الباب التاسع

انتقال الحرارة : HEAT TRANSFER

تعتبر عملية انتقال الحرارة والتبادل الحرارى من العمليات ذات الاهمية الخاصة اذ ان غالبية عمليات التصنيع الغذائى تعتمد اعتمادا اساسيا على نقل الحرارة الى المواد المراد تصنيعها ، أى اجراء عمليات تسخين مثل بسترة الالبان وتعقيمها وتجفيف محاصيل الفاكهه والخضر او امتصاص الحرارة من المواد المراد تصنيعها ، أو اجراء عمليات تبريد مثل تجميد الاغذية وعمل الايس كريم وحفظ المواد المصنعه او الغير مصنعه مثل محاصيل الفاكهه والخضر تحت درجات حرارة منخفضة فى غرف تبريد خاصة تمهيدا لتداولها محليا أو تصديرها الى الخارج .

لذلك نجد انه من واجب مهندس الاغذيه الالمام الكامل والكافى بالاسس والمبادىء الخاصه بانتقال الحراره حتى يمكنه التحكم فى عمليات التصنيع والوصول بالمنتج الى الجردة المطلوبه للتسويق وهناك ثلاثة طرق رئيسية تنتقل بها الحرارة خلال جسم أو من جسم الى آخر وهى :

١- انتقال الحرارة بالتوصيل : Heat Conduction

وتتم عملية نقل الحرارة نتيجة لتلامس جزئيات المادة مع بعضها بدون تحركها. وتعتبر عملية رئيسية فى المواد الصلبة ، وثانوية فى المواد السائله ، وقليلة الاهميه فى الغازات .

٢- انتقال الحراره بالحمل : Heat Convection

وفيها تنتقل الحرارة من جسم ما الى سائل او غاز وذلك اثناء سريانه داخل مواسير او خارجها . وتتم عملية نقل الحرارة نتيجة لحركة جزئيات السوائل او الغازات .

٣- انتقال الحراره بالاشعاع : Heat Radiation

ويتم انتقال الحرارة بهذه الطريقه من اى جسم بدون وسيط وذلك نتيجة لاشعاع الحرارة من هذا الجسم على هيئة موجات كهرومغناطيسيه Electromagnetic Waves.

obeikandi.com

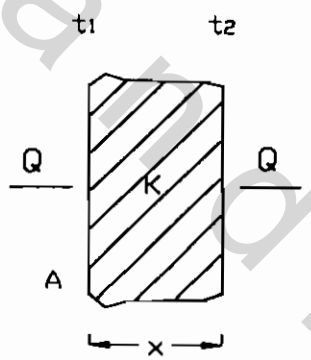
ومن الناحية العملية لايحدث انتقال للحرارة من نوع واحد فقط ، بل دائما نجد على الاقل اشتراك نوعين فى نقل الحراره وتسمى العمليه بانتقال الحرارة المختلط Combined Heat Transfer ويتوقف معدل انتقال الحرارة خلال جسم على عدة عوامل اهمها : الفرق بين درجات حرارة اسطح الجسم ، ومساحة سطح التبادل الحرارى العمودى على اتجاه انتقال الحراره ، ومقدرة الجسم على نقل الحراره او مدى مقاومة الجسم لانتقال الحرارة وعموما يعبر عنه بمعامل انتقال الحراره .

obeikandl.com

انتقال الحرارة بالتوصيل : HEAT CONDUCTION

اذا فرض انه يوجد لدينا جسم ما ، مثل حائط ذو سمك معين ، ودرجة حرارة سطحيه المتقابلين مختلفة ، نجد انه فى حالة الاستقرار الحرارى تنتقل كمية من الحرارة من السطح ذو درجة الحرارة المرتفعة خلال سمك الحائط الى السطح ذو درجة الحرارة المنخفضه (شكل ٩-١). وقد وجد عمليا ان معدل انتقال الحرارة خلال الحائط يتناسب تناسبا طرديا مباشرا مع الفرق فى درجة حرارة السطحين ومساحة السطح العمودى على اتجاه انتقال الحراره . ويتناسب تناسبا عكسيا مع سمك الحائط المنتقله خلاله كمية الحرارة . ويعبر قانون فورير Fouriers Law عن العلاقة بين معدل انتقال الحرارة خلال الحائط والمتغيرات المذكورة كما يأتى :

$$Q = kA \frac{(t_1 - t_2)}{X} \qquad (9\text{-}1)$$



شكل (٩-١) انتقال الحرارة خلال حائط لانهائى

حيث ان :

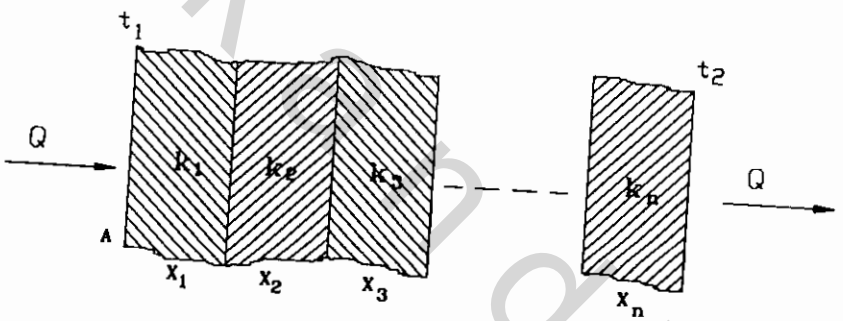
Q	=	معدل انتقال الحرارة بالتوصيل	BTU/hr or kcal./hr. or kW
k	=	معامل انتقال الحرارة بالتوصيل بوحدات	BTU/hr. ft ^{o}F or kcal/hr. m. ^{o}C or W/m K
A	=	مساحة السطح العمودى على اتجاه انتقال الحرارة	f t^2 or m^2
t_1	=	درجة حرارة السطح الساخن للحائط	^{o}F or ^{o}C
t_2	=	درجة حرارة السطح البارد للحائط	^{o}F or ^{o}C
X	=	سمك الحائـــط	ft or m

obeikandl.com

ويعبر المعامل " k " عن مدى مقاومة مادة الحائط لانتقال الحرارة ، فكلما زادت قيمته كلما كان الجسم موصلا جيدا لانتقال الحرارة ، وكلما قلت قيمته كلما كان الجسم ردىء التوصيل للحرارة اى عازل جيد للحراره

وعادة ما يتكون الجسم من اكثر من طبقة واحدة ، كما هى الحالة عند عزل جدران غرفة تبريد . فتمر كمية من حرارة الجو الخارجى للغرفة من طبقة مادة عازله ملاصقه لطبقة مونه اسمنتيه ثم طبقة الطوب الاحمر (مادة البناء) ثم طبقة مونة اسمنتيه أخرى ومنها خلال طبقة مادة عازله اخرى حتى تصل الى هواء الغرفه الداخلى .

ويمثل الشكل (٩-٢) طريقة انتقال الحراره خلال جسم مكون من عدة طبقات متوازيه .



شكل (٩-٢) انتقال الحرارة خلال حائط مركب من عدة طبقات

$$Q = \frac{A\,(t_1 - t_2)}{\frac{X_1}{k_1} + \frac{X_2}{k_2} + \frac{X_3}{k_3} + \ldots\ldots\ldots + \frac{X_n}{k_n}} \qquad (9\text{-}2)$$

حيث ان :

X_1 ، X_2 ..... X_n هى سمك طبقات الحائط

k_1 ، k_2 ..... k_n هى معامل انتقال الحرارة بالتوصيل المناظره .

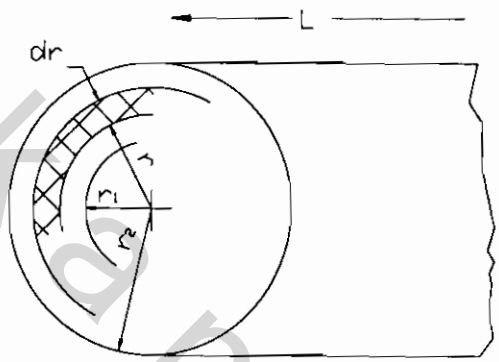
ويمكن تطبيق قانون فورير لانتقال الحراره بالتوصيل خلال سمك جدار جسم اسطوانى من الداخل الى الخارج ويسمى بانتقال الحرارة القطرى اى فى اتجاه القطر كما يأتى :

معدل انتقال الحراره التفاضلى للسريان القطرى = Q

$$Q = - kA \frac{dt}{dr} \qquad (9-3)$$

حيث أن

$\frac{dt}{dr}$ هو المعدل التفاضلى للتغير فى درجة الحرارة فى اتجاه القطر الاسطوانى.



شكل (٩-٣) انتقال الحرارة القطرى فى إسطوانه

حيث أن هذا المعدل متناقص فالاشارة السالبه موجودة لتصحح ذلك.

وقيمة A المساحه السطحيه للاسطوانه = 2π rL

وباجراء عملية التكامل بعد التعويض عن قيمة A نحصل على :

$$Q = - 2\pi r\ kL \frac{dt}{dr} \qquad (9-4)$$

$$\therefore - \frac{Q}{2\pi kL} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \int_{t_1}^{t_2} dt \qquad (9-5)$$

$$\frac{Q}{2\pi kL} \ln \frac{r_2}{r_1} = - \left[t\right]_{t_1}^{t_2} \qquad (9-6)$$

obeikandl.com

$$Q = \frac{2\pi kL\ (t_1 - t_2)}{\ln r_2 / r_1} \qquad (9\text{-}7)$$

or

$$Q = \frac{2\pi kL\ (t_1 - t_2)}{\ln D_2 / D_1} \qquad (9\text{-}8)$$

حيث أن :

L = طول الاسطوانه.

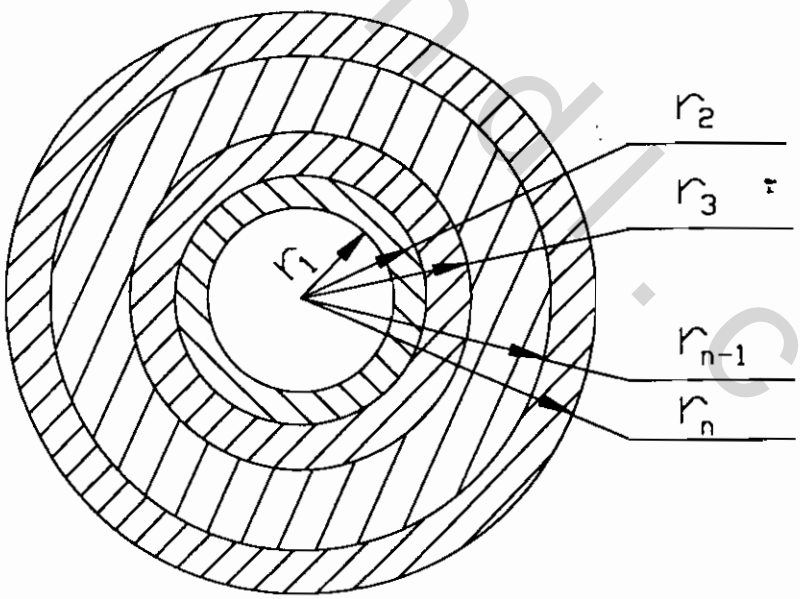
D_1 = قطر الاسطوانه الداخلى.

D_2 = قطر الاسطوانه الخارجى.

π = النسبه التقريبيه $\frac{٢٢}{٧}$

ln = لوغاريتم العدد للاساس الطبيعى وليس للاساس ١٠

ومن الناحيه العمليه ، تكون الاسطوانه مغطاه باكثر من طبقة كما هى الحالة عند توصيل ماسورة بخار من موقع القيزان الى معدات التصنيع حيث تعزل ماسورة البخار بطبقة او اكثر من مواد عازلة للحرارة ويمكن حساب معدل انتقال الحراره كما يأتى:-



شكل (٩-٤) انتقال الحراره القطرى فى طبقات اسطوانيه

obeikandl.com

$$Q = \frac{2\pi L\ (t_1 - t_2)}{\frac{\ln D_2/D_1}{k_1} + \frac{\ln D_3/D_2}{k_2} + \ldots\ldots \frac{\ln D_n/D_{n-1}}{k_{n-1}}} \qquad (9\text{-}9)$$

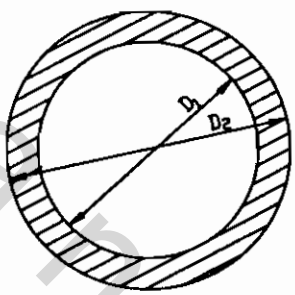
حيث أن :

D_1 = قطر الاسطوانه الداخلى

D_2 ، D_3 ، D_4 .... D_n = اقطار طبقات المواد الخارجيه المغلفة للاسطوانه

k_1 = معامل انتقال الحرارة بالتوصيل لمادة الاسطوانه

k_2 ، k_{n-1} = معامل انتقال الحرارة بالتوصيل لطبقات المواد الخارجيه المغلفه للاسطوانه.



شكل (٩-٥) انتقال الحرارة القطرى فى طبقات كرويه

أما اذا كان انتقال الحراره يتم من داخل الى خارج (او العكس) جسم كروى الشكل كما هى الحاله عند تبريد البطيخ مثلا داخل غرفة تبريد فيمكن حساب معدل انتقال الحراره كما يأتى :

$$Q = \frac{2\pi k\ (t_1 - t_2)}{\frac{1}{D_1} - \frac{1}{D_2}} \qquad (9\text{-}10)$$

حيث ان :

D_1 = قطر الكره حتى السطح الداخلى للجسم .

D_2 = قطر الكره حتى السطح الخارجى للجسم .

يوجد بالملاحق (ملحق رقم ٣) جداول تبين قيم معامل انتقال الحراره بالتوصيل لبعض المعادن وسبائكها وكذلك لبعض المواد العازلة الشائعة الاستعمال فى عمليات التسخين والتبريد داخل مصانع الاغذيه والالبان بالوحدات الدوليه.

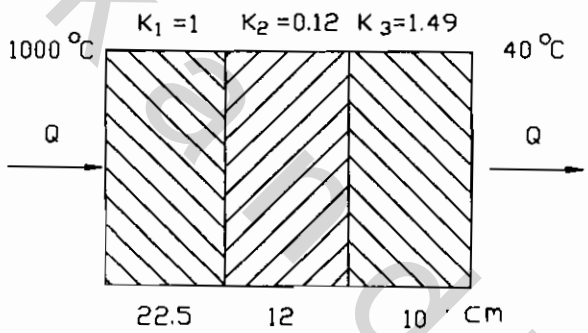
obeikandi.com

مثال : احسب معدل الفقد فى الحراره من حائط فرن مكون من ثلاثة طبقات كالاتى:

٢٢ر٥ سم طوب حرارى ذو معامل انتقال حراره بالتوصيل ١ر٠ وات/متركلفن
١٢سم مادة عازله ذو معامل توصيل للحراره مقداره ١٢ر٠ وات/متركلفن
١٠ سم من طوب احمر ذو معامل توصيل للحراره مقداره ١ر٤٩ وات/متر كلفـــن

وذلك اذا كانت درجة حرارة السطح الداخلى والخارجى ١٠٠٠°م ، ٤٠°م على الترتيب.

الحـــل



$$Q = \frac{A\,(t_1 - t_2)}{\frac{X_1}{k_1} + \frac{X_2}{k_2} + \frac{X_3}{k_3}}$$

$$Q = \frac{(1000 - 40)\ X\ 1}{\frac{22.5}{(100)\ (1)} + \frac{12}{(100)\ (0.12)} + \frac{10}{(100)\ (1.49)}}$$

$$= 745 \quad Watt/m^2$$

obeikandl.com

انتقال الحرارة بالحمل : HEAT CONVECTION

اذا فرض انه يوجد لدينا جسم معدنى ساخن ، ويوجد على اسطحه سائل او غاز سواء فى حالة سكون او حركة مستمره ، نجد انه تنتقل كمية من الحرارة من الجسم الى السائل او الغاز نتيجة لملامستها لسطح التبادل الحرارى . ويلاحظ انه اذا تحرك السائل او الغاز على سطح التبادل الحرارى تتكون طبقة ذات سمك صغير جدا من السائل او الغاز تكون ملاصقه لهذا السطح تسمى بالطبقة الحديه او Boundary Layer ويتم انتقال الحراره خلالها من الجسم المعدنى الى بقية السائل او الغاز . ويزداد معدل انتقال الحرارة كلما قل سمك هذه الطبقه . ويتم انتقال الحرارة فى حالة سكون السائل او الغاز على السطح الساخن نتيجة للفرق فى كثافة الطبقة الملامسه للسطح الساخن . فمن المعلوم ان هذه الطبقه تكون درجة حرارتها مرتفعه نوعا ما عن بقية السائل او الغاز مما يتسبب عنه انخفاض فى كثافتها فترتفع الى اعلى ويحل محلها طبقة اخرى ذات درجة حرارة منخفضه وتتوالى هذه العملية محدثة حركة فى السائل او الغاز تسمى بتيارات الحمل ويسمى هذا النوع من انتقال الحرارة بالحمل الحر Free Convection . أما فى حالة حركة السائل او الغاز نتيجة لدفعها بواسطة طلمبه أو مروحة على سطح التبادل الحرارى فيسمى انتقال الحراره بالحمل الجبرى Forced Convection وفى كلا الحالتين فانه يمكن استخدام قانون نيوتن للتبريد او التسخين Newton's Law of Cooling or Heating لحساب كمية الحرارة المنتقله الى السائل او الغاز فى وحدة الزمن كما يأتى :

$$Q = h A (t_2 - t_1) \qquad (9\text{-}11)$$

حيث أن :

t_2 = درجة حرارة سطح التبادل الحرارى ^oF or ^oC

t_1 = درجة حرارة السائل او الغـــاز ^oF or ^oC

A = مساحة سطح التبادل الحـــرارى $f t^2$ or m^2

h = معامل انتقال الحراره بالحمل

BTU/hr. ft^2 ^oF or kcal/hr.m^2 ^oC or Watt/m^2 K

وبخلاف الحالة فى ان معامل انتقال الحراره بالتوصيل " k" كمية ثابته لكل مادة تختلف من مادة الى اخرى وتدل على مدى مقاومتها لانتقال الحرارة نجد ان معامل انتقال الحراره بالحمل "h" يختلف اختلافا جذريا بالنسبه للسائل او الغاز نفسه وذلك تبعا للظروف التى تتحكم فى سريان السوائل والغازات التى تعتمد على مايأتى :

obeikandl.com

١- سرعة سريان السائل او الغاز على سطح التبادل الحرارى .
٢- نوع السريان على الاسطح.
٣- كثافة السريان او الغاز.
٤- لزوجة السائل او الغاز.
٥- حرارته النوعية.
٦- درجة حرارة سطح التبادل الحرارى .
٧- طول السطح او قطره فى حالة الاسطح المستديره .

