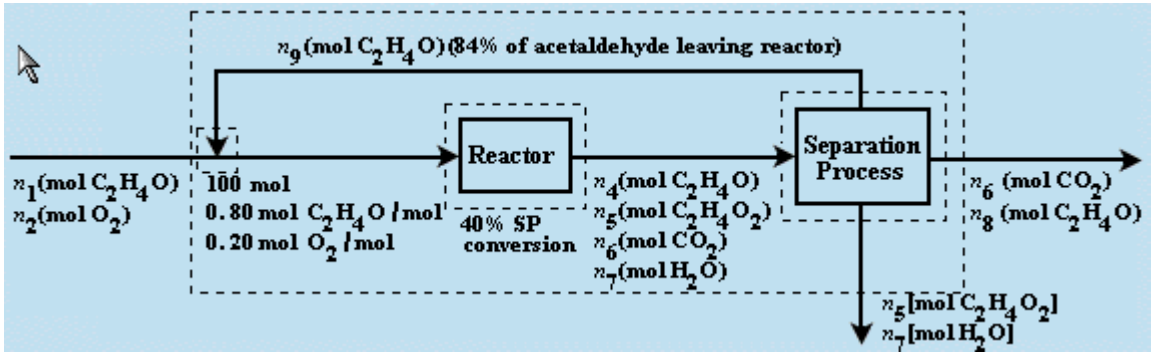
١. رسم المخطط الانسيابي (الشكل ٣- ١٧) للعملية وكتابة المعطيات المعلومة والمجاهيل:



شكل ٣- ١٧: رسم تخطيطي لمثال٣- ١٢.

٢. **الأساس:** ١٠٠ مول من التغذية الداخلة إلى العملية.

٣. كتابة معادلات موازنة المادة للعملية كاملة ووحداتها عمليات رسم حدود (صناديق مقطعة الخطوط) حول العملية الكلية ووحداتها (الشكل ٣- ١٨):

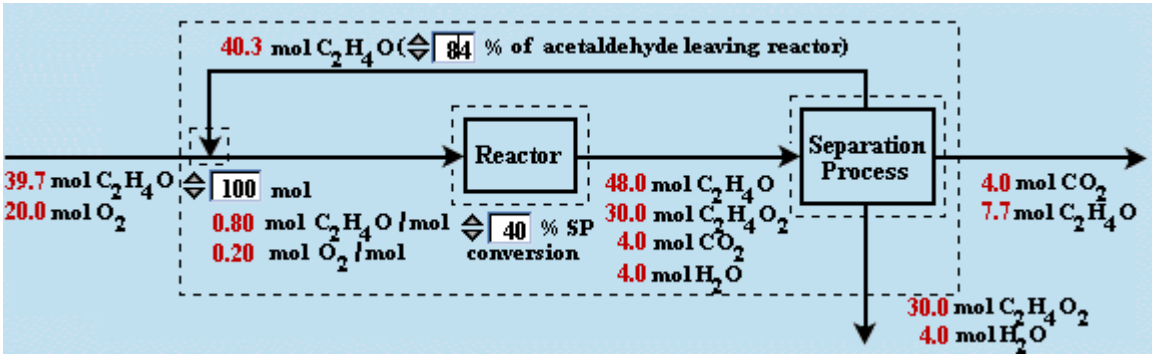


شكل ٣- ١٨: رسم حدود حول العملية ووحداتها لمثال٣- ١٢.

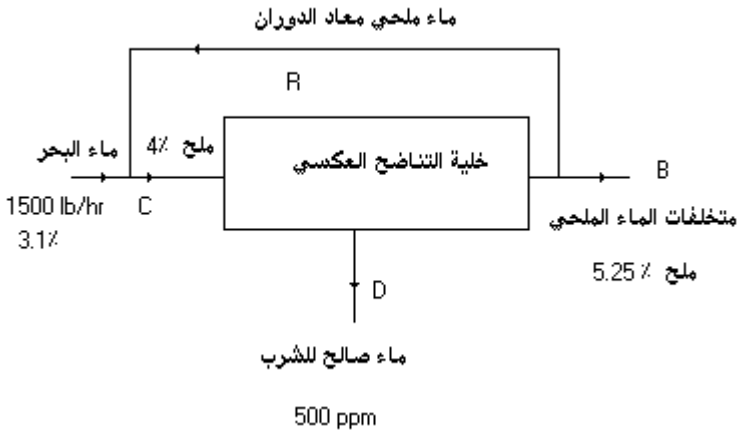
$$2n_1 = n_6 + 2n_5 \quad (25)$$
$$n_1 + n_9 = 0.8\times100 \quad (26)$$
$$2\times0.8\times100 = 2n_4 + 2n_5 + n_6 \quad (27)$$
$$n_4 = n_8 + n_9 \quad (28)$$
$$n_1 + 2n_2 = 2n_5 + n_7 + 2n_6 + n_8 \quad (29)$$
$$100\times(0.8+0.2\times2) = n_4 + 2n_5 + 2n_6 + n_7 \quad (30)$$
$$4\times0.8\times100 = 4n_4 + 4n_5 + 2n_7 \quad (31)$$
$$n_9 = 0.84n_4 \quad (32)$$
$$n_4 = 0.8\times100\times(1-0.4) \quad (33)$$
$$4n_1 = 4n_5 + 2n_7 + 4n_8 \quad (34)$$
$$n_2 = 0.2n_5\times100 \quad (35)$$

