المادة: هندسة معامل الاغذية ***FOOD PLANTS ENGINEERING***

الجزء النظري: **عدد الوحدات النظرية (2)** **عدد الساعات (2)**

مدرس المادة: أ.م.د. اسعد رحمان سعيد الحلفي

قسم علوم الاغذية – كلية الزراعة – جامعة البصرة

المحاضرة الرابعة:

انتقال الحرارة بالحمل والاشعاع ***Heat Transfer in Convection and Radiation***

تقدير معامل انتقال الحرارة بالحمل: *Estimation of convection heat transfer coefficient*

يمكن التنبوء بمعامل التوصيل الحراري (h) عن علاقات تجريبية ، يتأثر المعامل ببعض العوامل كنوع الجريان للمائع والخصائص الطبيعية وفرق درجات الحرارة والشكل الهندسي للنظام تحت الدراسة . يستخدم تحليل الابعاد لاستنتاج علاقة تجريبية تتيح التنبؤ بقيمة (h) . تطبق المعادلات التالية على الموائع النيترونية.

1- الحمل القسري *Forced Convection*

يجبر المائع على الحركة فوق الجزء الساخن او البارد بوساطة الة ميكانيكية خارجية مثل المراوح والمضخات والمقلبات.

يحسب انتقال الحرارة بالحمل q من المعادلة التالية:

$$q = h\,A\,(T_i - T_o)$$

Q:معدل انتقال الحرارة بالحمل (W) ، A: المساحة (m^2) ، $(T_i - T_o)$: الفرق بدجات الحرارة، h: معامل انتقال الحرارة بالحمل ($W/m^2.^oC$).

يحسب رقم نسلت *Nusslet Number*.(N_{Nu}) من العلاقة التالية:

$$N_{Nu} = \frac{h\,D}{k}$$

$$N_{Nu} = a(N_{Re})^b(N_{Pr})^c$$

القيم c,b,a تختلف باختلاف نوع الجهاز ونوع السائل سواء كان ذلك للتبريد او التسخين.

D: القطر بالمتر ويسمى بالبعد المميز *characteristic dimension*, ، k: معامل انتقال الحرارة بالتوصيل $W/m.^oC$.

يحسب رقم رينولد(N_{Re}) *Reynolds Number* من العلاقة التالية:

$$N_{Re} = \frac{\rho\,v\,D}{\mu}$$

Dr.ASAAD AL-HILPHY

$$N_{Re} = \frac{4m}{\pi\ \mu\ D}$$

M:الجريان الكتلي (kg/s) ، v:السرعة (m/s) ، ρ :كثافة المائع (kg/m^3)

يحسب رقم برانتل(N_{Pr}) *Prandtl Number* من المعادلة التالية:

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

في بعض الحالات تكون درجة الحرارة للمائع عند الخول والخروج مختلفة وفي هذه الحالة يحسب معدل درجة درجة حرارة المائع لتحديد الخصائص الفيزيائية والحرارية للمائع واللزوجة والكثافة والتوصيل الحراري.

$$T_f = \frac{T_i - T_o}{2}$$

يكون رقم رينولد للجريان الخطي في الانابيب اقل من 2100 بحيث يكون السريان في انبوبة افقية يمكن استخدام المعادلة التالية لهذا النوع من الجريان عندما:

$$\left(N_{Re} \times N_{Pr} \times \frac{D}{L}\right) < 100$$

$$N_{Nu} = 3.66 + \frac{0.085\left(N_{Re} \times N_{Pr} \times \frac{D}{L}\right)}{1 + 0.045\left(N_{Re} \times N_{Pr} \times \frac{D}{L}\right)}\left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0.14}$$

وعندما:

$$\left(N_{Re} \times N_{Pr} \times \frac{D}{L}\right) > 100$$

$$N_{Nu} = 1.86\left(N_{Re} \times N_{Pr} \times \frac{D}{L}\right)^{0.33}\left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0.14}$$

تحسب جميع الخواص الطبيعية على درجة حرارة المائع ككل ماعدا μ_w التي تحسب على درجة حرارة سطح الحائط.