سريان السوائل والغازات على الاسطح او داخل مواسير :

سواء كان سريان السوائل او الغازات سريانا حرا او جبريا (قسريا) فنجد انه اما ان يسير فى خطوط متوازيه او انسيابيه Streamline or Laminar Flow او فى المرحلة الانتقالية Transition Flow كخليط من الخطوط المتوازيه والمضطربه ، او يسير فى حالة دوامية مضطربه Turbulent Flow وتؤثر طريقة سريان السوائل او الغازات على قيمة معامل انتقال الحرارة بالحمل "h".

وتتحدد طريقة سريان السائل او الغاز بمعرفة قيمة رقم رينولدز Reynolds Number اذا كانت قيمته اقل من ٢١٠٠ كان سريان السائل او الغاز من النوع الانسيابى المتوازى واذا زادت عن ٤٠٠٠ دل ذلك على ان السريان من النوع الدوامى المضطرب والسابق الاشاره اليها فى الباب الخاص بسريان الموائع ونعيد فيما يلى كتابة المعادله الخاصه برقم رينولدز Re.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \qquad (9\text{-}12)$$

حيث ان :

V	=	سرعة سريان السائل او الغاز	ft/sec. or m./sec.
ρ	=	كثافة السائل او الغاز	Lb/ft^3 or kg./m^3
D	=	الطول المميز لسطح السريان	ft. or m.
μ	=	لزوجة السائل او الغاز	Lb/ft. sec. or kg./m.sec.

مع مراعاة ان خواص السائل او الغاز الطبيعيه يجب حسابها عند درجة الحرارة المتوسطة له وفى حالة ما اذا كان السريان داخل مواسير فيكون D هو قطر الماسوره الواحدة ، واذا كان السريان على اسطح فيكون D هو طول السطح ، اما اذا كان السريان داخل مواسير مقطعها غير دائرى (مربع او مستطيل مثلا) فان D فى

هذه الحالة تمثل مايسمى بالقطر الهيدروليكى لمقطع مجرى السريان ويمكن حسابه كما ذكر سابقا فى الباب الخاص بسريان الموائع

الحالات المختلفه لانتقال الحرارة بالحمل وطريقة ايجاد المعامل "h".

قبل ان نذكر فيما بعد الحالات المختلفه لانتقال الحرارة بالحمل فانه يجب معرفة رقم أخر يسمى رقم براندل Prandtl Number وهو رقم غير مميز (لابعدى)يحدد مدى مقارنة توزيع درجة حرارة سائل او غاز داخل مجرى اثناء تسخينه او تبريده وتغيرها مع سرعة سريانه داخل هذا المجرى .

ويرمز لرقم براندل بالرمز "Pr" وتتحدد قيمته من المعادله الآتيه :

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} \qquad (9\text{-}13)$$

حيث ان :

μ = لزوجة السائل او الغاز Lb/ft.sec. or kg/m.sec.

C_p = الحرارة النوعية تحت ضغط ثابت BTU/Lb. ^oF

or kcal/kg.^oC or kJ/kg K

k = معامل انتقال الحراره بالتوصيل BTU/sec. ft.^oF

or kcal/sec.m.^oC or kW/m K

أولا : السريان الجبرى أو القسرى Forced Convection

أ- إذا كان السريان دوامى مضطرب أى أن Re > 4000

وكان رقم Pr < 10 تستخدم المعادلة الآتيه :

$$Nu = \frac{hD}{k} = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^{0.4} \qquad (9\text{-}14)$$

ب- اذا كان السريان دوامى مضطرب وكان P_r > 10 وتستخدم المعادلة الآتيه :

$$\frac{hD}{k} = 0.027 \times Re^{0.8} \times Pr^{0.3} \qquad (9\text{-}15)$$

obeikandi.com

ج- اذا كان السريان انسيابى متوازى أى أن $Re < 2100$ تستخدم المعادله الآتيه :

$$\frac{hD}{k} = 0.664 \times Re^{0.5} \times Pr^{0.33} \qquad (9\text{-}16)$$

ثانيا : السريان الحر Free Convection

وقبل أن نذكر بعض المعادلات التى تعبر عن قيمة معامل إنتقال الحرارة بالحمل h فإنه من المناسب أن نعرف رقم آخر غير مميز يسمى رقم جراشوف Grashof's .

ويرمزله بالرمز Gr وهو يعبر عن النسبه بين القوى المتولدة عن تيارات الحمل Buoyant forces والقوى المتولدة عن احتكاك طبقات المائع مع بعضها أى لزوجتها Viscous forces

$$Gr = \frac{\rho^2 g_c \beta \Delta t. L^3}{\mu^2} \qquad (9\text{-}17)$$

حيث ان :

ρ = كثافة المائع

g_c = عجلة الجاذبيه الأرضيه

β = معامل التمدد ويعبر عنه بمقلوب درجة الحرارة المطلقه للمائع

Δt = الفرق بين درجة حرارة السطح الساخن ودرجة الحرارة المتوسطة للمائع

L = الطول المميز للسطح

μ = لزوجة المائع محسوبه عند درجة الحرارة المتوسطة له

مع ملاحظة وحدات كل عامل من هذه العوامل والتى يمكن التعويض بها فى رقم Grashof بحيث ينتج عنه رقم غير مميز (لابعدى Dimensionless)

أ- فى حالة السوائل يمكن استخراج قيمة h من المعادلات الآتيه :

obeikandl.com

$$Nu = 0.53\ (Gr.\ Pr.)^{0.25} \qquad (9\text{-}18)$$

$$\frac{hD}{k} = 0.53 \left[\frac{\rho^2 gc.\beta\ \Delta t.D^3}{\mu^2} \cdot \frac{\mu cp}{k} \right]^{0.25} \qquad (9\text{-}19)$$

$$= 0.53 \left[\frac{\rho^2\ gc.\ \beta.\ \Delta t.D^3.\ cp}{\mu\ k} \right]^{0.25} \qquad (9\text{-}20)$$

وذلك فى حالة ما إذا كان قيمة

$$Gr.\ Pr. < 10^9$$

وتستخدم المعادلة الآتيه :

$$Nu = 0.12\ \left[Gr.\ Pr.\right]^{0.33} \qquad (9\text{-}21)$$

$$\frac{hD}{k} = 0.12 \left[\frac{gc.\ D^3\ \rho^2.\ cp.\ \beta.\ \Delta t.}{\mu.\ k} \right]^{0.33} \qquad (9\text{-}22)$$

وذلك اذا كان $Gr.\ Pr. > 10^9$

ب- فى حالة الغازات يمكن استخراج قيمة "h" من المعادلات الآتيه :

١- مواسير افقيه أو رأسيه لايزيد طولها عن قدم أو ٣٠ سم

$$h = 0.27 \left(\frac{\Delta t}{D} \right)^{0.25} \qquad (9\text{-}23)$$

فى حالة الأسطح تستخدم " L " بدلا من "D"

٢- أسطح أفقيه ساخنه من أعلى

$$h = 0.38\ \Delta t^{0.25} \qquad (9\text{-}24)$$

٣- أسطح أفقيه ساخنه من أسفل

obeikandl.com

$$h = 0.20\ \Delta t^{0.25} \qquad (9\text{-}25)$$

٤- أسطح أو مواسير رأسيه طولها أكبر من قدم أو ٣٠ سم

$$h = 0.27\ \Delta t^{0.25} \qquad (9\text{-}26)$$

مثال :

أوجد معامل انتقال الحراره بالحمل عند تسخين عصير طماطم من ١٦°م إلى ٧٦°م اذا كانت سرعة سريان العصير ١ر٢٥ متر/ثانيه خلال ماسورة قطرها الداخلى ٢ر٥ سم وكانت درجة حرارة سطح الماسورة من الخارج ٨٢°م وكثافة العصير ١٠٢٥ كجم/متر مكعب وحرارته النوعيه ٩٥ر. ولزوجته المتوسطه ٨ر٤ كجم/ساعه.متر ومعامل إنتقال الحراره بالتوصيل ٥٢ر. وات/متر°كلفن .

الحل

نحدد أولا نوع السريان وعلى ذلك نحسب رقم رينولدز

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

$$= \frac{(1025)(1.25 \times 60 \times 60)\ (2.5)}{(8.4)\qquad (100)}$$

$$= 13727.7 \quad (i.e) \quad > 2100$$

∴ السريان دوامى مضطرب

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k}$$

$$= \frac{(8.4)\ (0.95)}{(0.57)} = 15.35$$

obeikandl.com

وعلى ذلك نستخدم المعادلة ب- بند أولا حيث أن $Pr > 10$

$$\frac{hD}{k} = 0.027 \quad Re^{0.8} \quad Pr.^{0.3}$$

$$\frac{h \times 2.5}{0.52 \times 100} = 0.027 \quad (13727.7)^{0.8} \quad (15.35)^{0.3}$$

$$\therefore h = \frac{(0.027)\ (2042.1)\ (2.27)\ (0.52)\ (100)}{(2.5)}$$

$$= 2603 \quad W/m^2 .K$$

obeikandl.com

انتقال الحرارة بالاشعاع
HEAT RADIATION

ويتم انتقال الحرارة عن طريق اشعاع جزئيات الجسم ، سواء كان سائل او غاز او مادة صلبه ، بين بعضها وكذلك بتبادل هذه الاشعاعات بين جزئيات مواد مختلفه وتحمل هذه الاشعاعات طاقه حراريه تنتقل على شكل موجات كهرومغناطيسيه Electromagnetic سرعتها تساوى سرعة الضوء تعتمد اساسا على درجة حرارة الجسم المشع وطبيعة سطحه . وقد وجد نظريا وعمليا ان معدل انتقال الحراره بالاشعاع يتناسب تناسبا طرديا مع مساحة السطح المشع والأس الرابع لدرجة حرارته المطلقه ويعبر عن هذه العلاقه قانون ستيفان - بولتسمان Stefan-Boltzmann كما يأتى :

$$Q = \sigma A T^4 \qquad (9\text{-}27)$$

حيث ان :

A = مساحة السطح المشع

T = درجة الحرارة المطلقه للسطح المشع

σ = ثابت ستيفان - بولتسمان Stefan-Boltzmann Constant

= ١٧٣ر٠ × ١٠^-٨ BTU/hr. $ft^2\ ^oF^4$

= ٩٦ر٤ × ١٠^-٨ kcal/hr. $m^2.\ ^oC^4$

= ٦٦٩ر٥ × ١٠^-٨ $W/m^2.K^4$

والقانون السابق يفترض ان الجسم يشع جميع طاقته الحراريه بدون ان يؤخذ فى الاعتبار طبيعة السطح المشع سواء كان املسا او خشنا .وعلى ذلك يجب تصحيح هذه المعادلة بمقدار ما يشعه الجسم حقيقة . فاذا كانت e هى نسبة الاشعاع للجسم اى النسبه بين مقدار مايشعه الجسم من طاقة حراريه الى الطاقه الحراريه الاشعاعيه الكليه لهذا الجسم ، اى ان هذه النسبه يجب ان تكون اقل من الواحد الصحيح . فتصير المعادلة السابقه (٩-٢٧) :

$$Q = \sigma\ e\ A\ T^4 \qquad (9\text{-}28)$$

obeikandi.com

فاذا فرض انه يوجد هناك جسمان مشعان فى حيز لايؤثر على طريقة اشعاعهما ، فان كمية الحرارة المتبادله بينهما بالاشعاع تعتمد بالاضافه الى ماسبق على كيفية وضع هذان الجسمان بالنسبه لبعضهما حيث ان جميع الطاقه المشعه من كل جسم لاتقطع سطح الجسم الأخر . ففى حالة وجود جسم ساخن فى حيز محدود - مثل اسطوانه ذات قطر صغير موضوعه مركزيا داخل اسطوانه اخرى ذات - قطر كبير وسطحيهما متوازيان ، او مثل سطحى كرتين متوازيين مركزيا فان كمية الحرارة المتبادلة بالاشعاع بينهما تكون :

$$Q = \frac{\sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{e_1} + \frac{A_1}{A_2}(\frac{1}{e_2} - 1)} \qquad (9\text{-}29)$$

حيث ان :

A_1 = مساحة السطح المشع

A_2 = مساحة سطح الحيز المحدود المحيط بالجسم المشع

T_1 = درجة الحرارة المطلقه للجسم المشع

T_2 = درجة الحرارة المطلقه للحيز المحيط

e_1 = نسبة اشعاع الجسم المشع

e_2 = نسبة اشعاع الحيز المحيط

فاذا كان الحيز كبير جدا بالنسبه للسطح المشع ، كما هى الحالة عند وجود ماسورة بخار تمر داخل حجرة كبيره مثلا ، فانه يمكن اهمال مساحة السطح المشع A_1 اذا ماقورنت بمساحة الحيز A_2 وبذلك تصبح المعادلة السابقه معادلة رقم (٩-٢٩) كما يأتى :

$$Q = \sigma e_1 A_1 \quad (T_1^4 - T_2^4) \qquad (9\text{-}30)$$

وفى حالة تبادل الاشعاع الحرارى بين سطحين مستقيمين متوازيين اى ان :

$A_2 = A_1$ فان كمية الحرارة المتبادله بينهما تصير :

$$Q = \frac{\sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{e_1} + \frac{1}{e_2} - 1} \qquad (9\text{-}31)$$

obeikandi.com

وفى كثير من الاحيان يمكن تبسيط حساب كمية الحرارة المتبادلة بالاشعاع باستخدم معامل انتقال الحرارة بالاشعاع يشابه الحالة لانتقال الحراره بالحمل . ويمكن توضيح ذلك باستخدام مثلا الحالة التى يكون فيها الحيز كبير جدا بالنسبه للسطح المشع كما يأتى :

$$Q = h_r A (T_1 - T_2) \quad (9\text{-}32)$$

$$= \sigma e A (T_1^4 - T_2^4) \quad (9\text{-}33)$$

حيث h_r = معامل انتقال الحرارة بالاشعاع

$$\therefore h_r = A e \sigma \frac{(T_1 + T_2)^3}{2} \left[1 + \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2}\right)^2\right] \quad (9\text{-}34)$$

$$= 0.00692 \quad e \left(\frac{T_{av.}}{100}\right)^3 \quad (9\text{-}35)$$

حيث

T_{av} = درجة الحرارة المطلقة المتوسطة = $\frac{T_1 + T_2}{2}$

obeikandl.com

انتقال الحرارة المختلط
COMBINED HEAT TRANSFER

من الناحيه العمليه ، لايحدث ان تتبادل المواد كمية حرارة من نوع واحد فقط، ودائما نجد ان كمية الحراره تنتقل بالتوصيل مع انتقال بالحمل ، او انتقال بالحمل مع انتقال بالاشعاع او انتقال بالثلاثه انواع معا . ويعبر عن ذلك استخدام معامل كلى مكافىء للتبادل الحرارى ، وتكون بذلك كمية الحراره المنتقله فى وحدة الزمن :

$$Q = UA\ (T_1 - T_2) \qquad (9\text{-}36)$$

حيث ان :

T_1 = درجة الحرارة الخارجية للسطح الاول

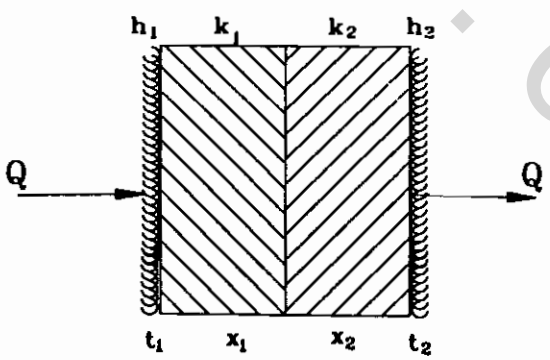
T_2 = درجة الحراره الخارجية للسطح الثانى

A = مساحة سطح التبادل الحرارى المتعامد مع اتجاه انتقال الحرارة .