بعد حل المعادلات من ٢٥- ٣٥ نحصل على النتائج التالية:

$n_1 = 39.68$ mol
$n_5 = 30$ mol
$n_6 = 4$ mol
$n_7 = 4$ mol
$n_8 = 7.68$ mol
$n_9 = 40.32$ mol
$n_2 = 20$ mol
$n_4 = 48$ mol



مثال ٣- ١٩:



شكل ٣- ١٩: رسم توضيحي لمثال٣- ١٩.

أ- معدل إزالة متخلفات المحلول الملحي B؟

ب- معدل إنتاج ماء صالح للشرب D؟

ت- كسر الماء المالح المغادر لخلية الفصل و المعاد دورانه؟

الحل

الأساس: 1500 lb/h ماء بحر

لحساب B وD سنقوم بموازنة كلية و موازنة على الملح:

$$B + D = 1500 \text{ lb/h} \quad (36)$$

$$0.0525 \times B + 510^{-4} \times D = 0.031 \times 1500 \text{ lb/h} \quad (37)$$

بحل المعادلتين (36) و (37) نحصل على:

$$B = 888 \text{ lb}$$

$D = 612\ lb$

لحساب C و R سنقوم بموازنتين عند نقطة الخلط:

$$1500 + R = C \quad (38)$$

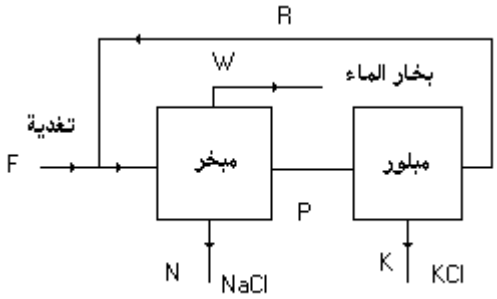
$$0.031 \times 1500 + 0.0525 \times R = 0.04 \times C \quad (39)$$

ب- $C = 2580\ lb$

$R = 1080\ lb$

مثال ٣- ٢٠

اعتمادا على المعلومات المبينة في المخطط تحت احسب معدل السريان في النقطتين P و R .



شكل ٣- ٢٠: رسم توضيحي لمثال٣- ٢٠.

النقطة	NaCl	KCl	H_2O
F	0.10	0.03	0.87
P	0.168	0.216	0.616
R	0.189	0.123	0.688

الحل

الأساس:التغذية: 100 kg/h

موازنة كلية:

أ- على الماء:

$0.87 \times 100 = 87\ kg/h = W$

ب- على ملح الطعام

$0.10 \times 100 = 10\ kg/h = N$

ت- على ملح البوتاسيوم:

$0.030 \times 100 = 3\ kg/h = K$

لحساب P و R سنقوم بموازنة على المبلور:

أ- موازنة كلية:

$P = R + K = R + 3$

ب- موازنة على ملح الطعام:

$(0.168)\ P = (0.189)\ R$

حل المعدلتين يعطي:

$P = 27\ kg/h$

$R = 24\ Kg/h$

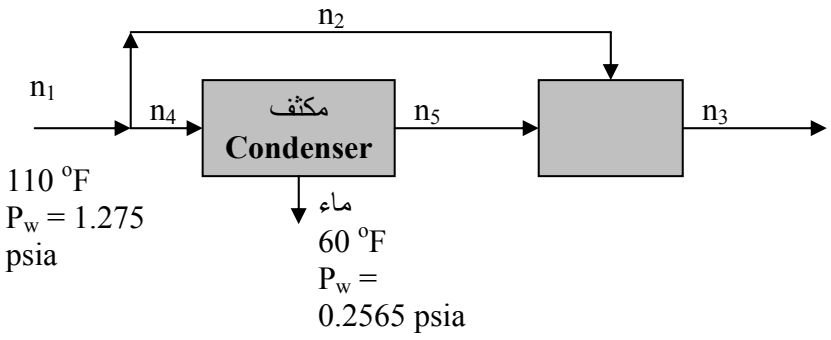
مثال ٣- ٢١:

اعتمادا على المعطيات المبينة في الشكل ٣- ٢١ و الجدول اسفل احسب:

أ- كتلة بخار الماء في كل رطل هواء جاف أصلي (حالة تشبع عند 110 °F)

ب- كتلة بخار الماء في كل رطل هواء جاف للهواء الناتج من المكثف (حالة تشبع عند 60 °F)

ث- النسبة الكتلية للهواء الجاف المار جانبيا للوحدة إلى كتلة الهواء الجاف المرسل إلى المكثف.