عندما يكون الجريان انتقالي *Transition flow in Pipes* حيث تتراوح قيمة رقم رينولد بين 2100 و 10000 وتستخدم المعادلة التالية لحساب رقم نسلت:

Dr.ASAAD AL-HILPHY

$$N_{Nu} = \frac{(f/8)(N_{Re} - 1000)N_{Pr}}{1 + 12.7(f/8)^{1/2}(N_{Pr}^{2/3} - 1)}$$

$$f = \frac{1}{(0.790 \ln N_{Re} - 1.64)^2}$$

عندما يكون الجريان مضطرب *Turbulent Flow in Pipes* عندما رقم رينولد اكبر من 10000 وتستخدم المعادلة التالية لحساب رقم نسلت:

$$N_{Nu} = 0.023 N_{Re}^{0.8} \times N_{Pr}^{0.33} \times \left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0.14}$$

اذا كان الشكل غير دائري فيحسب القطر المكافيء D_e:

$$D_e = \frac{4 \times A_d}{P}$$

A_d :مساحة المقطع (m^2) ، P: المحيط المبلل (m).

مثال: ماء يتدفق بمعدل 0.02 كغم/ثا يسخن من 20 – 60 درجة مئوية في انبوبة افقية ذات قطر داخلي 2.5 سم . درجة حرارة السطح الداخلي للانبوبة 90 درجة مئوية . طول الانبوبة 1 م .كثافة الماء 992.2 كغم/م^3 والحرارة النوعية له 4.571 كيلوجول/كغم.^{o}م ومعامل انتقال الحرارة بالتوصيل 0.633 واط/م.^{o}م واللزوجة المطلقة 658.620 *10^{-6} باسكال. ثانية.ورقم برانتل 4.3.

$$N_{Re} = \frac{4m}{\pi \mu D} = \frac{4 \times 0.02}{3.14 \times 658.026 \times 10^{-6} \times 0.025} = 1547.9$$

بما ان رقم رينولد اقل من 2100 فان الجريان انسيابي (خطي).

$$\left(N_{Re} \times N_{Pr} \times \frac{D}{L}\right) = 1547.9 \times 4.3 \times 0.025 = 166.4$$

بما ان القيمة اعلاه اكبر من 100 فتستخدم المعادلة التالية:

$$N_{Nu} = 1.86 \left(N_{Re} \times N_{Pr} \times \frac{D}{L}\right)^{0.33} \left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0.14}$$

Dr.ASAAD AL-HILPHY

$$N_{Nu} = 1.86(166.4)^{0.33}\left(\frac{658.026\times10^{-6}}{308.9\times10^{-6}}\right)^{0.14} = 11.2$$

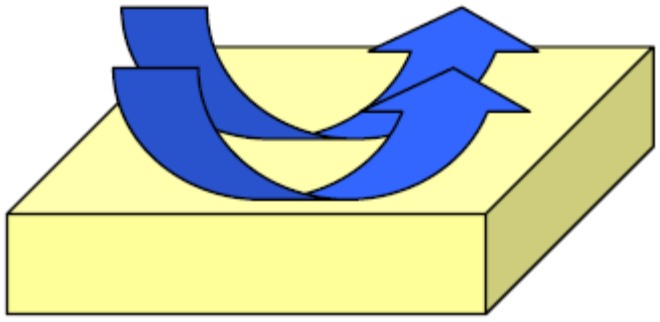
$$N_{Nu} = \frac{h\,D}{k}$$

$$11.2 = \frac{h\ \times 0.025}{0.633}\ , \qquad h = 284 W/m^2 o_C$$

2- انتقال الحرارة بالحمل الحر: *Heat Transfer by Free Convection*

يحدث الحمل الحر نتيجة فرق الكثافة في الموائع عندما تلامس سطحا حارا.تسبب الكثافة المنخفضة للمائع طفو ، نتيجة لذلك يتحرك المائع المسخن لاعلى ويأخذ المائع الاكثر برودة مكان المائع المسخن. يمكن استنتاج معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر من خلال المعادلة التالية

$$N_{Gr} = \frac{\left(D^3\rho^2 g\beta\Delta T\right)}{\mu^2}$$



$$N_{Nu} = \frac{h\,D}{k} = a(N_{Gr}\times N_{Pr})^m$$

قيم m و a تؤخذ من جداول خاصة.