U = المعامل الكلى المكافىء لانتقال الحراره .

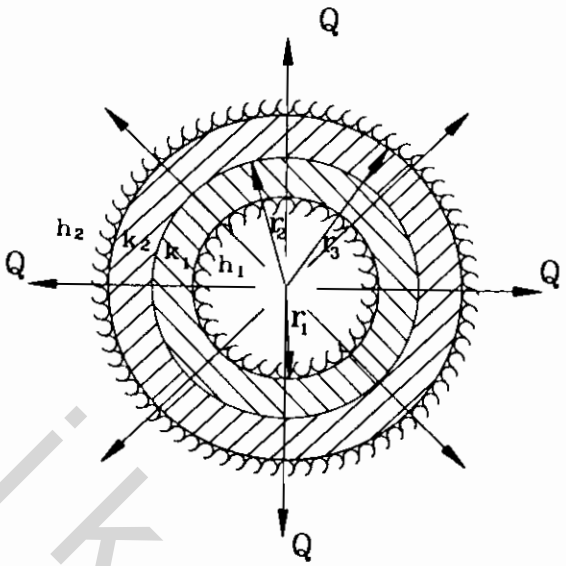
ففى حالة التبادل الحرارى المختلط بالتوصيل والحمل لحائط مكون من طبقتين شكل (٩-٦) يكون المعامل الكلى المكافىء للتبادل الحرارى .

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{X_1}{k_1} + \frac{X_2}{k_2} + \frac{1}{h_2} \qquad (9\text{-}37)$$



شكل (٩-٦) انتقال الحرارة المختلط فى حائط مركب

obeikandi.com



شكل (٩-٧) انتقال الحرارة المختلط فى طبقات اسطوانيه

وفى حالة انتقال الحراره القطرى لاسطوانتين مركزيتين متوازيتين :

$$\frac{1}{UA_1} = \frac{1}{h_1 A_1} + \frac{1}{2\pi k_1 L} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{2\pi k_2 L} \ln \frac{D_3}{D_2} + \frac{1}{h_2 A_2} \quad (9\text{-}38)$$

حيث أن :

D_1 = القطر الداخلى للاسطوانه الداخليه .

D_2 = القطر الخارجى للاسطوانه الداخليه.

D_3 = القطر الخارجى للاسطوانه الخارجيه

k_1 = معامل انتقال الحراره بالتوصيل لجدار الاسطوانه الداخليه .

k_2 = معامل انتقال الحراره بالتوصيل لجدار الاسطوانه الخارجيه .

A_1 = المساحه السطحيه الداخليه للاسطوانه الداخليه $\pi D_1 L$

A_2 = المساحه السطحيه الخارجيه للاسطوانه الخارجيه $\pi D_3 L$

L = طول الاسطوانه.

h_1 = معامل انتقال الحرارة بالحمل على سطح الاسطوانه الداخليه.

h_2 = معامل انتقال الحراره بالحمل على السطح الخارجى للاسطوانه الخارجيه .

obeikanal.com

وفى حالة وجود كرتين مركزيتين يمكن حساب المعامل الكلى المكافىء للتبادل الحرارى من :

$$\frac{1}{UA_1} = \frac{1}{h_1 A_1} + \frac{1}{2\pi k_1}\left(\frac{1}{D_1} - \frac{1}{D_2}\right) + \frac{1}{2\pi k_2}\left(\frac{1}{D_2} - \frac{1}{D_3}\right) + \frac{1}{h_2 A_2} \quad (9\text{-}39)$$

حيث :

$$A_1 = \pi D_1^2$$

$$A_2 = \pi D_2^2$$

obeikandl.com

المبادلات الحرارية
HEAT EXCHANGERS

يتم نقل الحراره من والى المواد المراد تصنيعها بواسطة معدات خاصة تسمى بالمبادلات الحراريه . ولكى نتفهم هذه الاجهزة بانواعها واشكالها المختلفة يجب دراسة طريقة انتقال الحرارة داخل هذه الاجهزة والالمام الكافى بمدى صلاحيتها للاستعمال فى مختلف عمليات التصنيع . وحتى نضمن الانتقال السريع للحرارة بكفاءة عاليه وباقل فقد ممكن للحرارة ، نذكر فيما يأتى القواعد الاساسية التى يجب مراعاتها فى جميع عمليات التبادل الحرارى :

١- التجديد السريع لطبقة السائل الملامسه لسطح التبادل الحرارى .

٢- خلط الطبقات الملامسه مع باقى طبقات السائل وتجديدها بطبقة اخرى مع الاخذ فى الاعتبار المنتجات والسوائل التى تتلف نتيجة للخلط الشديد .

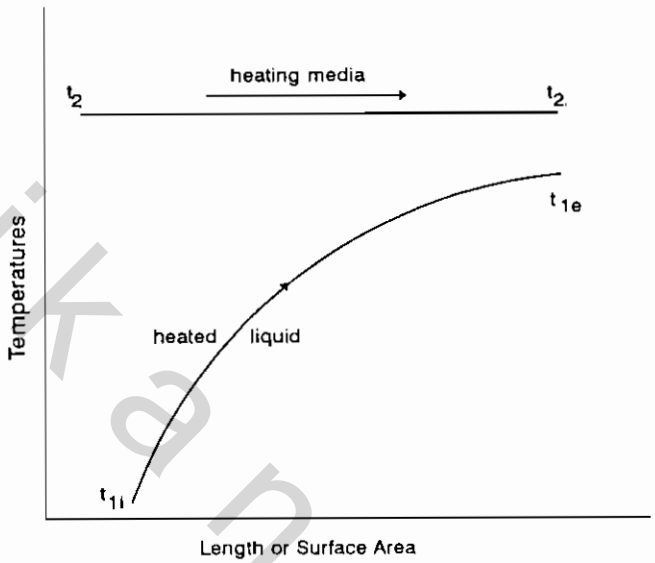
٣- العمل على ايجاد اكبر فرق ممكن فى درجات الحراره بين المادة المراد تسخينها او تبريدها وبين وسيط التسخين او التبريد ولكن مع مراعاة انواع الاغذية والمنتجات الزراعيه التى لاتتحمل فرق كبير فى درجة الحرارة كالالبان التى يحدث لها ظاهرة الشياط اذا زاد هذا الفرق بمقدار كبير .

٤- استعمال اسطح جيدة التوصيل للحراره .

obeikandl.com

الطرق الرئيسية للتبادل الحرارى

١- التبادل الحرارى ذو الوسيط الثابت : Constant Flow



شكل (٩-٨) المبادل الحرارى ذو الوسيط الثابت

وفى هذه الحالة يكون الوسيط الحرارى ذو درجة حرارة ثابته مثل البخار وتنتقل الحرارة الكامنه منه الى السائل المراد تسخينه فلا تنخفض درجة حرارته اى يتم تكثيفه فيتحول البخار من حالة التشبع مثلا الى حالة ماء عند درجة حرارة الغليان لضغط البخار المناظر .

ويعمل موازنة حراريه داخل المبادل الحرارى بفرض اهمال أى فقد للحرارة منه الى الجو المحيط به ، نجد ان :

كمية الحرارة المنتقله من البخار = كمية الحرارة الممتصه بواسطة السائل المراد تسخينه .

obeikandl.com

$$Q=m_1 C_{p1} (t_{1i} - t_{1e}) \quad (9-40)$$

$$Q=m_2 \text{ (Total heat of steam - liquid heat)} \quad (9-41)$$

حيث أن :

m_1 = معدل سريان السائل المراد تسخينه

m_2 = معدل سريان بخار التسخين

C_{p1} = الحرارة النوعيه للسائل المراد تسخينه عند ضغط ثابت

t_{1i} = درجة حرارة دخول السائل قبل تسخينه

t_{1e} = درجة حرارة خروج السائل بعد تسخينه.

وكذلك يمكن حساب مساحة سطح التبادل الحرارى من المعادلة الآتيه :

$$Q=UA\,\Delta t_m \quad (9-42)$$

حيث Δt_m هى الفرق المتوسط فى درجات الحرارة ويمكن حسابها من المعادله الآتيه :

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_i - \Delta t_e}{\ln \frac{\Delta t_i}{\Delta t_e}} \quad (9-43)$$

حيث ان :

Δt_i = فرق درجات حرارة الدخول الى المبادل الحرارى

$$\Delta t_i = t_2 - t_{1i}$$

Δt_e = الفرق فى درجات حرارة الخروج من المبادل الحرارى

$$\Delta t_e = t_2 - t_{1e}$$

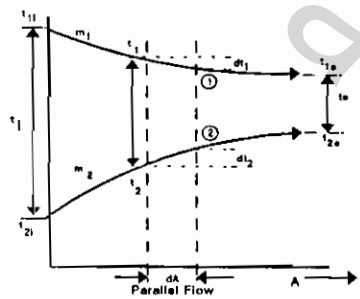
واذا كانت النسبه بين الفرق فى درجات حرارة الدخول الى الفرق فى درجات حرارة الخروج من المبادل الحرارى اقل من ٢ ، فانه يمكن استخدام المتوسط الحسابى للفرق فى درجات الحرارة بدلا من المتوسط اللوغاريتمى . اى ان :-

obeikandl.com

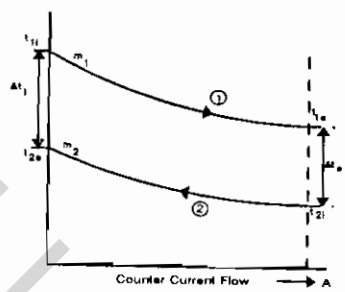
$$\frac{\Delta t_i}{\Delta t_e} < 2$$

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_i + \Delta t_e}{2} \qquad (9\text{-}44)$$

الفرق المتوسط فى درجات الحراره Mean Temp. Difference:



شكل (٩-٩) المبادل العكسى



شكل (٩-١٠) المبادل الحرارى المتوازى

سوف نقوم بتحليل الوضع فى حالة التبادل الحرارى المتوازى وذلك بأخذ مساحة تفاضليه مقدارها dA ويكون الفرق فى درجات الحرارة داخل المبادل الحرارى بين كل من المائع وسط التسخين (١) والمائع المراد تسخينه (٢)

$$\Delta t = t_1 - t_2 \qquad (9\text{-}45)$$

وكمية الحرارة المنتقله بين المائعين

$$d Q = U.dA.\ \Delta t \qquad (9\text{-}46)$$

obeikandi.com

وهى تساوى كمية الحرارة المفقوده من المائع الساخن

$$d\,Q = -\,m_1\,C_1\,dt_1 \qquad (9\text{-}47)$$

وتتساوى مع كمية الحرارة المكتسبه فى المائع المراد تسخينه (بافتراض أنه لايوجد فقد فى انتقال الحراره)

$$d\,Q = m_2\,C_2\,dt_2 \qquad (9\text{-}48)$$

لاحظ الاشارة السالبه فى المعادله رقم (9-47) حيث تدل على الانخفاض فى معدل انحدار درجة الحراره Temperature gradient

حيث ان :

t_1 = درجة حرارة المائع الساخن عند المقطع التفاضلى

t_2 = درجة حرارة المائع المراد تسخينه عند المقطع التفاضلى

U = المعامل الكلى المكافىء لانتقال الحرارة التبادلى

m_1 = معدل سريان مائع التسخين

m_2 = معدل سريان المائع المراد تسخينه

C_1 = الحرارة النوعيه لمائع التسخين

C_2 = الحراره النوعيه للمائع المراد تسخينه

فاذا ما أجرينا التفاضل للمعادلة (9-45) نحصل على

$$d\,(\Delta t) = dt_1 - dt_2 \qquad (9\text{-}49)$$

وبالتعويض بمعادلتى (9-47) ، (9-48) فى معادلة (9-49) نحصل على الآتى:

$$d\,(\Delta t) = -\left(\frac{1}{m_1\,C_1} + \frac{1}{m_2\,C_2}\right) dQ = -\,a.\,dQ \qquad (9\text{-}50)$$

بين الفرق فى درجات الحرارة عند الدخول ودرجات (9-50) وبتكامل المعادلة الحرارة عند الخروج من المبادل الحرارى نحصل على :

$$\Delta t_i - \Delta t_e = a\,Q \qquad (9\text{-}51)$$

obeikandi.com

وبالتعويض عن معادلة (9-46) فى معادلة (9-50)) نحصل على :

$$\frac{d(\Delta t)}{\Delta t} = - a\ U\ dA \qquad (9\text{-}52)$$

وباجراء التكامل لطرفى المعادله (9-52) على سطح التسخين التبادلى فإن

$$\ln \frac{\Delta t_e}{\Delta t_i} = - a\ U\ A \qquad (9\text{-}53)$$

$$\text{or} \quad \Delta t_e = \Delta t_i\ e^{-a\ U\ A} \qquad (9\text{-}54)$$

وبالتعويض عن معادلة (9-51) فى معادلة (9-53) نحصل على :

$$Q = UA \frac{\Delta t_i - \Delta t_e}{\ln \frac{\Delta t_i}{\Delta t_e}} \qquad (9\text{-}55)$$

or

$$Q = UA\ \Delta t_m \qquad (9\text{-}56)$$

حيث الفرق المتوسط فى درجات الحراره Δt_m يعبر عنه

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_i - \Delta t_e}{\ln \frac{\Delta t_i}{\Delta t_e}} \qquad (9\text{-}57)$$

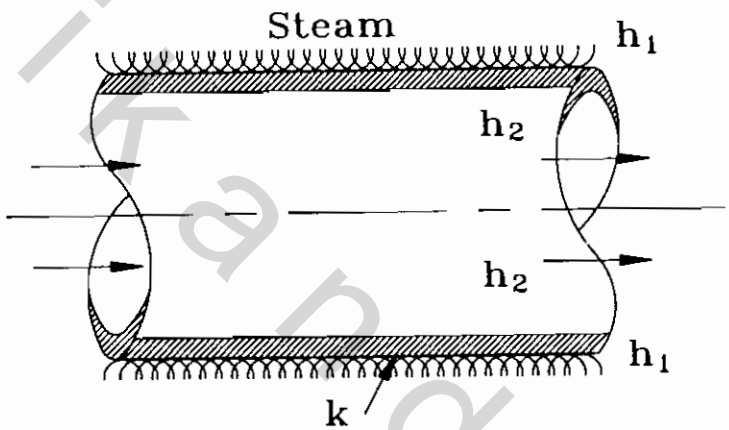
ونلاحظ أن نفس الخطوات يتم إتباعها فى حالة المبادل الحرارى المتعاكس (العكسى) شكل (٩-١٠) وذلك بوضع:

obeikandl.com

$$a = \frac{1}{m_1 C_1} - \frac{1}{m_2 C_2} \qquad (9\text{-}58)$$

تعبر عن المتوسط اللوغاريتمى للفرق فى درجات الحرارة (9-57) ومعادلة وهوبطبيعة الحال مختلف عن المتوسط العددى أو الحسابى والذى يعبر عنه .

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_i + \Delta t_e}{2} \qquad (9\text{-}59)$$



شكل رقم (٩-١١) انتقال الحراره فى تكثيف البخار داخل اسطوانه

ويجب حساب المعامل الكلى المكافىء للتبادل الحرارى منسوبا الى مساحة السطح المنتقله منه الحراره الى السائل المراد تسخينه فمثلا اذا كان التسخين يتم بواسطة تكثيف بخار على السطح الخارجى لانابيب المبادل الحرارى فان :

$$\frac{1}{UA_1} = \frac{1}{h_1 A_1} + \frac{1}{2\pi kL} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{1}{h_2 A_2} \qquad (9\text{-}60)$$

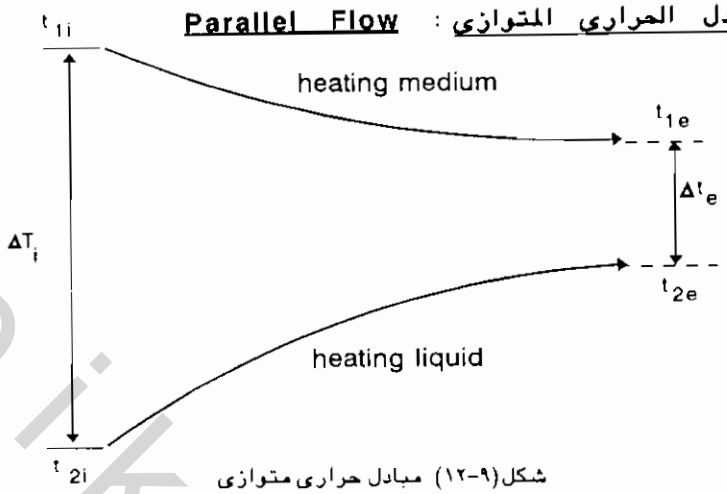
حيث ان :

A_1 = مساحة السطح الخارجى لانابيب المبادل الحرارى .

A_2 = مساحة السطح الداخلى لانابيب المبادل الحرارى .

obeikandl.com

٢- المبادل الحراري المتوازي : **Parallel Flow**



شكل(٩-١٢) مبادل حراري متوازي

وفى هذه الحالة يكون اتجاه مرور السائل فى نفس اتجاه مرور الوسيط الحرارى فترتفع درجة حرارة السائل تدريجيا بينما تنخفض درجة حرارة الوسيط الحرارى - وهذه الطريقة محدودة الاستعمال اذ ان فاعليتها ضعيفة نتيجة لعدم انتظام الفرق فى درجات الحرارة على طول مساحة سطح التبادل الحرارى .