شكل ٣- ٢١: رسم توضيحي لمثال٣- ٢١.

درجة الحرارة (° F)	الضغط (psia)
60	1.2748
110	0.256

الضغط الكلي: 14.7 psia

الحل

الأساس: 100 mole هواء جاف

١- في البداية سنفرض أن البخار غاز مثالي.

٢- لحساب نسبة مولات بخار الماء في الهواء إلى مولات الهواء الجاف فإنها نسبة الضغط الجزيئي لبخار الماء في الهواء إلى الضغط الجزيئي للهواء الحاف .

أ-

$$\frac{1.2748 \text{ mole } H_2O}{(14.7 - 1.2748) \text{ mole dry air}} \left| \frac{18 \text{ lb } H_2O}{\text{mole } H_2O} \right| \frac{\text{mole dry air}}{29 \text{ lb dry air}}$$

$$= 0.059 \text{ lb } H_2O/\text{lb dry air}$$

ب-

$$\frac{0.2563 \text{ mole } H_2O}{(14.7 - 0.2563) \text{ mole dry air}} \left| \frac{18 \text{ lb } H_2O}{\text{mole } H_2O} \right| \frac{\text{mole dry air}}{29 \text{ lb dry air}}$$

$$= 0.011 \text{ lb } H_2O/\text{ lb dry air}$$

ج- لنفرض n عدد مولات الهواء و y كسر البخار في الهواء (mole H_2O/ mole dry air)

١- موازنة كلية على الهواء الجاف:

$$n_1(1 - y_1) = n_3(1 - y_3)$$

من المعادلة فوق:

$$n_3 = 96.7 \text{ mole air}$$

علما بأن:

$$n_1 = 100 \text{ mole}$$

$$y_1 = 0.059 \text{ mole } H_2O/\text{ mole dry air}$$

$$y_3 = 0.02 \text{ mole } H_2O/\text{ mole dry air}$$

٢- موازنة (كلية و على الماء) عند نقطة الخلط بين الهواء البارد و الساخن

$$n_3 = n_5 + n_2$$

$n_3y_3 = n_5\ y_5 + n_2y_2$

علما أن:

$y_2 = y_1 = 0.059$ mole H_2O/ mole dry air

$y_3 = 0.02$ mole H_2O/ mole dry air

$y_5 = 0.011$ mole H_2O/ mole dry air

حل العادلتين يؤدي إلى:

$n_2 = 18.3$ mole air

$n_5 = 78.4$ mole air

$n_2/n_1 = 0.183$

المراجع

١- صلاح حميد العنبكي "أسس حسابات الهندسة الكيميائية"
جامعة الموصل ، ١٩٨٥ ، بغداد

2- David M. Himmelblau, "Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering",, 6th Edt. Printice Hall International Series, 1995, USA
3- Nicholas P. Chopey, "Handbook of Chemical Engineering Calculations", 2nd Edt., 1994, McGraw-Hill International Editions, USA
4- Olaf. A. Hougen, Kenneth M.Warson and Roland A. Ragatz, chemical Process Principles, Material and Energy Balances, 1968, Wiley & Sons, USA
5- Reid R.C, Prausnitz J.M, Sherwood T.K, The Properties of Gases and Liquids, 4th Edt. , McGraw-Hill International Editions, 1997, USA
6- Perry R.H, Chilton C.H, Chemical Engineer's Handbook, 7th Edt., McGraw-Hill International Editions,1998, USA
7- Richard M. Felder, Ronald W. Rousseau, Elementary Principles of Chemical Processes, 3rd Edt., J. Wiley & Sons, 2000, USA
8- Glyn J. Advanced Modern Engineering Mathematics, 2nd Edt. Addison-Wesley, 1999, USA

المحتويات

الوحدات و الأبعاد ٢
تمارين ٢٣
الكثافة (ρ) Density ٢٨
تمارين ٥٣
موازنات المادة (Mass Balances) ٥٥
الشكل ٣-١: مكونات النظام و مصطلحاته ٥٥
الشكل ٣-٢: حدود النظام لعملية كيميائية ٥٥
تصنيف العمليات ٥٧
المراجع ٨٢