N_{Gr}:رقم كراشوف ، g: التعجيل الارضي ، dt: فرق درجات الحرارة بين الجدار والمادة (oC) ، μ الزوجة (P_a.s).

مثال: احسب معامل انتقال الحرارة بالحمل للفقد الحراري بالحمل من انبوبة بخار افقية ذات قطر 10 سم . درجة حرارة سطحها غير المعزول 130 درجة مئوية ودرجة حرارة الهواء 30 مئوي .

الحل:

$$T_f = \frac{T_i - T_o}{2} = \frac{130-30}{2} = 80°C$$

نحصل على خواص الهواء من جدول خاص عند درجة حرارة 80 مئوي:

$$\rho = O.968\frac{kg}{m}$$

$$\beta = 2.83\times10^{-3}1/K$$

Dr.ASAAD ALHILPHY

$$C_p = 1.019 \frac{kJ}{kg}.℃$$

$$k = 0.0293 \frac{W}{m.℃}$$

$$\mu = 20.79 \times 10^{-6} N.s/m^2$$

$$N_{Pr} = 0.71$$

$$g = 9.81\ m/s^2$$

$$N_{Gr} = \frac{\left(D^3 \rho^2 g \beta \Delta T\right)}{\mu^2}$$

$$N_{Gr} = \frac{(0.1)^3 \times (0.968)^2 \times 9.81 \times 2.83 \times 10^{-3}(130-30)}{(20.79 \times 10^{-6})^2} = 6.019 \times 10^6$$

من جدول خاص قيم m=0.53 و a=1/4

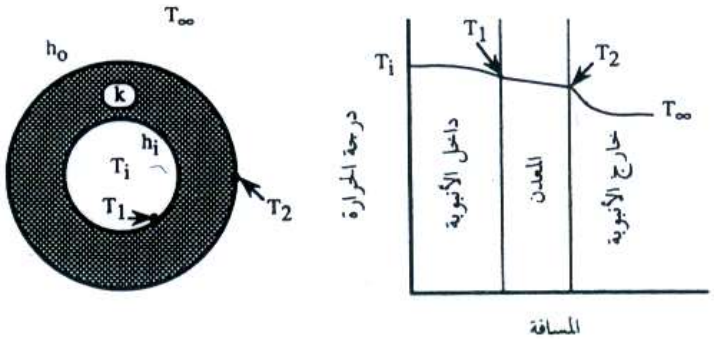
$$N_{Nu} = a(N_{Gr} \times N_{Pr})^m$$

$$N_{Nu} = 0.53(6.019 \times 10^6 \times 0.71)^{1/4} = 24.1$$

$$h = \frac{24.1 \times 0.029}{0.1} = 7\ W/m^2℃$$

تقدير قيمة معامل انتقال الحرارة الكلي *Estimation of Overall Heat – Transfer Coefficient*

في عديد من التطبيقات على التبريد أو التسخين ، يحدث كل من انتقال الحرارة بالتوصيل والحمل معا ويوضح الشكل التالي انتقال حراري عبر انبوبة تحمل المائع في درجة حرارة مختلفة عن درجة الحرارة خارج الانبوبة.