وتتبع الخطوات الآتيه لحساب المساحه اللازمة للتبادل الحرارى :

أ - تحسب درجات حرارة السائل والوسيط وذلك بعمل موازنة حراريه .
كمية الحراره المنتقله من الوسيط = كمية الحراره المكتسبه بالسائل.

$$Q = m_1 C_{p1} (t_{1i} - t_{1e}) \qquad (9\text{-}61)$$

$$= m_2 C_{p2} (t_{2e} - t_{2i}) \qquad (9\text{-}62)$$

حيث ان :

m_1 = المعدل الوزنى لسريان الوسيط

m_2 = المعدل الوزنى لسريان السائل

t_{1i} = درجة حرارة دخول الوسيط المبادل الحرارى .

t_{1e} = درجة حرارة خروج الوسيط من المبادل الحرارى .

t_{2i} = درجة حرارة دخول السائل الى المبادل الحرارى .

t_{2e} = درجة حرارة خروج السائل من المبادل الحرارى .

obeikandi.com

C_{p1} = الحرارة النوعيه للوسيط .

C_{p2} = الحرارة النوعيه للسائل .

ب - يحسب الفرق المتوسط لدرجات حرارة المبادل فاذا كان :

$$\Delta t_i = t_{1i} - t_{2i}$$

$$\Delta t_e = t_{1e} - t_{2e}$$

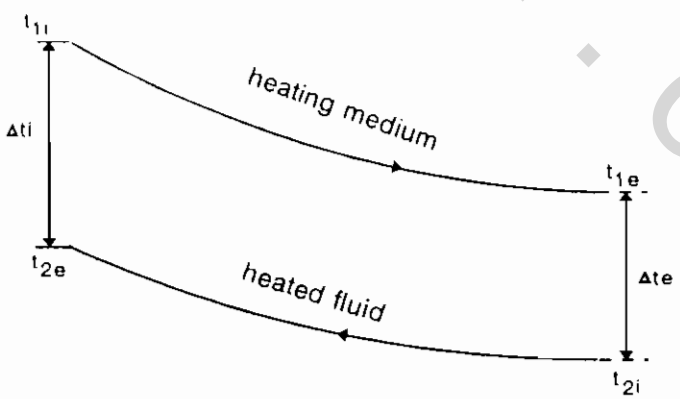
$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_i - \Delta t_e}{\ln \frac{\Delta t_i}{\Delta t_e}} \qquad (9\text{-}63)$$

ج- يوجد المعامل الكلى المكافىء للتبادل الحرارى "U" كما ذكر سابقا .

د- تحسب المساحه السطحيه للتبادل الحرارى من المعادلة الآتيه :

$$Q = UA\ \Delta t_m \qquad (9\text{-}64)$$

٣- **المبادل الحرارى العكسى او المتعاكس** : **Counter Flow**



شكل (٩-١٢) مبادل حرارى متعاكس

obeikandl.com

وفى هذه الحالة يكون اتجاه مرور السائل فى عكس اتجاه مرور التسخين فى المبادل الحرارى ، فترتفع تدريجيا درجة حرارة السائل فى حين تنخفض تدريجيا درجة حرارة الوسيط تقريبا بنفس المقدار . وهذه الطريقة شائعة الاستعمال فى عمليات التصنيع اذ ان فاعليتها مرتفعه نظرا لان الفرق فى درجات الحرارة يكون تقريبا متساو على طول مساحة سطح التبادل الحرارى ويمكن بذلك استخدام مبادل عكسى بسطح تبادل حرارى اقل بكثير من مبادل متوازى لنفس كمية الحرارة المتبادله.

وتتبع نفس خطوات الحسابات التى ذكرت فى الطرق الاخرى مع اعتبار ان الفرق فى درجات حرارة الدخول والخروج من المبادل الحرارى تكون منسوبه لاتجاه سريان وسيط التسخين . اى ان :

$$\Delta t_i = t_{1i} - t_{2e}$$
$$\Delta t_e = t_{1e} - t_{2i}$$

مثال : مبادل حرارى يستخدم لتبريد سائل بواسطة ماء بارد بالمواصفات الآتيه :

درجة حرارة دخول السائل	٩٣ر٧ $^{\circ}$م
درجة حرارة دخول الماء	١٠ $^{\circ}$م
درجة حرارة خروج الماء	٢٧ $^{\circ}$م
معدل سريان السائل المراد تبريدة	٤٥٠ كجم/ساعه
معدل سريان ماء التبريـــــد	٩٠٠ كجم/ساعه
الحراره النوعيه للسائل	٢ر٥٥ جول/جم $^{\circ}$كلفن
الحراره النوعيه للمـاء	٤ر١٨ جول/جم $^{\circ}$ كلفن

احسب :

أ - درجة حرارة خروج السائل (t_{1e})

ب- المساحه السطحيه لمواسير مرور السائل فى كل من الحالتين :

١-مبادل متوازى ٢- مبادل عكسى

اعتبر أن المعامل الكلى المكافىء للتبادل الحرارى فى كلا الحالتين :

$$U = 1700 \text{ Watt/m}^2.\text{K}$$

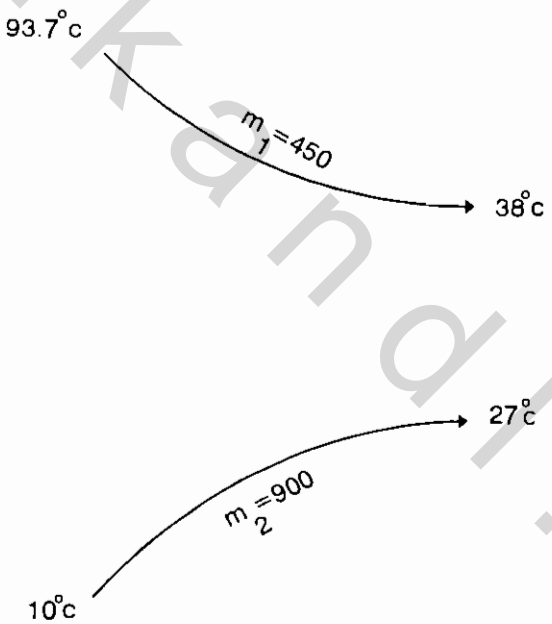
obeikandl.com

الحـــل

$$Q = m_1 C_{p1} (t_{1i} - t_{1e})$$
$$= m_2 C_{p2} (t_{2e} - t_{2i})$$
$$\therefore Q = (900)(4.18)(27 - 10) = 63954 \text{ k.J/hr.}$$
$$= (450)(2.55)(93.7 - t_{1e})$$

$$\therefore t_{1e} = 38 \ ^{o}C$$

١-فى حالة مبادل متوازي :



$$\Delta t_i = 93.7 - 10 = 83.7 \ ^{o}C$$

$$\Delta t_e = 38 - 27 = 11 \ ^{o}C$$

$$\frac{\Delta t_i}{\Delta t_e} = 7.6 > 2$$ وحيث أن

obeikandi.com

∴ نستخدم المتوسط اللوغاريتمى للفرق فى درجات الحرارة

$$\therefore \Delta t_m = \frac{\Delta t_i - \Delta t_e}{\ln \frac{\Delta t_i}{\Delta t_e}}$$

$$= \frac{83.7 - 11}{\ln \frac{83.7}{11}} = \frac{72.7}{\ln 7.6}$$

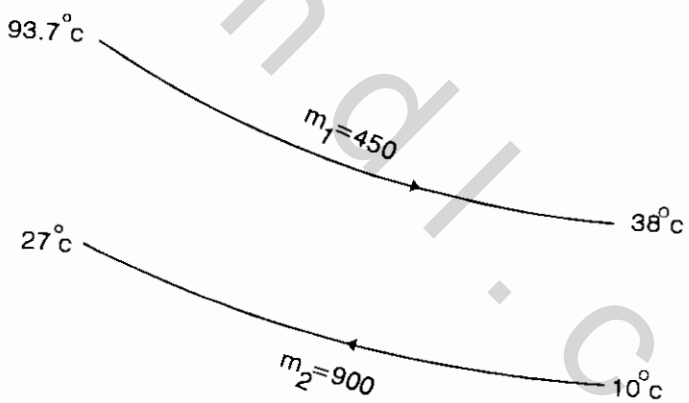
$$= \frac{72.7}{2.03} = 35.8 \ ^oC$$

$$\therefore Q = UA \Delta t_m$$

$$63954 = (A)\ (1700)\ (35.8)$$

$$\therefore A = 1.05 \ m^2$$

ب- **فى حالة مبادل عكسى** :



$$\Delta t_i = 93.7 - 27 = 66.7 \ ^oC$$

$$\Delta t_e = 38 - 10 = 28 \ ^oC$$

وحيث أن $\frac{\Delta t_i}{\Delta t_e} = 2.38 > 2$

obeikandl.com

∴ نستخدم المتوسط اللوغاريتمى للفرق فى درجات الحراره

$$\therefore \Delta t_m = \frac{66.7 - 28}{\ln \frac{66.7}{28}}$$

$$= \frac{38.7}{\ln 2.38} = \frac{38.7}{0.87}$$

$$= 44.5 \ ^oC$$

$$\therefore Q = UA \Delta t_m$$

$$63954 = (A)\ (1700)\ (44.5)$$

$$\therefore A = 0.85 \ m^2$$

ويتلاحظ أن مساحة سطح المبادل العكسى أقل من مساحة سطح المبادل المتوازى تحت نفس ظروف الأداء .

obeikandl.com

انتقال الحراره الغير مستقر
UNSTEADY STATE HEAT TRANSFER

يحدث انتقال الحرارة الغير مستقر عندما تتعرض فجائيا حدود المجموعات لتغير فى درجة حرارتها مع الزمن بمعنى ان درجة الحرارة على الحدود المذكورة لاتظل ثابته عند درجة واحدة طوال فترة الانتقال الحرارى وانما تتغير من وقت الى آخر لمدة قد تطول حتى تصل الى الاستقرار الحرارى . ومن الامثله الشائعه فى التصنيع الغذائى نذكر على سبيل المثال وليس الحصر : تبريد وتجميد اللحوم ، الاسماك وتبريد الفواكه والخضروات والمعامله الحراريه للمواد الغذائيه المعلبه ، وبسترة وتعقيم الالبان ومنتجاتها .

وهناك حالتان رئيسيتان قد امكن تحليلهما رياضيا وهما :

الحاله الاولى :-

١- عندما تكون المقاومه الحراريه للمادة المنتقله منها او اليها صغيرة جدا اى ان معامل انتقال الحراره بالتوصيل للمادة مرتفع نسبيا اذا ما قورن بالمقاومه الحراريه عند حدود المجموعه أى مع معامل انتقال الحراره بالنقل على حدود المجموعه . مثال ذلك تسخين او تبريد مواد جيدة التوصيل الحرارى كالحديد والنحاس وما شابهها .

٢- عندما تكون المادة المنتقله اليها او منها الحراره حجمها صغير نسبيا بحيث يمكن اهمال التغير فى درجة حرارتها من نقطة على سطحها مثلا مع نقطة فى منتصفها مثال ذلك عند معاملة بذرة القطن حراريا لقتل حيوية الجنين .

فاذا اخذنا فى الاعتبار الميزان الحرارى لهذه المجموعه (قانون ثبوت الطاقه) نجد أن :

$$C_p . \rho . v . dt = h.A . (t_o - t)\, d\theta \qquad (9\text{-}65)$$

or

$$\frac{dt}{t_o - t} = \frac{h.A}{C_p . \rho . v}\, d\theta \qquad (9\text{-}66)$$

obeikandl.com

حيث ان:

v = حجم المادة

C_p = الحرارة النوعيه للمادة

ρ = كثافة المادة

h = معامل انتقال الحرارة بالنقل على سطح المادة

t_o = درجة حرارة الجو المحيط بالمادة

t = درجة حرارة المادة عند السطح (او عند المنتصف)

A = مساحة السطح.

θ = الزمن

d = علامة التفاضل

ومع افتراض ان الخصائص الحراريه للمادة لاتتغير مع تغير درجة الحرارة وان درجة حرارة الجو المحيط بالمادة ثابته لاتتغير ، فانه يمكننا اجراء التكامل اللازم للمعادله رقم (9-66) لنحصل على :

$$\ln\left(\frac{t - t_o}{t_1 - t_o}\right) = -\frac{h.A}{C_p \cdot \rho \cdot v} \cdot \theta \qquad (9\text{-}67)$$

حيث :

t_1 = درجة حرارة المادة عند بدء التسخين أو التبريد

θ = الزمن الذن تصل فيه درجة حرارة المادة إلى t

ويمكننا استخدام هذه العلاقه عند استيفاء الشرطان السابق الاشاره اليهما او التحديد عندما تكون:

$$\left(\frac{h.L}{k}\right) \text{ أو } \left(\frac{h.r}{k}\right) < 0.2$$

مثال :

احسب درجة حرارة عمود من الصلب قطرة ٥ر٧سم وطوله ٣٠سم اذا وضع فجاءة فى فرن درجة حرارته ثابته عند ٣١٥°م بعد مضى ٤٠ دقيقه اذا كانت درجة حرارته الابتدائيه ٢٠°م . علما بأن :

معامل انتقال الحرارة بالنقل داخل الفرن = ٥ر٧ كيلوكالورى/ساعه متر مربع °م

معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للحديد الصلب = ٥ر١١ كيلوكالورى/ساعه متر . °م

obeikandl.com

الحرارة النوعيه للصلب = ١٢ر. كيلوكالورى/كجم.^{o}م
كثافة الصلب = ٧٢٠٠ كجم/متر مكعب

الحل

نقوم اولا بحساب مقدار المقاومه الحرارية النوعية على السطح لمعرفة مدى امكاننا استخدام المعادله المذكورة .

$$\frac{hr}{k} = (7.5)\left(\frac{7.5}{2} \times \frac{1}{100}\right) \times \frac{1}{11.5} = 0.0245$$

كذلك نحسب

$$\frac{h.L}{k} = (7.5)\left(\frac{30}{100}\right) \times \frac{1}{11.5} = 0.196$$

وحيث انها اقل من ٢ر. فانه يمكننا استخدام المعادله المذكوره .

المساحه الاجماليه للسطح = مساحة الاسطوانه + مساحة الطرفين

$$= 2\pi r^2 + 2\pi r L$$

or $$\text{Area} = 2\pi\left(\frac{7.5}{2 \times 100}\right)^2 + 2\pi\left(\frac{7.5}{2 \times 100}\right)\left(\frac{30}{100}\right)$$

$$= 0.0088 + 0.0707$$

$$= 0.0795 \ m^2$$

$$\text{Volume} = \pi r^2 L$$

$$= \pi\left(\frac{7.5}{200}\right)^2\left(\frac{30}{100}\right)$$

$$= 0.001325 \ m^3$$

$$\therefore \quad \ln\left(\frac{t - 315}{20 - 315}\right) = -\frac{7.5 \times 0.0795}{0.12 \times 7200 \times 0.001325} \times \frac{40}{60}$$

$$= -0.347$$

or $$t = 315 + 0.707\,(20 - 315)$$

$$\therefore \quad t = 106.4\ ^{o}C$$

obeikandi.com

الحالة الثانية :

١- عندما تكون المقاومه الحراريه للماده المنتقله منها او اليها الحراره كبيرة نسبيا اذا ماقورنت بالمقاومه الحراريه عند حدود المجموعه اى انه يوجد تغيير سريع فى درجة حرارة سطح المادة وبالتالى لاتظل درجة حرارة سطح المادة ثابته عند كل نقطة فيها .

٢- معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للماده منخفض نسبيا مما يتسبب عنه تغير فى درجة حرارة المادة من نقطة الى نقطة داخل المادة نفسها .

وفى هذه الحالة فان المعادلة السابق ذكرها لاتنطبق ويجب الاخذ فى الاعتبار التغير فى درجة حرارة المادة فى الداخل وليس على السطح فقط . وتحليل هذه الظروف رياضيا خارج عن نطاقنا فى هذا المقرر ولو انه توجد خرائط مبسطه يمكن استخدامها مباشرة لحساب الوقت اللازم لتسخين او تبريد مادة ما تحت ظروف معلومه .

وقد وجد ان :

$\left(\frac{t - t_o}{t_1 - t_o}\right)$ تعتمد على معامل فوريير Fourier Modulus $\left(\frac{k\,\theta}{C_p.\rho.r^2}\right)$

ومعامل بايوت $\left(\frac{hr}{k}\right)$ Biot Modulus ومعامل الحجم $\left(\frac{r}{r_o}\right)$

وذلك اذا كانت المادة على شكل كروى او اسطوانى لانهائى ، اما اذا كانت على شكل مضلع لانهائى فيستبدل نصف القطر r بنصف طول الضلع x.

