







# إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

(قل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون)

صدق الله العظيم

أهدي ثمرة جهدي المتواضع إلى أغلى الناس أُمي وأبي

إلى من منحتني الحب والأمان إلى التي أوصى بها الرحمن أُمي العزيزة حفظها الله

وأنعم عليها بالسعادة والهناء وأطال في عمرها

إلى أبي الغالي، الذي لم يبخل عليا بكل ما يملك ووهب حياته من أجلي، حفظه الله وأطال في عمره

إلى من اختارهم الله سندا لي في الحياة وقاسموني حلوها ومرها إلى شموع التي أضاءت لي مشواري

وكانوا سندا لي إلى من يشعري وجودهم بقربي أمانا إخوتي "محمد السعيد، أحمد، خديجة، عبد

الرحمان، قويدر"

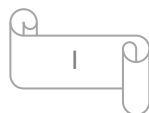
إلى من تقاسمت معهم هموم الدنيا وأفراحها إلى من عشت معهم صدق المحبة والعطاء في حياتي إلى أجمل

ما منحتني الدنيا وأعز ما أحببتهم أصدقائي

إلى التي قاسمتني هذا العمل صديقتي فطيمة

إلى من سعتهم ذاكرتي ولن تسعهم مذكري إلى كل هؤلاء أهدي ثمرة جهدي

يمينه





# إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

(قل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون)

صدق الله العظيم

إلى من وضع المولى سبحانه وتعالى الجنة تحت قدميها، ووقرها في كتابه العزيز، إلى من يرتعش قلبي وتبكي عيناى لذكرها، إلى الشمعة التي ذابت في كبرياء لتنير كل خطوة في دربي، لتندلل كل عائق أمامي، إلى من غمرتني بحبها وحنانها وعطفها، إلى من حبها ينبض في قلبي وصورتها لا تفارق خيالي، إلى روح أمي الغالية رحمها الله. (سليمة)

إلى من علمني كيف يحيا الإنسان بعزه كرمه، إلى رمز الرجولة والتضحية، إلى روح أبي الطاهرة الزكية، حفظه الله ورعاه وأطال في عمره. (علي)

إلى الذين كنت معهم وكانوا معي على طريق الحق والخير والنجاح، والذين عشت معهم أجمل لحظات حياتي ويسكنون قلبي اخوتي الأعزاء.

(سمية، كريمة، محمد أسامة، هناء، طواف، أسماء، رحيل)

إلى من هم أقرب إلي من روحي، إلى من تحملوا الكثير من أجلنا، إلى الأيادي الطاهرة، التي أزلت من أمامنا أشواك الطريق، ورسمت لنا المستقبل بخيوط من الأمل والثقة، إلى قدوتي ومثلي الأعلى.

(جدي، جدتي، أخوالي، خالاتي)

إلى زوجة أبي التي احتلت مكان أمي، التي ستواصل مشوارها معنا بمزيد من الحب والحنان. (منيرة)

إلى ملاكي في الحياة، إلى معنى الحب والحنان، ورفيق دربي في الحياة (خالد)

إلى من جمع مجموعة من الأوراق المبعثرة في شكل مذكرة الأستاذ الفاضل (تخة محمد)

إلى صديقتي العزيزتين اللتان تمنيتا التوفيق لي وساندوني في طيلة مشواري الجامعي (سماح، يمينة)

إلى كل من علمني حرفا، وأخذ بيدي في سبيل تحصيل العلم والمعرفة، وكل من تمنى لنا النجاح، أهديكم عملي هذا بكل فخر واعتزاز.

(فطيمة)

# كلمة شكر

نشكر الله ونحمده حمدا كثيرا مباركا على هذه النعمة الطيبة والنافعة نعمة العلم والبصيرة.

لا بد لنا ونحن نخطو خطواتنا الأخيرة في الحياة الجامعية من وقفة نعود إلى أعوام قضيناها في رحاب الجامعة مع أساتذتنا الكرام الذين قدموا لنا الكثير باذلين بذلك جهودا كبيرة في بناء جيل الغد لتبعث الأمة من جديد

...

كن عالما .. فإن لم تستطع فكن متعلما ، فإن لم تستطع فأحب العلماء ، فإن لم تستطع فلا تبغضهم"  
وقبل أن نمضي نقدم أسمى آيات الشكر الجزيل والامتنان والثناء الخالص والتقدير، إلى نبع العون إلى من وجهنا دون وهن إلى أستاذنا الفاضل المشرف محمد تخة الذي نقول له بُشْرَاك قول رسول الله صلى الله عليه وسلم:

إن الحوت في البحر ، والطير في السماء ، ليصلون على مُعَلِّمِ الناس الخير"  
كما يشرفنا أن نتقدم بالشكر الجزيل إلى الذين حملوا أقدس رسالة في الحياة إلى الذين مهدوا لنا طريق العلم ..... إلى جميع أساتذتنا الأفاضل

ونخص بالذكر الأستاذ الزين عبد الله و الأستاذ محسن حسين

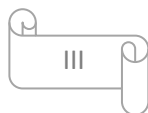
اللذين قبلا الإشراف على تقييم هذا العمل

وكذلك نشكر كل من ساعد على إتمام هذا البحث وقدم لنا العون ومد لنا يد المساعدة وزودنا بالمعلومات اللازمة لإتمام هذا البحث .