Dr.ASAAD AL-HILPHY

يتم هذا التدفق عبر ثلاث طبقات من المقاومة وهي تعتمد على معامل انتقال الحرارة بالحمل داخل الانبوبة ومعامل التوصيل الحراري لمعدن الانبوبة و معامل انتقال الحرارة بالحمل خارج الانبوبة . يمكن كتابة التعبير العام لانتقال الحرارة الكلي على النحو الاتي:

$$q = U_i A_i (T_i - T_o)$$

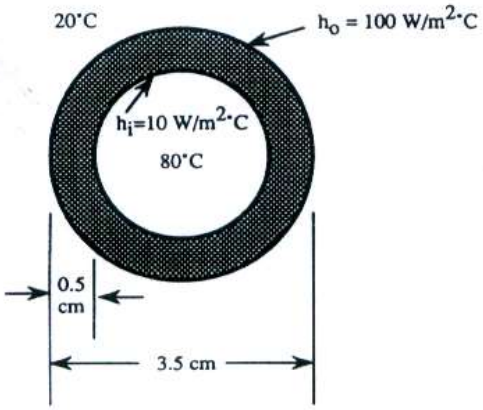
A_i:مساحة السطح الداخلي للانبوبة (m^2) ، U_i: معامل انتقال الحرارة الكلي محسوبا على اساس المساحة الداخلية .

$$\frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{(r_2 - r_1)}{k A_{lm}} + \frac{1}{h_o A_o}$$

$$A_{lm} = \frac{2 \pi L (r_o - r_i)}{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}$$

A_{lm}: متوسط المساحة اللوغارتمي (m^2).

مثال: استخدمت انبوبة ذات قطر داخلي 2.5 سم لنقل سائل غذائي على 80 درجة مئوية معامل انتقال الحرارة بالحمل داخل الانبوبة 10 واط/م^2.م^o . تكون الانبوبة ذات سمك 0.5 سم وهي مصنوعة من الحديد (معامل انتقال الحرارة بالتوصيل 43 واط/م^2.م^o).درجة الحرارة الخارجية 20 م^o . معامل الانتقال الحراري بالحمل خارج الانبوبة 100 واط/م^2.م^o . احسب الفقد الحراري من طول 1 م من الانبوبة.



$$\frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{(r_2 - r_1)}{k A_{lm}} + \frac{1}{h_o A_o}$$

بضرب الطرفين في المساحة A_i مع ملاحظة ان $A_i = 2 \pi r_i L$

$$\frac{1}{U_i} = \frac{1}{h_i} + \frac{(r_2 - r_1)}{k r_{lm}} + \frac{1}{h_o r_o}$$

Dr.A.D AL-HILPHY

$$r_{lm} = \frac{(r_o - r_i)}{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)} = \frac{0.0175 - 0.0125}{\ln\left(\frac{0.0175}{0.0125}\right)} = 0.01486\ m$$

$$\frac{1}{U_i} = \frac{1}{10} + \frac{(0.0175 - 0{,}0125)}{43 \times\ 0.01486} + \frac{1}{100 \times 0.0175} = 0.10724\ m^2\ ℃/W$$

$$U_i\ = 9.32\ W/m^2℃$$

$$q = U_i\ A_i\ (T_i - T_o)$$

$$q = 9.32 \times 2 \times 3.14 \times 1 \times 0.0125\ (60) = 43.9\ ℃$$

كذلك يمكن حساب معامل انتقال الحرارة الكلي على اعتبار المساحة الخارجية حيث ان المعدل المحسوب للتدفق الحراري سيظل ثابتا .

معدل انتقال الحرارة عبر انبوب متعدد الطبقات في هذه الحالة يحسب من المعادلة التالية:

$$q = \frac{(T_i - T_o)}{\frac{1}{h_i \times 2\pi\ r_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi\ k_A L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi\ k_B L} + \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{2\pi\ k_C L} + \frac{1}{h_o \times 2\pi\ r_4 L}}$$

العزل الحراري *Insulation*

العازل الحراري له دور كبير في تخفيض الفقد الحراري من اجهزة التصنيع الغذائي الى المحيط بسبب ان العازل له معدل توصيل حراري بطيء وبالتالي فانه يقلل انتقال الحرارة بالحمل الذي يسبب الجزء الاكبر من الفقد الحراري. ويحدث الفقد عن طريق الحمل والتوصيل والاشعاع . تشمل مواد العزل المستخدمة الفلين والماغنيسيا والزجاج والصوف ولايجوز استخدام الاسبستوس لانه مادة مسرطنة.