ملحوظه :

عادة مانستخدم معامل الانتشار الحرارى Thermal Diffusivity فى حسابات انتقال الحرارة ومقداره :-

$$\text{معامل الانتشار الحرارى} = \frac{\text{معامل انتقال الحرارة بالتوصيل}}{\text{الحراره النوعيه} \times \text{الكثافه}}$$

$$\alpha = \frac{k}{C_p.\rho} \qquad (9\text{-}68)$$

ووحداته قدم مربع/ساعه بالوحدات الانجليزيه او متر مربع/ساعه بالوحدات المتريه.

obeikandl.com

مثال (١):

حائط سمكه ٦٠سم ، درجة حرارته الابتدائيه ٢٠°م ، معرض من جانبيه لغازات ساخنه مندفعه عند درجة حرارة ٥٧٧ °م . فاذا علمت ان :

معامل انتقال الحراره بالنقل على سطح الحائط = ١٣ر٥ كيلو كالورى/ساعه متر^{٢} °م

معامل انتقال الحراره بالتوصيل لمـــادة الحائط = ٤ كيلو كالورى/ساعه متر °م

الكثافه النوعيه لمادة الحائط = ٢٥٩٠ كجم/متر^{٣}

الحراره النوعيه لمادة الحائط = ٣ر٠ كيلوكالورى/كجم °م

احسب درجة حرارة كل من منتصف الحائط وسطحه بعد مرور زمن مقداره ٨ر٧٥ ساعه .

الحـل

نحسب اولا رقم فوريير = $\frac{\alpha\theta}{x^2}$

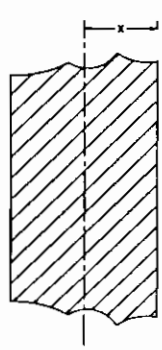
ونلاحظ هنا ان قيمة x تســـاوى نصف سمك الحائط تساوى ٣٠ سم

$$\alpha = \frac{k}{C_{p}\cdot\rho}$$

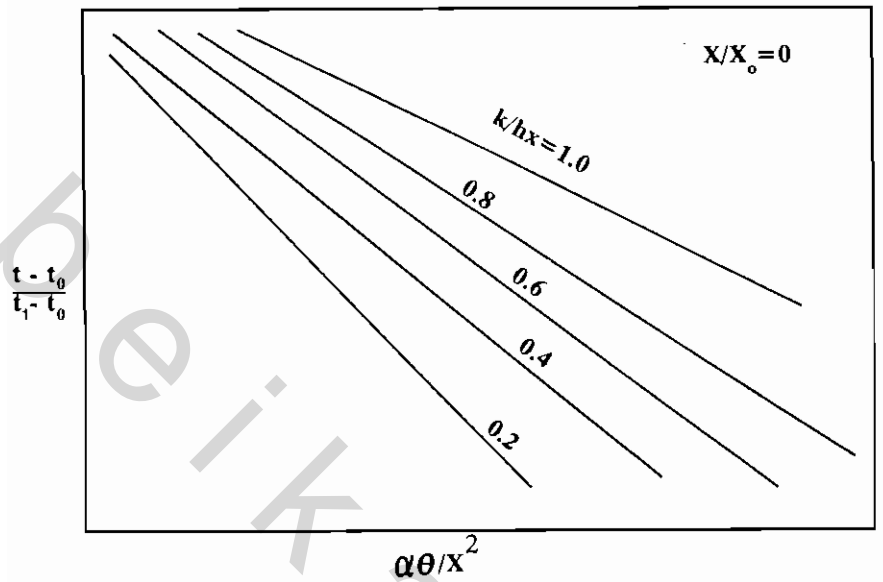
$$\alpha = \frac{4}{(0.3)(2590)} = 0.00515 \ m^2/hr.$$

$$\text{Fourier number} = \frac{(0.00515)\ (8.75)}{(0.3)^2} = 0.5$$

$$\text{Biot number} = \frac{13.5 \times 0.30}{4} = 1.01$$



obeikandl.com



شكل (٩-١٤) خريطة التبادل الحرارى خلال منتصف حائط

نستخدم خرائط الانتقال الحرارى الغير مستقر فى حائط لانهائي ونلاحظ ان المحور الافقى يمثل قيم مختلفه لرقم فوريير والمحور الرأسى يمثل النسبه بين الفرق بين درجات حرارة الحائط والجو المحيط به الى الفرق بين درجات حرارة الحائط الابتدائيه والجو المحيط به اى ان المحور الرأسى يعبر عن :

$$\frac{t - t_o}{t_1 - t_o}$$

كما نلاحظ ان الخريطه الاولى تستخدم لايجاد درجة حرارة منتصف الحائط ، والخريطة السادسة تستخدم لايجاد درجة حرارة سطح الحائط اى ان معامل الحجم $\frac{x}{x_o}$ فى الخريطة الاولى يساوى صفر . وفى السادسه يساوى واحد .

والمنحنيات المختلفه الموجودة فى هذه الخرائط هى لقيم مختلفه من مقلوب رقم بايوت اى للمقدار :

$$\frac{k}{h\,x}$$

obeikandi.com

باستخدام الخريطه الاولى (منتصف الحائط) : تقاطع الخط الرأسى من رقم فوريير ٥ر٠ مع المنحنى ذو مقلوب رقم بايوت ١ ، يقابله معامل درجة الحرارة .

$$\frac{t - t_o}{t_1 - t_o} = 0.8$$

$$t - 577 = (0.8)\ (20 - 577)$$

$$t = 577 - 445.6$$ وعلى ذلك تكون

$$= 131.4\ ^oC$$

وهى درجة حرارة منتصف الحائط (t)

ومن الخريطه السادسه (معامل الحجم = ١) نتبع نفس الخطوات السابقه لنجد ان :

$$\frac{t - t_o}{t_1 - t_o} = 0.42$$

$$t - 577 = (0.42)\ (20 - 577)$$

$$t = 577 - 233.9 = 343.1\ ^oC$$

وهى درجة حرارة سطح الحائط

مثال (٢) :

من المشاكل الشائعه فى انتاج الحمضيات (الموالح) بالمناطق الباردة وصول درجات حرارة منتصف الثمار الى اقل من درجات التجمد خصوصا فى الليالى القارصه البرودة حيث تفقد الثمار كميات من الحرارة بالحمل والاشعاع من سطح الثمار وبالتوصيل من داخل الثمار الى الجو المحيط بها . ولمعالجة هذه المشكله توضع مواقد او مشاعل اسفل الاشجار بغرض رفع درجة حرارة الجو الى الحد الذى يسمح بعدم حدوث تجمد داخل الثمار . وعلى ذلك فانه من المطلوب حساب درجات الحرارة داخل الثمار وخارجها حتى يمكن معرفة الحرارة الكلية وطريقة توزيعها فى بساتين الحمضيات للتغلب على هذه المشكله .

لذلك يراد تقدير درجة حرارة منتصف ثمار البرتقال اذا كان قطر الثمره ١٠سم ودرجة الحرارة الابتدائيه ١٨°م ودرجة حرارة الجو المحيط -٤°م وتعرضت هذه الثمار لها مدة ٥ر٢٥ ساعه مع اعتبار الخصائص الآتيه :

معامل انتقال الحرارة بالنقل على سطح الثمار = ٣ كيلو كالورى/ساعه متر^{٢} ^{٥}م

معامل انتقال الحرارة بالتوصيل لداخل الثمار = ١٥ر٠ كيلو كالورى/ساعه متر^{٥}م

معامل الانتشار الحرارى لداخل الثمـــــــار = ٧٥ر٤ × ١٠$^{-٤}$ متر^{٢}/ساعه

الحل

$$\text{Fourier number} = \frac{(0.000475)\ (5.25)}{(0.05)^{2}} = 0.9975$$

$$\text{Biot number} = \frac{(3)\ (\frac{10}{2 \times 100})}{(0.15)} = 1.0$$

ومن خرائط الانتقال الحرارى الغير مستقر للاشكال الكرويه ، تستخدم الخريطة الاولى 0 = ($\frac{٢}{٢_{٥}}$) منتصف الثمره .

$$\frac{t - t_{o}}{t_{1} - t_{o}} = 0.1$$

$$\therefore \quad t - (-4) = (0.1)\ [18 - (-4)]$$

$$\therefore \quad t = 2.2 - 4 = -1.8\ ^{o}C$$

درجة حرارة منتصف الثمار بعد خمسة ساعات وربع = -٨ر١ ^{٥}م

مثال (٣) :

قطعة من اللانشون على شكل اسطوانة طولها ٦٠سم وقطرها ١٠ سم . وضعت فى فرن درجة حرارته ١١٥^{٥}م بغرض معاملتها حراريا لمدة ٤ ساعات . احسب درجة حرارة المنتصف (المركز) اذا علمت ان :

معامل انتقال الحراره بالنقل لجو الفرن = ٢٠٠ كيلو كالورى/ساعه متر^{٢} ^{٥}م

معامل انتقال الحراره بالتوصيل للانشون = ١٣ر٠ كيلو كالورى/ساعه متر. ^{٥}م

كثافة اللانشون النوعيه = ٧٠ر١ كجم/م^{٣}

الحراره النوعيه للانشون = ٨ر٠ كيلوكالورى/كجم.^{٥}م

درجة حرارة اللانشون الابتدائيه = ٢٠ ^{٥}م

obeikandl.com

الحـل

نفرض ان انتقال الحراره داخل اللانشون يكون قطرى وليس فى اتجاه المحور على اساس ان طولها كبير وممكن اعتباره لانهائى بالنسبه للقطر.

نستخدم خرائط انتقال الحرارة فى اسطوانه لانهائية الطول لايجاد درجة حرارة المنتصف اى اننا نستخدم الخريطه الاولى حيث $(\frac{r}{r_o}) = 0$

$$\text{Fourier number} = \frac{k\,\theta}{C_p \cdot \rho \cdot r^2}$$

$$= \frac{(0.13)\ (4)}{(\frac{5}{100})^2\ (1070)\ (0.8)} = 0.243$$

$$\text{Biot number} = \frac{h\,r}{k}$$

$$= \frac{(300)\ (\frac{5}{100})}{(0.13)} = 115.4$$

$\therefore$ Reciprocal or inverse Biot Number = 0.0087

ومن الخريطة الاولى نجد ان :

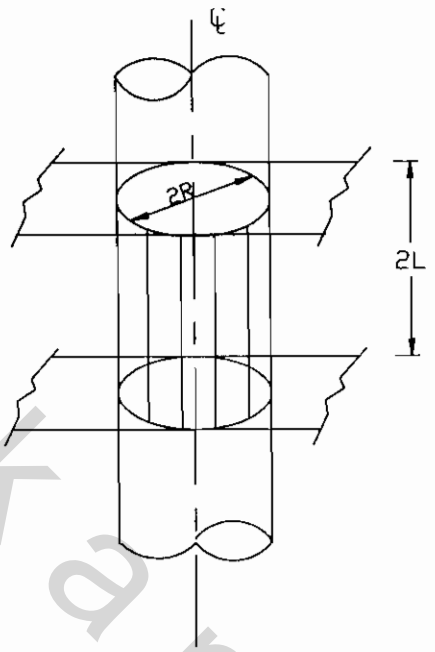
$$\frac{t - t_o}{t_1 - t_o} = 0.35$$

$\therefore$ $(t - 115) = (0.35)\ (20 - 115)$

$\therefore$ $t - 115 = -33.25$

$\therefore$ درجة حرارة المنتصف (t) $t = 81.75\ ^oC$

obeikandl.com



شكل (٩-١٥) الانتقال الحرارى فى اسطوانه محددة الطول

نلاحظ من الامثله السابقه اننا نعتبر اتجاه واحد لانتقال الحرارة سواء فى اتجاه القطر (قطريا) او فى اتجاه المحور (محوريا) وذلك باننا نهمل الاتجاهات الاخرى على اساس ان طول الاسطوانه كبير بالنسبه لقطرها او ان طول الحائط فى الاتجاهين الآخرين كبير بالنسبه لسمك الحائط . ولكن عادة مانقابل من الناحية العملية ان انتقال الحرارة يكون فى اكثر من اتجاه مثال ذلك عندما نعقم المعلبات الغذائيه باشكالها المختلفه سواء على شكل اسطوانى او على شكل متوازى اضلاع شكل (٩-١٥) حيث ان اطوال المعلبات فى الاتجاهات (الاحداثيات) المختلفه تكون متقاربه وعلى ذلك لايمكننا اهمال الانتقال الحرارى فيها ويمكن ايجاد الحلول الرياضية لهذه الحالات ولكن من الوجهه العملية فاننا نعتبر ان الشكل الموجود مكون من عدة مستويات متقاطعه مع بعضها لتشكيلة . ونقوم بحساب قيمة معامل درجة الحراره.

$$\frac{t - t_o}{t_1 - t_o}$$

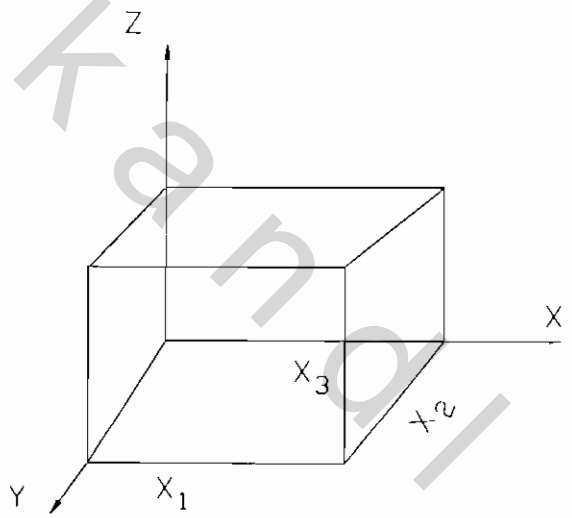
obeikandl.com

لكل اتجاه على حده ويكون الحل النهائى هو حاصل ضرب المعاملات مع بعضها. فمثلا تعتبر المعلبات الاسطوانية على انها اسطوانة لانهائية متقاطعه مع مستويين البعد بينهما هو ارتفاع او طول العلبه .

وتحسب درجة الحرارة من المعادلة الآتيه :

$$\left(\frac{t - t_o}{t_1 - t_o}\right) = \left(\frac{t - t_o}{t_1 - t_o}\right) \times \left(\frac{t - t_o}{t_1 - t_o}\right) \quad (9\text{-}69)$$

Cylinder — Infinite Cylinder — Infinite Slab



شكل (٩-١٦) الانتقال الحرارى فى جسم ثلاثى الأبعاد

وبنفس الطريقة يمكن تقدير درجة حرارة معلب على شكل متوازى اضلاع باعتبار انه تقاطع ستة مستويات تبعد عن بعضها باطوال المضلع فى الاتجاهات الثلاثه .

وتحسب درجة الحرارة من المعادلة الآتيه :

$$\left(\frac{t - t_o}{t_1 - t_o}\right) = \left(\frac{t - t_o}{t_1 - t_o}\right) \times \left(\frac{t - t_o}{t_1 - t_o}\right) \times \left(\frac{t - t_o}{t_1 - t_o}\right) \quad (9\text{-}70)$$

مضلع — Slab 1 — Slab 2 — Slab 3

obeikandl.com

مثال (١) :

عبئت مادة غذائية ذات محتوى رطوبي مرتفع فى علب رقم ٢ (القطر الصافى ٨ر٤ سم والارتفاع الصافى ٦ر١٠سم) وكانت المادة الغذائية تملأ العلب تماما وكثافتها ١٠٩٠ كجم/متر^{3} ودرجة حرارتها الابتدائية ٨٢$^{\circ}$م . وضعت المعلبات فى معقم يستخدم بخار درجة حرارته ١١٥$^{\circ}$م لمدة ثلاثة ساعات وذلك بفرض معاملة المعلبات حراريا - احسب درجة حرارة منتصف الغذاء المعلب اذا علمت ان :

الحراره النوعيه للمادة الغذائية المعلبه = ٨٤ر٠ كيلوكالورى/كجم.$^{\circ}$م

معامل انتقال الحرارة بالنقل للبخار = ١٥٠٠ كيلوكالورى/ساعه متر^{2} .$^{\circ}$م

معامل انتقال الحرارة بالتوصيل للمادة الغذائية = ١١٤ر٠ كيلوكالورى/ساعه.متر$^{\circ}$م

الحل

معامل الانتشار الحرارى (α) Thermal diffusivity

$$\alpha = \frac{k}{C_p \cdot \rho} = \frac{(0.114)}{(0.84)\ (1090)}$$

$$= .000125 \quad m^2/hr.$$

نصف قطر العلبه (الاسطوانه) $\text{Radius of can} = \frac{8.4}{200} = 0.042$ m

نصف إرتفاع العلبه $\text{Half height can} = \frac{10.6}{200} = 0.053$

وبعد ذلك يتم الحل على مرحلتين :

الاولى باعتبار ان الاسطوانه ذات طول لانهائى والمرحله الثانيه تعتبر ان الطول محدد ويكون اتجاه انتقال الحراره فى اتجاه المحاور الرئيسيه .

ويتم الحصول على درجة الحراره فى الموقع المطلوب معرفتها عنده وذلك بضرب قيمة كل حالة فى الأخرى وبالتالى يتم تحديد الوضع على طبيعته كمجسم وذلك كما يأتى :

obeikandl.com

أ- اسطوانه لانهائيه :

$$\text{Inverse Biot number} = \left(\frac{k}{h\, r_o}\right)$$

$$\frac{(0.114)}{(1500)\ (0.042)} = 0.00181 \sim \text{Zero}$$

$$\text{Fourier number} = \frac{\alpha\, \theta}{r_o^2}$$

$$= \frac{(0.000125)(3)}{(0.042)^2} = 0.213$$

ومن خريطة إنتقال الحرارة الغير مستقر لمنتصف اسطوانه لانهائية أى أن :

نجد ان:

$$\left(\frac{r}{r_o}\right) = 0$$

$$\left(\frac{t - t_o}{t_1 - t_o}\right) = 0.4$$

Infinite Cylinder

ب- حائط لانهائى :

$$\text{Reciprocal Biot number} = \left(\frac{k}{h\, x_o}\right)$$

$$= \frac{(0.114)}{(1500)\ (0.053)} = 0.00143 \sim \text{Zero}$$

$$\text{Fourier number} = \frac{\alpha\, \theta}{x_o^2}$$

$$= \frac{(0.000125)(3)}{(0.053)^2} = 0.133$$

ومن خريطة إنتقال الحرارة الغير مستقر لمنتصف الحائط اللانهائية أى أن :

obeikandl.com

نجد أن :

$$\left(\frac{x}{x_o}\right) = 0$$

$$\therefore \quad \left(\frac{t - t_o}{t_1 - t_o}\right) = 0.82$$

Infinite Slab

وعلى ذلك يمكن حساب درجة حرارة منتصف المعلب الغذائى من حاصل ضرب النتيجتين فى كل من (أ) ، (ب) .

$$\therefore \quad \left(\frac{t - t_o}{t_1 - t_o}\right) = (0.4)\ (0.82) = 0.328$$

Can

$$\therefore \quad \left(\frac{t - 115}{82 - 115}\right) = 0.328$$

$$t - 115 = (-33)\ (0.328)$$

$$\therefore \quad t = 104.18\ ^oC$$

مثال (٢) :

اذا استبدلت العلبه الاسطوانية الشكل فى المثال رقم (١) بأخرى على شكل متوازى أضلاع بالمقاسات الآتيه ٣ر٧ × ٦ر٨ × ٢٥ر١٥سم إحسب درجة حرارة المنتصف تحت نفس الظروف السابقه .

obeikandl.com

الحل

Half-length of can in the first direction $= \frac{7.3}{200} = 0.0365$ m

Half-length of can in the second direction $= \frac{806}{200} = 0.043$m

Half-length of can in the third direction $= \frac{15.25}{200} = 0.762$ m

أ- الاتجاه الاول: (First direction)

$$\text{Reciprocal Biot number} = \frac{(0.114)}{(1500)\ (0.0365)} = 0.00208 \sim \text{Zero}$$

$$\text{Fourier number} = \frac{(0.000125)(3)}{(0.0365)^2} = 0.2815$$

$$\therefore \left(\frac{t - t_o}{t_1 - t_o}\right)_{x_1} = 0.6$$

ب- الاتجاه الثانى : (Second direction)

Reciprocal Biot number =

$$= \frac{(0.114)}{(1500)\ (0.0430)} = 0.00177 \sim \text{Zero}$$

obeikandl.com

$$\text{Fourier number} = \frac{(0.000125)(3)}{(0.043)^2} = 0.2$$

$$\therefore \left(\frac{t - t_o}{t_1 - t_o}\right)_{x_2} = 0.72$$

ج- الاتجاه الثالث : (Third direction)

$$\text{Reciprocal of Biot number} = \frac{(0.114)}{(1500)\ (0.0762)} = 0.001 \sim \text{Zero}$$

$$\text{Fourier number} = \frac{(0.000125)(3)}{(0.0762)^2} = 0.065$$

$$\therefore \left(\frac{t - t_o}{t_1 - t_o}\right)_{x_3} = 0.96$$

وعلى ذلك يمكن تحديد درجة حرارة منتصف المعلب الغذائى من حاصل ضرب النتائج فى كل من أ ، ب ، جـ .

$$\therefore \left(\frac{t - t_o}{t_1 - t_o}\right)_{Can} = (0.6)\ (0.72)\ (0.96) = 0.415$$

$$\therefore \left(\frac{t - 115}{82 - 115}\right) = 0.415$$

$$\therefore t = 115 - 13.7$$

$$\therefore t = 101.3\ ^oC$$

obeikandi.com

مسائل عامه

١- خزان من الحديد يحتوى على ٧ متر مكعب من الهواء الجاف عند ضغط مانومترى ٢٧٥ كيلو باسكال ودرجة حرارة ٢٠°م . أوجد وزن الهواء الموجود فى الخزان . ماهو وزن النيتروجين اللازم اضافته الى هذا الخزان لرفع ضغط المخلوط الى ٤١٣ كيلو باسكال .

٢- ١ متر مكعب من الهيدروجين ضغطت تحت ضغط ثابت مقداره ٢٧٥ كيلو باسكال الى ان اصبح الحجم ٤ر. متر مكعب . اوجد الشغل اللازم لضغط هذا الغاز .

٣- ٣ر. متر مكعب من الهواء عند ضغط ١.٣٤ كيلو باسكال تمدد داخل اسطوانه الى ان اصبح الحجم ١ متر مكعب اذا كان منحنى التمدد يتبع القانون $p.v^{1.4}=c$ اوجد الضغط النهائى للهواء .

٤- كمية من الهواء حجمها ٦ر. متر مكعب وعند ضغط مطلق مقداره ٦٨٩ كيلو باسكال ، تمددت هذه الكميه داخل اسطوانه الى ضغط مطلق مقداره ١.٣ كيلوباسكال. اوجد الشغل الناتج عن تمدد الهواء اذا كان منحنى التمدد يتبع :

أ - اجراء ايزوسيرمالى . ب- اجراء اديباتيكى $p.v^{1.4}=c$

٥- ماهى كمية الحراره اللازمه لتسخين ٨ر١ كيلو جرام من الهواء من درجة حرارة -١°م الى ١٥°م اذا كانت الحراره النوعيه للهواء تحت حجم ثابت = ١٧٢ر. كيلوكالورى/كجم.°م والحراره النوعيه للهواء تحت ضغط ثابت تساوى ٢٣ر. كيلو كالورى/كجم.°م اذا كانت عملية التسخين تتم :

أ - تحت حجم ثابت ب- تحت ضغط ثابت

٦- ٨ر١ كيلوجرام من الهواء عند ضغط مطلق مقداره ٦٨٩ كيلوباسكال تشغل حجم مقداره ٣ر. متر مكعب . تمددت هذه الكميه الى حجم مقداره ٤ر١ متر مكعب . اوجد درجة حرارة الهواء النهائيه ، الشغل الناتج عن تمدد الهواء ، الحراره التى امتصت او طردت من هذا الهواء اذا تمدد الهواء :

أ - تحت ضغط ثابت.

ب- اجراء ايزوسيرمالى (درجة حرارة ثابته).

جـ- اجراء اديباتيكى . (بدون فقد او اكتساب للحراره)

علما بان : $C_V = 0.17$ ، $C_p = 0.24$ ، $R = 289\ N.m/kg.K$

obeikandl.com

٧- ١ر متر مكعب من الهواء تحت ضغط مانومترى ٣ر١ ميجاباسكال ودرجة حراره ١٥٠م تمدد الى ٢٥ر. متر مكعب بدون امتصاص او فقد اى كمية من الحراره اى ان الاجراء اديباباتيكى (٢ = ٤ر١). اوجد وزن الهواء والضغط ودرجة الحراره بعد التمدد ما مقدار الشغل الناتج عن هذا التمدد ؟

٨- اسطوانه من الحديد الصلب مساحة قاعدتها ٠٠٦ر متر مربع وارتفاعها ٤٥ سم بها كمية من الهواء تحت ضغط مانومترى مقداره ٦٨٩ كيلو باسكال وفى درجة حرارة ١٥٠م اذا كان الثابت النوعى للهواء ٢٨٩ نيوتن .متر/كجم . ٥م احسب كمية الهواء الموجودة داخل الاسطوانه .

٩- ٣ر.متر مكعب من الهواء تحت ضغط مطلق مقداره ٢٧٥ كيلو باسكال تمددت الى ٧ر متر مكعب اوجد الشغل الناتج عن هذا التمدد فى كل من الحالات الآتيه :-
أ - تحت ضغط ثابت.
ب- تحت درجة حرارة ثابته (ايزوسيرمالى).
حـ- اديباباتيكى .

١٠- ضاغط هواء ذو وجه واحد واسطوانه واحدة قطرها ٢٣سم وطول مشوار الضاغط ٢٣سم ويدخل الهواء الاسطوانه عند ضغط ١.٣ كيلوباسكال ودرجة حرارة ١٥٠م ثم يضغط اديباباتيكا الى ٦٢٠ كيلو باسكال . اوجد القدرة الحصانيه النظريه اللازمه لادارة هذا الضاغط اذا كانت عدد لفات عمود الاداره ١٠٠ لفه/دقيقه وكذلك احسب كمية الهواء المضغوط فى الدقيقه .

١١- احسب التغيير فى الطاقه الكامنه ٥ر. كجم من الهواء عند درجة حرارة -١٥٠م اذا ضغط الهواء الى $\frac{١}{٥}$ حجمه الاصلى وكانت عملية الضغط تتبع القانون $pv^{1.3} = C$ علما بان :
$C_V = 0.17$, $C_p = 0.24$ ، مامقدار الحراره التى تبادلتها جدران الاسطوانه مع الهواء الجوى .

١٢- ١ر. متر مكعب من الهواء تحت ضغط مطلق ٤ر١ ميجاباسكال ودرجة حرارة ١٥٠م تمدد تحت ضغط ثابت الى ٢٥ر. متر مكعب . اوجد درجة الحرارة فى نهاية عملية الضغط وكذلك مقدار الشغل الناتج عن تمدد الهواء ومقدار التغير فى الطاقة الكامنه علما بان :

obeikandi.com

C_p = ٢٤ر ، C_v = ١٧ر ، $R = 289\ N.m/kg.^oC$

١٣- غاز ما يتبع القانون الآتى :

$p.v. = 100\ T$

ومقدار C_v = ١٧٥ر ، فاذا تمدد كيلوجرام واحد من هذا الغاز الموجود تحت ضغط مطلق ٤١٣ كيلوباسكال من حجم ١٤ر. متر مكعب الى ٩ر. متر مكعب ، وكان قانون منحنى التمدد $p.v^{1.31} = C$. اوجد كمية الحرارة التى تبادلتها الاسطوانه المحتوية على هذا الغاز .

١٤- ضاغط هواء ذو وجه واحد واسطوانه واحدة قطرها ٥ر٧سم وطول مشوار الضاغط ١٥سم ، يدخل الهواء اسطوانة الضاغط عند ضغط مطلق ١.٣ كيلوباسكال ودرجة حرارة ١٥°م ويخرج الهواء المضغوط عند ضغط مطلق مقداره ١ر٤ ميجاباسكال اذا كانت سرعة دوران عمود الاداره ١٥٠٠ لفه/دقيقه . اوجد القدرة الحصانيه النظرية اللازمه لادارة الضاغط اعتبر ان عملية الضغط ادياباتيكية ومقدار γ = 1,4 .

١٥- محطة خدمة عامه تستخدم هواء مضغوط عند ضغط مطلق ٨٢٧ كيلوباسكال ومقدار استخدام الهواء المضغوط ٢٨ متر مكعب/ساعه عند درجة حرارة -١°م. اذا استخدم ضاغط هواء ذو اسطوانة واحدة لتغذية المحطه بالهواء المضغوط ويدخل الهواء الى الضاغط عند ضغط مطلق مقداره ١.٣ كيلوباسكال وكانت عملية الضغط ادياباتيكية (γ = 1,4) فامقدار اقل قدرة حصانيه تلزم لادارة هذا الضاغط ؟ .

١٦- هواء عند ضغط مطلق مقداره ١.٣ كيلوباسكال ودرجة حرارة -١°م يراد ضغطه الي ١.٣٤ كيلوباسكال بواسطة ضاغط هواء ترددى ذ و اسطوانه واحده وكانت عملية الضغط تتبع القانون $pv^{1.2} = C$ ، C_p = ,24 ، C_v = ,17 ، γ = 1,4 احسب :

١- الشغل اللازم لادارة الضاغط لكل كجم واحد من الهواء .

٢- كمية الحراره التى اكتسبتها مياه التبريد لكل ١ كجم من الهواء .

٣- اذا استخدم رذاذ ماء داخل اسطوانة الضاغط لتبريد الهواء اثناء عملية الانضغاط حتى تكون درجة حرارته ثابته عند درجة دخول الهواء الى الضاغط ماذا تكون كمية الشغل المتوفرة من هذه العملية ؟

obeikandi.com

٤- اذا أدير هذا الضاغط بواسطة سير على طاره موصله الى محرك كهربائى يدور عند ٤٠٠ لفه/دقيقه مامقدار قدرة المحرك اللازم اذا كانت كفاءة الضاغط ٩٠٪ وكفاءة توصيل الحركه من المحرك الى الضاغط ٩٥٪ .

١٧- كم تكلف عملية تسخين ٤٥٠٠ كجم من محلول ما محتواه الرطوبى ٨٥٪ من درجة حرارة ٢١°م الى درجة حرارة ٧١°م اذا كانت عملية التسخين تتم ببخار على ضغط ٦٥ركجم/سم^{٢} وجفافه ٩٠٪ بينما يخرج البخار المكثف على درجة حرارة ٧٧°م وثمن كجم الوقود ٦٠ قرشا وقيمته الحراريه ١٠٠٠٠ كيلوكالورى/كجم وقود ، وكفاءة جهاز التسخين ٨٨٪ وكفاءة الغلايه ٨٤٪ .

١٨- ماهى كمية الحرارة اللازمه لتحويل كيلوجرام واحد من الماء عند درجة حرارة ١٠°م الى بخار جاف ومشبع تحت الضغط الجوى العادى ، علما بان الحراره النوعيه للماء = ١ .

١٩- ما هى كمية اللبن التى يمكن تسخينها بواسطة ٤ كجم بخار جاف ومشبع تحت الضغط الجوى العادى من درجة ١٨°م الى ٦٣°م علما بان الحراره النوعيه للبن تساوى ٩ر٠ ويخرج البخار المكثف عند درجة حرارة ٣٦°م .

٢٠- ماهى كمية الحراره الكليه الموجوده فى ١٠ كجم بخار ، اذا علمت ان نسبة جفافه ٩٠٪ وضغطه ٣ر٨ كجم/سم^{٢} .

٢١- ماهى كمية البخار اللازم لتسخين ١٨٠٠ كجم من محلول ملحى حرارته النوعيه ٨٨ر٠ من درجة ١٩°م الى ٥٤°م ، علما بان البخار المستخدم ضغطه واحد كجم/سم^{٢} ونسبة جفافه ٩٦٪ وكفاءة جهاز التسخين ٨٠٪ ويخرج البخار المتكثف عند درجة حرارة ٦٣°م .

٢٢- ماهى كمية الزيت التى يمكن تسخينها من ٢٥°م الى ١١٠°م بواسطة ١٠٠ كجم من البخار الذى ضغطه ٧ كجم/سم^{٢} وجفافه ٧٥٪ اذا كانت حرارة الزيت النوعيه ٧ر٠ وكفاءة جهاز التسخين ٨٠٪ وحرارة الماء المكثف ٥٤°م.

obeikandl.com

٢٣- ماهى كمية الوقود وتكاليفه اللازمه لعملية بسترة ٧٥٢٠ كجم من اللبن على درجة ٦٥°م بواسطة بخار ضغطه ٢ر٤ كجم/سم٢ وجفافه ٩٥٪ اذا علمت ان حرارته النوعيه ٩ر وان كفاءة جهاز البسترة ٧٢٪ ويخرج الماء المكثف عند درجة حرارة ٦٤°م وان الغلايه كفاءتها ٧٠٪ وتعمل بوقود قيمته الحراريه ١٠٠٠٠ كيلوكالورى/كجم وثمن الكيلو جرام الواحد منه ٦٠ قرشا وان حرارة اللبن قبل البسترة تماثل حرارة الجو اى حوالى ٢٦°م.

٢٤- باستخدام جداول البخار اوجد كمية الحراره اللازمه لتحميص واحد كجم من البخار الجاف عند ضغط مطلق مقداره ٧ كجم/سم٢ الى درجة حرارة ٣٠٠°م. احسب الحراره النوعيه للبخار المحمص.

٢٥- احسب الحراره الكليه لبخار محمص عند ضغط مطلق ١٤كجم/سم٢ ودرجة حرارة ٢٣٢°م اعتبر ان الحراره النوعيه للبخار المحمص = ٥٥ر٠ قارن النتيجة باستخدام جداول البخار .

٢٦- احسب الحراره اللازمه لتحويل ٣ كجم من بخار رطب عند ضغط ٣ر٥ كجم/سم٢ ونسبة جفافه ٨٠٪ الى بخار محمص درجة حرارته ٢٠٠°م.

٢٧- احسب وزن بخار رطب حجمه ١ر٠٠ متر مكعب عند ضغط مطلق ٨ر٠ كجم/سم٢ وجودته ٧٠٪. ماهى الحراره الكليه لمتر مكعب واحد من هذا البخار بوحدات كيلوكالورى /سم٣.

٢٨- احسب القيمه التقريبيه لحجم واحد كجم من بخار محمص عند ضغط مطلق ٢١ كجم/سم٢ ودرجة حرارة ٢٦٠°م.

٢٩- احسب حجم واحد كجم من بخار محمص عند ضغط مطلق مقداره ١٠ كجم/سم٢ ودرجة حرارة ٢٨٠°م مستخدما :

أ - القانون العام للغازات .