ان وجود العازل يقلل من الفرق في درجة الحرارة بين سطح العازل والجزء المحيط به ويوضح هذا التناقص بانه لابد من وجود سمك حرج للعازل ، يجب ان يكون سمك العازل اكبر من السمك الحرج وبالتالي فان معدل الفقد في الحرارة سيقل ويمكن تحديد السمك الحرج R_C من المعادلة التالية :

$$R_C = \frac{k}{h_o}$$

$$q = h_o\ A_o\ (T_i - T_o)$$

DR.ASAAD AL-HILPHY

انتقال الحرارة بالاشعاع:

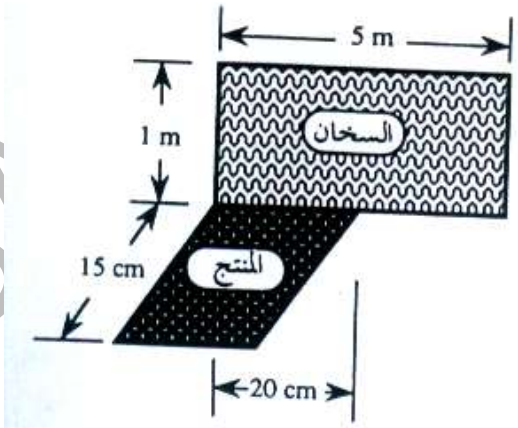
يعتمد انتقال الحرارة بالاشعاع بين سطحين على انبعاثية السطح المشع وعلى امتصاصية السطح نفسه ويحسب معدل انتقال الحرارة بالاشعاع من المعادلة التالية:

$$q_{1-2} = \sigma\ \varepsilon_{1-2}\ A_i\ (T_{A1}^4 - T_{A2}^4)$$

$$\varepsilon_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{F_{1-2}} - \left(\frac{1}{\varepsilon_1} - 1\right) + \frac{A_1}{A_2}\left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)}$$

F_{1-2}:معامل الشكل ويتم الحصول عليه من منحنيات معاملات الشكل ، ε_{1-2}: معامل يعتمد على كل من الشكل والاشعاعية ، σ: ثابت ستيفان بولتزمان وقيمته $5.669*10^{-8}\ W/m^2.K^4$ ، T_{A1}:درجة حرارة السطح المشع (K) ، T_{A2}: درجة حرارة السطح الساقط عليه الاشعاع (K).

مثال: احسب الحرارة المنتقلة بالاشعاع التي تصل بوساطة منتج مستطيل متحرك داخل سخان اشعاعي .يكون مصدر الاشعاع في صورة حائط رأسي وهو ذو درجة حرارة ثابتة على 200 مئوي ، وكانت حركة المنتج عمودية على مصدر الاشعاع . درجة حرارة المنتج 80 مئوي وله اشعاعية 0.8 . ابعاد المنتج 15*20 سم . ابعاد مصدر الاشعاع 1*5 سم. ومعامل الشكل 0.75 .



$$\varepsilon_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{F_{1-2}} - \left(\frac{1}{\varepsilon_1} - 1\right) + \frac{A_1}{A_2}\left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)}$$

$$\varepsilon_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{0.75} - \left(\frac{1}{1} - 1\right) + \frac{5}{0.03}\left(\frac{1}{0.8} - 1\right)} = 0.0221$$

$$q_{1-2} = 5.669 \times 10^{-8}\ \times 0.0221\ \times 5\left(473^4\ - 353^4\ \right) = 216\ W$$

Dr.AS ALHILPHY