ب- قانون كالندر.

openkanal.com

٣٠- اوجد الطاقه الكامنه لكجم واحد من بخار محمص عند ضغط مطلق مقداره ١٠ كجم/سم^{٢} ودرجة حرارة ٢٨٠°م . اذا تمدد هذا البخار الى بخار رطب عند ضغط مطلق ١كجم/سم^{٢} ونسبة جفافه ٩٠٪ ، اوجد التغير فى الطاقه الكامنه لهذا البخار .

٣١- سخن مخلوط من الماء والهواء فى اناء مغلق ، عند وقت معين كان الضغط المطلق للمخلوط ٤ر٩ كجم/سم^{٢} ودرجة الحراره ١٤٠°م اوجد:

أ - وزن الهواء الموجود مع كل كجم بخار .

ب- الضغط فى الاناء المغلق عندما تصل درجة حرارة المخلوط ١٩٠°م علما بانه مازال يوجد بعض الماء فى الاناء .

٣٢- حجم غلاية تجارب صغيرة ١٧ر٠م^{٣} تحتوى على ٥ر٠ كجم من الماء عند ضغط مطلق ١٠٣ كيلوباسكال ودرجة حرارة ١٥°م ويشغل الهواء باقى حجم الغلايه . وعند تشغيل الغلايه وصلت درجة حرارة المخلوط ١٤٠°م وكان لايزال محبس البخار العمومى مغلق تماما . احسب الضغط الموجود فى الغلايه عند هذه الدرجة .

٣٣- يتم الحصول علي البيانات التاليه للزوجه الظاهريه لعصير الخوخ المصفى عند ٣٠°م وذلك باستخدام ريومتر انبوبى قطره ٢٨ر٠ سم وطوله ١٠٠سم.

اللزوجه الظاهريه (باسكال - ثانيه)	٤٠٦٠٠	٣٠١٠٠	٢٥٥٠٠	٢٠٩٠٠	١٧٤٠٠	١٦٤٠٠	١٠٠٠٠	٧٥٠٠٠
معدل القص (١/ثانيه)	١٢١	٢٠٥	٢٨٥	٣٨٠	٥٠٥	٧٢٠	١٣٠٠	٢١٥٠

احسب كل من k ، n .

٣٤- قارن بين الفقد فى الضغط الناتج عن الاحتكاك عند سريان كلا من الماء ومركز الموز المصفى كل على حده ، فى انبوب قطره الداخلى ١ر٢٥ سم ومعدل التصرف ١ر٢٥ كجم/ثانيه وطول الانبوب ٣ امتار وخصائص مركز الموز k = ٦ باسكال . ثانيه^{n} ، n = ٠٤٥٤ . والكثافه ٩٧٥كجم/متر مكعب. علما بان لزوجة المياه النقيه تساوى ١٤٨٨ x ١٠$^{-٣}$ باسكال . ثانيه.

obeikandi.com

٣٥- احسب كل من معامل الاحتكاك f ومقدار طاقة الحركة لسريان عصير المشمش المصفى فى انبوبه قطرها ٢سم وطولها ٥ امتار بمعدل تصرف ١ متر مكعب/ثانيه علما بان خصائص عصير المشمش هى كما يلى :

k = ٢٠ باسكال . ثانيه^n ، n= ٠,٣ وكثافة العصير ١٠٤٠ كجم/متر مكعب.

٣٦- تم الحصول على النتائج التجريبيه الآتيه من جهاز لزوجة أنبوبى Tube viscometer قطره $R = 0.267$ cms وطوله $L = 0.91$ m. وكان السائل المستخدم هو صلصة التفاح Apple Sauce.

ΔP Pascal x 10^5	1.3	1.45	2.56	1.99	2.13	2.41	2.7
$Q\ m^3/sec.10^{-4}$	0.91	2.5	2.1	3.2	5.2	8.5	12.49

احسب كل من n , k.

٣٧- تم الحصول على القياسات الاتيه للمولاس عند درجة حرارة 274 K مستخدمين ريومتر احادى الاسطوانه طولها 0.1143 m. وقطرها 0.159 m. إحسب كل من n , k.

٣٨- إحسب قيمة رقم رينولدز Re لتحديد نوع السريان لمركز الطماطم ٣٠٪ مواد صلبة ذو الخصائص الآتيه : $k = 18$ Pa.s^n , $n = 0.4$ اذا كان مركز الطماطم يسرى فى انبوب قطره ٢سم عند سرعة سريان تساوى ١,٢ متر/ث ماذا تكون قيمة Re في حالة استخدام مياه

$\rho_{Tomato} = 1130$ kg/m^3 $\rho_{water} = 1000$ kg/m^3 $\mu_{water} = 1488 \times 10^{-3}$ Pa.sec.

٣٩- يتم ضخ مركز الموز المصفي خلال ماسورة قطرها ٤سم بسرعة متوسطة قدرها ٢,٣ متر/ث ودرجة حرارة ٢٥°م أوجد معامل الاحتكاك وحدد نوع السريان اذا كان:

$n = 0.454$ $k = 6$ Pa.s^n $\rho_{banana} = 975$ kg/m^3

٤٠- يلزم تشغيل مروحه هواء بالمواصفات الآتيه : ١٧٠م^3/ق عند ضغط ٥سم ماء. فاذا فرض انها تشابه من ناحية التصميم مروحة هواء تعمل عند المواصفات الآتيه :

٢٨م^3/ق عند ضغط ٢ر٧سم ماء وعدد لفاتها ١٠٠٠ لفه/دقيقه وقطر قرص الريش ٩٠سم ومقدار القدرة الحصانيه اللازمه لادراتها ٢ر٧ حصان ميكانيكى اوجد قطر قرص الريش اللازم للمروحه المطلوب تشغيلها . وعدد لفاتها والقدره الحصانيه اللازمه لادارتها .

obeikandl.com

٤١- مروحة هواء تعمل عند ضغط ٢ر٢سم ماء ومقدار تصرفها ٢٨م^{٣}/ق يلزمها ٢ر٦ حصان لادارة عمود الحركة الذى يدور عند ١٠٠٠ لفه/دقيقه . اذا أريد تقليل تصرفها الى ٣م^{٣}/ق . ما مقدار السرعه والقدرة الجديدة للمروحه. احسب النسبه المئويه فى تخفيض قدرتها الحصانيه .

٤٢- مروحه كفاءتها ٦٥٪ ومقدار تصرفها ١٩٨م^{٣}/ق عند سرعة دوران ٧٠٠ لفه/دقيقه تعمل عند ضغط كلى مقدارة ٦سم ماء. اذا استخدمت هذه المروحه لتعمل فى منطقة مرتفعه عند ضغط مقداره ٥ر٦سم ماء وسرعتها تغيرت لتصبح ٨٥٠ لفه/دقيقه . ما مقدار كل من تصرفها وقدرتها الحصانيه فى الحاله الجديده .

٤٣- احسب القدره الحصانيه اللازمه لرفع ٧٥ لتر/ق من الماء من خزان الى آخر على ارتفاع ٥ر٦م علما بان مقدار الفقد فى الرفع نتيجة لاحتكاك السائل فى المواسير يوازى ٥٪ من مقدار الرفع المانومترى ، ومقدار سرعة سريان الماء فى المواسير ٢م/ثانيه .

٤٤- اوجد مقدار التصرف بوحدات م^{٣}/دقيقه لطلمبة ترددية مكونه من اسطوانه واحدة لدفع لبن وقطر الاسطوانه ١٠سم وطول مشوار المكبس ١٥سم والكفاءه الحجميه للطلمبه ٩٥٪ ، وعدد لفات عمود المحرك ١٠٠ لفه/دقيقه.

٤٥- اذا رفع ٤م^{٣} من اللبن مقدار ٦م فى ٢٠ دقيقه مامقدار الشغل اللازم لاتمام هذه العمليه؟ مامقدار القدره الحصانيه الناتجه ؟ اذا كان قطر ماسورة الدفع ١٣سم وكثافة اللبن ١٠٣٢ كجم/م^{٣} احسب سرعة مرور اللبن فى ماسورة الدفع.

٤٦- آلة تجنيس لبن تعمل عند ضغط ١٧ ميجاباسكال سعتها ٢٣ لتر/ق اذا كانت كفاءة الطلمبه المستخدمه فى الجهاز ٨٢٪ اوجد القدرة الحصانيه للموتور اللازم لادارة الطلمبه . ماذا تكون القدرة الحصانيه اللازمه لادارة نفس الطلمبه اذا انخفض ضغط التشغيل الى ١٠ ميجاباسكال اهمل الاحتكاك داخل ماسورة التوصيل . (٤ لتر لبن فى الدقيقه = ٢٣ر كجم لبن فى الساعه).

٤٧- مضخه تدور بسرعة ١٧٦٠ لفه/دقيقه ومقدار تصرفها ٤٧٣ لتر/ق عند رفع مانومترى مقدارة ١٥م ويلزم لادارتها ١ر٦٣ حصان ميكانيكى . اذا زادت السرعه الى ٢١٠٠ لفه/دقيقه . اوجد كل من مقدار التصرف والرفع والقدره الحصانيه الجديده .

obeikandi.com

٤٨- طلمبه ذات قرص ريش قطره ١٨سم ومقدار تصرفها ٥١١ لتر/ق عند رفع مانومترى ١٢م يلزمها ١ر٦٣ حصان . اذا زاد قطر قرص الريش الى ١٨سم وكانت سرعة الطلمبه ثابته ، اوجد كل من مقدار التصرف والرفع المانومترى والقدرة الحصانيه الناتجه لادارة الطلمبه .

٤٩- من واقع تجربة لمعرفة كفاءة مضخة مياه من النوع الطارده المركزيه وجد الآتى:-

قطر ماسورة التصرف الخارجى لمياه الطلمبه	٥سم
سرعة المياه فى ماسورة الخروج	٤م/ث
الارتفاع الاستاتيكى	١١متر
مقدار الفقد فى الرفع	٦ر٠ متر
سرعة الموتور اللازمه لادارة الطلمبه	١٤٥٠ لفه/دقيقه
القدرة الحصانيه للموتور	٢ حصان
كفاءة الموتور	٩٥٪
كفاءة توصيل الحركه الميكانيكيه للمضخه	٨٥٪

احسب الكفاءة الهيدروليكيه للمضخه .

٥٠- اذا زادت السرعه فى المساله السابقه الى ٢٠٠٠ لفه/دقيقه اوجد مواصفات التشغيل الجديده . هل يمكن استخدام الموتور السابق فى ادارة المضخه ؟

٥١- مضخه ترددية مكونه من اسطوانه واحدة تستخدم فى توصيل اللبن (كثافتة ١٠٢٦ كجم/م^{٣}) الى جهاز تجنيس تحت ضغط مرتفع مقداره ٦ ميجاباسكال. فاذا علمت ان قطر اسطوانة المكبس ١٠سم وطول المشوار ١٥سم وعدد لفات الموتور ١٠٠ لفه/دقيقه وكفاءة المضخه ٧٠٪ . احسب مقدار تصرف الطلمبه فى الدقيقه والقدرة الفرمليه اللازمه لادارة المضخه .

٥٢- من واقع تجربة لمعرفة كفاءة طلمبة مياه من النوع الطارد المركزيه وجد الآتى :

قطر ماسورة تصرف المياه	٥ر٧سم
سرعة المياه فى ماسورة التصرف	٨ر٤م/ث
الرفع الاستاتيكى	١٢م
مقدار الفقد فى الرفع نتيجة احتكاك السائل	٥ر١م
سرعة الموتور اللازمه لادارة الطلمبه	١٤٥٠ لفه/دقيقه
القدرة الحصانيه للموتور	٧ حصان ميكانيكى

obeikandl.com

كفـــــــــاءة الموتـــــــــور ٩٥٪
الكفاءة الميكانيكيه لتوصيل الحركه للطلمبـــه ٨٥٪

احسب الكفاءة الهيدروليكيه للطلمبه اذا زادت السرعه الى ٢٠٠٠ لفه/دقيقه . اوجد مواصفات التشغيل الجديده . هل يمكن استخدام الموتور الكهربائى السابق فى ادارة الطلمبه فى الحاله الجديده ؟.

٥٣- احسب القدره الحصانيه اللازمه لرفع ٧٥ لتر/دقيقه من الماء من خزان الى آخر على ارتفاع ٨م علما بان مقدار الفقد فى الرفع نتيجة لاحتكاك السائل فى المواسير يوازى ٥٪ من مقدار الرفع المانومترى ، ومقدار سرعة سريان الماء فى المواسير ٢م/ث. اعتبر ان كفاءة الموتور ٨٠٪ وكفاءة الطلمبه ٥٠٪ .

٥٤- غرفة تبريد درجة حرارتها ٥ر٤°م معزوله بطبقة من الفلين بسمك ٥سم ومساحتها السطحيه ٤م^{٢} والجو المحيط بها عند درجة حرارة ٢١°م . احسب كمية الحراره التى تنتقل الى داخل غرفة التبريد فى الساعه اذا علمت ان معامل انتقال الحراره بالتوصيل للفلين ٠٣ر كيلوكالورى/ساعه.متر.°م .

٥٥- فرن حائط مكون من طبقتين الاولى بسمك ٢٠سم ومعامل توصيلها ٤ر. والثانيه بسمك ٢٠ سم ومعامل توصيلها ١٨ر. فاذا كانت درجة حرارة السطح الداخلى ٩٨٠°م ، والخارجى ٣٢°م - احسب كمية الحرارة المفقوده فى الساعه .

٥٦- قدر نسبة الانخفاض فى الفقد فى كمية الحراره نتيجة لوضع الطبقه الثانيه فى المساله السابقه التى معاملها ١٨ر. ، ثم احسب درجة حرارة سطح التلامس بين الطبقتين.

٥٧- اوجد معدل الفقد فى الحراره لكل متر مربع من حجرة توصيل الهواء الساخن الى مجفف . وجدران هذه الغرفه معزوله بطبقة من الصوف الزجاجى بسمك ١٠سم ودرجة حرارة الحجرة من الداخل ١٥°م ومن الخارج ٢٥°م . اعتبر ان معامل انتقال الحراره بالتوصيل للصوف الزجاجى ١٢ر.كيلوكالورى/ساعه.متر.°م

٥٨- حائط من الحديد سمكه ٢٥ر١ سم (k =١٢.ر.كيلوكالورى/ساعه متر.°م) يفصل طبقتين من الهواء الساخن كل منهما عند درجة حرارة ٣١٥°م ، ٥٠°م على

obeikandl.com

الترتيب ، ومعامل انتقال الحراره بالحمل لكل منهما هو h = ٣ر. كيلو كالورى/ساعه.متر^{٢}.^{٥}م.
احسب معدل انتقال الحراره فى الحائط لكل متر مربع من السطح .

٥٩- طبقه من الهواء (k = ١ر. كيلوكالورى/ساعه.متر.^{٥}م) بسمك ١٠٠ر.سم تفصل حائط مصنوع من الحديد بسمك ٢ر١سم عن حائط مصنوع من الالومنيوم بسمك ٥ر٢سم . احسب معدل انتقال الحراره لكل متر مربع اذا كانت درجة حراره حائط الحديد من الخارج ٢٠٥^{٥}م ودرجة حراره حائط الالومنيوم من الخارج ٣٨^{٥}م
k للحديد = ٦ر١٣ ، k للالومنيوم = ٥٤ .
احسب كذلك درجة حراره سطح التلامس بين الطبقتين .

٦٠- احسب معدل الفقد من حائط مكون من ثلاثة طبقات كالآتى : ٥ر٢٢سم طوب حرارى ، ١٢سم ماده عازله ، ١٠ سم من طوب احمر اذا كانت درجة حراره السطح الداخلى والخارجى للحائط ١٠٠^{٥}م ، ٤٠^{٥}م على الترتيب علما بان :
k للطوب الحرارى = ١ر٠٠ ، k للطوب الاحمر = ١ر٤٩ و k للماده العازله = ١٢ر. كيلوكالورى/ساعه.متر.^{٥}م .

٦١- احسب درجة حراره السطح الخارجى لحائط مساحة سطحه ١٠ متر مربع ، اذا كان معدل الفقد فى الحراره منه الى الجو الخارجى ٨٠٠ كيلوكالورى/ساعه ، درجة حراره الجو الخارجى ٢٠^{٥}م علما بان :

$$h = 1{,}13\,(t_s - t_o)^{\frac{1}{4}} \qquad kcal./m^2.hr.^oC$$

٦٢- من المعلوم نظريا انه يمكن التعبير عن معامل انتقال الحراره بالحمل من السطح الخارجى للمواسير الافقيه من المعادله الآتيه :

$$h = 1.13\,\left(\frac{t_s - t_o}{D}\right)^n \qquad kcal./m^2.hr.^oC$$

حيث ان:

t_s = درجة حراره السطح الخارجى للماسورة (^{٥}م)

t_o = درجة حراره الجو الملامس للسطح الخارجى للماسورة(^{٥}م).

D = القطر الخارجى للماسورة (متر).

obeikandl.com

وبعمل تجربة على ماسوره قطرها الخارجى ١٥ سم وجد ان درجة حرارة سطحها الخارجى ١١٠°م ، ودرجة حرارة الجو الملامس لهذا السطح ٣٠°م ، وكمية الحراره المفقوده من الماسورة لكل متر طولى منها ٢.٥ كيلوكالورى/ساعه .متر طولى . احسب الأس " n " فى المعادله السابقه .

٦٣- ماسورة بخار قطرها الخارجى ١٧سم مغطاه بطبقة من مادة عازله سمكها ٥سم (k للمادة العازله = ٨٠ر كيلوكالورى/ساعه.متر.°م). ومغلفه بطبقة اخرى من مادة عازله بسمك ٤سم (k للمادة العازله = ٦٠ر كيلوكالورى/ساعه.متر.°م). احسب كمية الحرارة المفقوده من سطح الماسورة اذا كان طولها ١٢٠ متر ، علما بان درجة حرارة السطح الداخلى والخارجى للمواد العازله ٤٢٦°م ، ٣٨°م على الترتيب اهمل مقاومة سمك جدار الماسورة لمرور الحرارة .

٦٤- كره مجوفه من الحديد قطرها الداخلى والخارجى ١٤سم ، ١٦سم على الترتيب احسب كمية الحرارة اللازمه لتسخين الكره من الداخل حتى يكون الفرق فى درجات الحراره بين السطح الداخلى والخارجى ٤°م (k للحديد = ٣٠ كيلوكالورى /ساعه . متر . °م).

٦٥- احسب كمية الحرارة المتبادلة بالاشعاع بين سطحين لانهائيين متوازيين عند درجات حرارة ٢٦٠°م ، ٩٣°م (اعتبر ان الاسطح سوداء).

٦٦- اذا كانت الاسطح فى المسأله السابقه رماديه ونسبة اشعاعها ٨ر ، ٦ر. ، ماهى كمية الاشعاع الحرارى المتبادل لكل متر مربع من الاسطح .

٦٧- احسب كمية الحرارة المشعه من سطح ماسورة إذا كان نسبة اشعاعه ٨ر. ، قطرها الخارجى ٩ سم ودرجة حرارة سطحها الخارجى ١٠٠°م وتمر داخل غرفة كبيرة درجة حرارة الهواء بها ٢٠°م .

٦٨- مبادل حرارى عكسى يستخدم لتبريد زيت بواسطة ماء بارد بالمواصفات الآتيه:-

درجة حرارة دخول الزيت	٨٢°م
درجة حرارة دخول المـــاء	٢٤°م
درجة حرارة خروج المـــاء	٦٥°م
وزن الزيت المراد تبريده	٦٨٠ كجـم/ساعه

obeikandl.com

كمية الماء اللازمه للتبريد ٣٥٤ كجم/ساعه

الحراره النوعيه للـــزيت ٥ر كيلوكالورى/كجم.°م

اوجد :

أ - درجة حرارة خروج الزيت.

ب- المساحه السطحيه لكل ماسوره من مواسير مرور الزيت .

اعـتـبـر ان المعـامل الكلى المكافى لانتـقـال الحـراره U = ٣٠٠ كيلوكالورى/ساعه.م^{٢}.°م.

٦٩- مبادل حرارى يستخدم لتبريد سائل بواسطة ماء بارد بالمواصفات الآتيه :-

درجة حرارة دخول السائل ٩٣°م

درجة حرارة دخول المـاء ١٠°م

درجة حرارة خروج المـاء ٢٧°م

معدل سريان السائل المراد تبريده ٣٥٤ كجم/ساعه

معدل ماء التبريـــد ٩٠٧ كجم/ساعه

الحراره النوعيه للسائل ٦ر كيلوكالورى/كجم.°م

احسب :

أ- درجة حرارة خروج السائل .

ب- المساحة السطحيه لمواسير المبادل فى كل من الحالتين :

١- مبادل متوازى . ٢- مبادل عكسـى .

٧٠- غلايه بخاريه تولد بخار ماء محمص عند ضغط مطلق مقداره ٤ كجم/سم^{٢} ومقدار درجات التحميص ٥°م فوق درجة حرارة التشبع عند هذا الضغط . استخدم هذا البخار فى مصنع لبسترة الالبان ، فاذا كانت ماسورة البخار الموصله من الغلايه الى جهاز البسترة قد تركت بدون مادة عازلة ووجد ان البخار يصل الى جهاز البسترة رطبا ودرجة جفافه ٩٦٪ عند ضغط مطلق مقداره ٢ر٥ كجم/سم^{٢} . احسب كمية الحرارة التى فقدها كجم واحد من البخار بسبب وجود الماسورة الغير معزوله .

٧١- احسب كمية البخار اللازمه لجهاز البسترة فى المساله السابقه لتسخين ٥٠٠ كجم من اللبن من درجة حرارة ٢٥°م الى ٨٥°م علما بان كفاءة جهاز البسترة ٨٥٪ والحرارة النوعيه للبن٩٣ر. كيلو كالورى/كجم.°م.

obeikandl.com

٧٢- مبادل حرارى يستخدم لتبريد سائل بواسطة ماء بارد بالمواصفات الآتيه :-
درجة حرارة دخول السائل ٩٣°م ، درجة حرارة دخول الماء ٧°م ، ودرجة حرارة خروج الماء ٣٢°م ، وزن السائل المراد تبريده ٣٥٤ كجم/ساعه ، كمية الماء اللازم للتبريد ٧٢٥ كجم/ساعه : الحراره النوعيه للسائل ٧٢ر. كيلوكالورى/كجم.°م.
احسب :
أ- درجة حرارة خروج السائل.
ب- المساحه السطحيه لمواسير المبادل فى كل من الحالتين :
١- مبادل متوازى. ٢- مبادل عكسى .

٧٣- حجم غلايه تجارب صغيره متر مكعب تحتوى على كجم واحد من الماء عند ضغط مطلق واحد كجم/سم٢ ودرجة حرارة ١٥°م ويشغل الهواء باقى حجم الغلايه .
احسب :
١- وزن الهواء الموجود بالغلايه مع كل كجم بخار .
٢- الضغط الكلى فى الغلايه عندما تصل درجة حرارة المخلوط الى ١٥٠°م .
علما بان محبس البخار العمومى كان لايزال مغلقا .
٣- الحرارة الكليه للبخار اذا كانت جودته ٩٠٪
(اعتبر ان الثابت العام للغازات ٢٩٫٨ كجم متر/كجم °م).

٧٤- مصنع صغير لبسترة الالبان على دفعات ، به غلايتان الاولى تعمل عند ضغط مطلق مقداره ٣ كجم/سم٢ وجودة البخار الناتج ٩٠٪ والثانيه تعمل عند ضغط مطلق مقداره ٥ كجم/سم٢ وجودة البخار الناتج ٨٥٪ وللاستفادة باكبر كمية ممكنه لتسخين اللبن خلط ١٥ كجم من بخار الغلايه الاولى مع ١٠ كجم من بخار الغلايه الثانيه ونتج عن ذلك ان مخلوط البخار كان عند ضغط مطلق ٤ كجم/سم٢ .

استخدم هذا المخلوط لتسخين مقدار من اللبن من درجة حرارة ٢٠°م الى ٦٥°م ويتكثف البخار المستخدم على درجة ٣٦°م. احسب :
١- جودة البخار الناتج من عملية الخلط.
٢- كمية اللبن التى يمكن تسخينها بمخلوط البخار.
علما بان $c_p = 0.93$ kcal/kg. K

٧٥- ضاغط هواء يعمل بقوة الطرد المركزيه لضغط ٣ر. متر مكعب من الهواء الجوى فى الدقيقه عند ضغط مطلق مقداره ١.٣ كيلوباسكال الى ضغط مطلق مقداره ٦٨٩ كيلوباسكال.
احسب القدرة الحصانيه اللازمه لادارة الضاغط علما بان كفاءته ٧٥٪ .
اذا كان عمود الاداره يدور بسرعة ١٠٠٠ لفه فى الدقيقه واريد زيادة ضغط الهواء بالضاغط الى ٨٢٧ كيلوباسكال فما مقدار الزيادة المنتظرة فى سرعة دوران عمود ادارة الضاغط (٢ = ٤ر١).

٧٦- مبادل حرارى يستخدم لتبريد ٩كجم ماء ساخن فى الساعه من درجة ٨٨°م بواسطة ١٣٦.٧ كجم ماء بارد فى الساعه عند درجة ٣٢°م . فاذا كان المعامل الكلى المكافىء لانتقال الحرارة بين الماء الساخن وجدار مواسير المبادل الداخليه والماء البارد يساوى ٤٤٨ كيلوكالورى/ساعه.متر^{٢}.°م .
احسب:
أ- المساحه السطحيه للمواسير فى حالة استخدام :
١- مبادل متوازى .
٢- مبادل عكسى .

ب- فى حالة استخدام مبادل عكسى ، اذا تغيرت درجة حرارة دخول الماء البارد من ٣٢°م الى ٢١°م وبقيت درجة حرارة دخول الماء الساخن ثابته عند ٨٨°م مع عدم تغير مقدار سريان كل من الماء البارد والساخن ، احسب درجة حرارة خروج الماء البارد من المبادل (اعتبر ان المعامل الكلى المكافىء لانتقال الحراره ظل ثابتا كذلك).

٧٧- جهاز بسترة يستخدم لتسخين كمية من اللبن من درجة ٢١°م الى ٦٦°م (الحراره النوعيه للبن ٩٣ر كيلوكالورى/كجم°م) وكفاءته ٨٥٪ - فاذا كان البخار المستخدم فى التسخين هو عباره عن مخلوط من ثلاثة انواع من البخار :
الاول مقداره ١٠ كجم/ساعه بخار محمص عند ضغط مطلق ١٠ كجم/سم^{٢} ودرجة حرارة ٢٠٠°م ، والثانى مقدارة ١٥ كجم/ساعه بخار جاف ومشبع عند ضغط مطلق ٨ كجم /سم^{٢} ، والثالث مقدارة ٢٥ كجم/ساعه بخار رطب عند ضغط مطلق ٥ كجم/سم^{٢} ونسبة جفافه ٧٥/. فاذا كان الضغط المطلق للمخلوط هو ٧ كجم/سم^{٢} - احسب :

١- نسبة جفاف مخلوط البخار.
٢- كمية اللبن التى يمكن تسخينها بمخلوط البخار.

٧٨- مبادل حرارى يستخدم لبسترة واحد كيلوجرام فى الدقيقه من عصير البرتقال وذلك بواسطة تكثيف بخار رطب فى الغلاف الخارجى المحيط بمواسير المبادل الحرارى . فاذا كان ضغط البخار المستخدم فى المبادل الحرارى يساوى نصف كجم/سم^{٢} ونسبة جفافه ٩٠٪ وطول مواسير المبادل خمسة امتار، القطر الداخلى لكل منها ٢سم والخارجى ٢ر٥ ومصنوعه من النحاس الاحمر ذو معامل انتقال حرارة بالتوصيل مقداره ٣٠٠ كيلوكالورى/متر.ساعه.^{٥}م. واذا كان معامل انتقال الحرارة بالحمل لعصير البرتقال ٢٠ كيلوكالورى/متر مربع.ساعه^{٥}م ، ومعامل انتقال الحراره بالحمل للبخار المستخدم ١٥ كيلوكالورى/متر مربع.ساعه ^{٥}م ودرجة حرارة دخول عصير البرتقال الى المبادل ٢٥^{٥}م ودرجة حرارة خروجة ٦٠^{٥}م وحرارته النوعيه ٨ر. كيلوكالورى/كجم ^{٥}م...
احسب :
أ - عدد مواسير المبادل الحرارى مقربه الى اقرب عدد صحيح.
ب- كمية البخار المتكثفه فى الساعه.
ج - كمية الوقود المستخدم فى الغلايه لتوليد هذا البخار اذا علمت ان القيمه الحراريه للوقود ١٠ر٠٠٠ كيلوكالورى/كجم وقود وكفاءة الغلايه ٨٠٪ .

٧٩- مصنع صغير لبسترة الالبان على دفعات به غلايتان : الاولى تعمل عند ضغط مطلق مقدارة ٦ كجم/سم^{٢} ، وجودة البخار الناتج ٨٥٪ والثانيه تعمل عند ضغط مطلق مقدارة ٥كجم/سم^{٢} وجودة البخار المستخدم ٩٠٪ ، وحتى يمكن الاستفاده باكبر كفاءة ممكنه من تسخين اللبن خلط ١٠ كجم/ساعه من بخار الغلايه الاولى مع ١٥ كجم/ساعه من بخار الغلايه الثانيه ونتج عن ذلك ان مخلوط البخار كان عند ضغط مطلق مقدارة ٥ر٥ كجم/سم^{٢}.استخدم هذا المخلوط فى تسخين كمية من اللبن من درجة ٢٠^{٥}م الى ٦٥^{٥}م ، ويتكثف البخار المستخدم على درجة ٤٠^{٥}م . احسب :
١- جودة البخار الناتج عن عملية الخلط .
٢- كمية اللبن التى يمكن تسخينها بمخلوط البخار.

٨٠- استخدمت علب على شكل متوازى مستطيلات مقاس ٧ × ٥ر٣ × ١٥سم لتعبئة لحم اللانشون بدون ترك اى فراغ ، وكانت درجة حرارة اللحم الابتدائيه ٨٢°م ، وضعت المعلبات فى معقم يستخدم بخار درجة حرارته ١١٥°م لمدة ساعتين وذلك بغرض معاملة المعلبات حراريا . احسب درجة حرارة منتصف اللحم المعلب اذا علمت ان :

الحراره النوعيه للحم = ٨٤ر٠ كيلوكالورى/كجم.°م

كثافة اللحـــــــم = ١٠٨٨ كجم/متر مكعب

معامل انتقال الحراره بالتوصيل للحم = ١١ر٠ كيلو كالورى/ساعه.متر .°م

معامل انتقال الحراره بالنقل للبخـــار= ١٤٩٥ كيلو كالورى/ساعه.متر مربع.°م

٨١- استخدمت علب رقم ٢ (القطر الصافى ٨سم والارتفاع الصافى ٢٥ر١٠سم) فى تعبئة لبن مكثف ومحلى كثافته ٨٨ر٠ كجم/متر مكعب ودرجة حرارته الابتدائيه ٦٠°م .وضعت المعلبات فى معقم يستخدم بخار درجة حرارته ٩٣°م لمدة ساعه واحدة وذلك بغرض معامله المعلبات حراريا ، فاذا كان فراغ العلبه ٦رسم ، احسب درجة حرارة منتصف الغذاء المعلب اذا علمت ان :

الحـــراره النوعيـه للـبن المكثـف = ٩٤ر٠ كيلوكالورى/كجم.°م

معامل انتقال الحراره بالنقل للبخار = ١٤٩٥ كيلوكالورى/ساعه .مترمربع.°م

معامل انتقال الحراره بالتوصيل للبن المكثف = ١١ر٠كيلوكالورى/ساعه.متر.°م

٨٢- قطعة من اللانشون على شكل اسطوانه قطرها ٣٥ر٧سم وطولها ٧ر١٤سم وضعت فى فرن درجة حرارته ١١٥°م بغرض معاملتها حراريا ولمدة ساعتين. فاذا كانت درجة حرارة اللانشون الابتدائيه ٢١°م احسب درجة حرارة منتصف اللانشون اذا كان :

معامل انتقال الحراره بالنقل لجو الفرن = ٢٩٨كيلوكالورى/ساعه.متر مربع.°م

معامل انتقال الحراره بالتوصيل للانشون = ١٣ر٠كيلوكالورى/ساعه.متر.°م

الوزن النوعي للانشون =١ر٠٧

الحراره النوعيه للانشون =٨ر٠ كيلوكالورى/كجم.°م

obeikandl.com

٨٣- بطيخه على شكل كرة قطرها ٢٢سم ودرجة حرارتها الابتدائيه ٢٧°م ، يراد تبريدها لتصل درجة حرارتها عند المركز الى ٥ر٥ °م وذلك بوضعها فى ثلاجة درجة حرارة جوها ٢°م . احسب الوقت اللازم لذلك اذا كان :

معامل انتقال الحراره بالنقل لجو الثلاجه = ٧٥ر.كيلوكالورى/ساعه.متر مربع.°م

معامل انتقال الحراره بالتوصيل للبطيخه = ١١ر.كيلوكالورى/ساعه.متر.°م

الحراره النوعيه للبطيخه = ٩ر.كيلوكالورى/كجم.°م

كثافة البطيخه = ١٠٠١ كيلوجرام /متر مكعب

٨٤- معلب بيوريه بسلة على شكل اسطوانه قطرها ٦ر٢سم وارتفاعها ٨ر٩سم ودرجة حرارتها الابتدائيه ٣٠°م يراد معاملتها حراريا وذلك بوضعها فى وسط تسخين درجة حرارته ١١٥°م . والمطلوب تقدير درجة حرارة المنتصف لكل من الحالتين:

أ - اذا اعتبرت المعلب كاسطوانه لانهائيه.

ب- اذا اعتبرت المعلب اسطوانه محددة الارتفاع

علما بان :

معامل انتقال الحراره بالنقل لوسط التسخين=٥٢٣ كيلوكالورى/ساعه.متر مربع.°م

معامل انتقال الحراره بالتوصيل للبسله = ٢٢ر.كيلوكالورى/ساعه.متر.°م

الحراره النوعيه للبسله = ٩١ر. كيلوكالورى/كجم.°م

كثافة بيوريه البسله = ١٠٨٨ كجم /م^{٣}

وقت المعامله الحراريه = ٤٥ دقيقه

obeikandi.com