إلى من زرعوا التفاؤل في دربنا وقدموا لنا المساعدات والتسهيلات والأفكار والمعلومات فلهم منا كل

الشكر

YAMINAET FATMA



## فهرس العناوین

I	إهداء.....
III	تشكرات.....
IV	فهرس العناوین.....
VII	فهرس الأشكال.....
X	قائمة الرموز والمصطلحات.....
XIII	المقدمة.....

### الفصل الأول: عمومیات فی انتقال الحرارة وترمودینامیک

3	(1-I) تمهید.....
3	(2-I) الحرارة.....
3	(3-I) العمل الميكانيكي.....
4	(4-I) أنماط انتقال الحرارة.....
4	(1-4-I) التوصيل الحراري.....
5	(I-4-2) الحمل الحراري.....
5	(I-4-3) الاشعاع الحراري.....
6	(5-I) أنواع المبدلات الحرارية.....
6	(1-5-I) المبدل الحراري الأنبوي البسيط.....
8	(2-5-I) المبدل الحراري الصفائحي.....
10	(3-5-I) المبدل الحراري غلاف مع الانابيب.....
12	(4-5-I) المبدل الحراري بوعاء مغطاة مع ملف أو مخفاق.....
13	(6-I) أنواع الدورات الحرارية القياسية.....
14	(1-6-I) دورة كارنو Carnot.....
15	(2-6-I) دورة رانكن Rankine.....
17	(3-6-I) دورة أوتو OTTO.....
17	(4-6-I) دورة ديزل Dizil.....
18	(5-6-I) دورة برايتون Brayton.....
19	(6-6-I) دورة سترلينغ Strlingh.....
20	(7-6-I) دورة اريكسون Ericsson.....



## الفصل الثاني: الدراسة النظرية لظاهرة التكثيف

23	تمهيد.....
23	(1-II) التكثيف النقطي والتكثيف الغشائي.....
25	(2-II) التطبيقات العملية لظاهرة التكثيف.....
27	(3-II) التكثيف على السطوح الباردة.....
29	(4-II) التكثيف على السطوح الشاقولية.....
35	(5-II) التكثيف على سطح مائل.....
36	(6-II) التكثيف على الأسطح الأفقية.....
41	(7-II) الدراسة التحليلية لعملية التكثيف على أنبوب شاقولي.....
46	(8-II) المقارنة بين التكثيف على سطوح الأفقية والشاقولية.....
48	(9-II) التكثيف داخل الأنابيب.....
51	(10-II) الأبخرة المفردة (بخار مركب وخليط ثابت الغليان).....

## الفصل الثالث: عتاد التبريد في محطات توليد الطاقة

56	(1-III) تمهيد.....
56	(2-III) برج التبريد.....
56	(3-III) تبريد المكثفات بالماء و الهواء.....
58	(4-III) مشكل تحلية مياه التبريد (بحر، نهر).....
58	(1-4-III) مقدمة عن محطة تحلية مياه البحر.....
59	(5-III) التلويث المائي والجوي.....
59	(1-5-III) التلوث الجوي.....
60	(2-5-III) التلوث المائي.....
60	(6-III) مشكل التآكل في المعدات.....
61	(7-III) مشكل الأخطار الطبيعية.....



## الفصل الرابع: الدراسة التجريبية لظاهرة التكثيف

67	.....تمهيد (1-IV)
67	.....الأجهزة المستعملة في التجارب الخاصة بالتكثيف (2-IV)
67	.....الهدف من التجربة (3-IV)
68	.....مبدأ العمل (4-IV)
73	.....الإجراءات المتبعة في التجربة (5-IV)
74	.....تحليل النتائج (6-IV)
82	.....النتائج (7-IV)
86	.....الخاتمة
89	.....الملاحق
104	.....المراجع

## فهرس الأشكال

### الفصل الأول: عموميات في انتقال الحراري والتيرموديناميك

6	..... المبدل الحراري الأنبوبي البسيط	الشكل (1-1)
7	..... مبدأ عمل المبدل الحراري الأنبوبي البسيط	الشكل (2-1)
8	..... المبدل الحراري الصفائحي	الشكل (3-1)
9	..... مبدأ عمل المبدل الحراري الصفائحي	الشكل (4-1)
9	..... التركيبة الداخلية للمبدل الحراري الصفائحي	الشكل (5-1)
10	..... المبدل الحراري غلاف مع أنابيب	الشكل (6-1)
11	..... مبدأ عمل المبدل الحراري غلاف مع أنابيب	الشكل (7-1)
12	..... المبدل الحراري بوعاء مغطى مع ملف أو مخفاق	الشكل (8-1)
13	..... مبدأ عمل المبدل الحراري بوعاء مغطى مع ملف أو مخفاق	الشكل (9-1)
14	..... دورة كارنو	الشكل (10-1)
15	..... مخطط فيزيائي للأجهزة الأربعة المستعملة في دورة رانكن	الشكل (11-1)
16	..... مخطط درجة الحرارة الأنتروبي لدورة رانكن	الشكل (12-1)
18	..... تمثيل ميكانيكي لدورة برايتون المغلقة	الشكل (13-1)

## الفصل الثاني : الدراسة النظرية لظاهرة التكتيف

- 26 ..... عمود التقطير وملحقاته..... الشكل (1-2)
- 27 ..... التكتيف الغشائي فوق سطح شاقولي..... الشكل (2-2)
- 27 ..... أنواع التكتيف مصنفة حسب التلامس بين البخار والمنطقة الباردة..... الشكل (3-2)
- 30 ..... سريان التكتيف الغشائي على سطح شاقولي..... الشكل (4-2)
- 35 ..... غشاء على أنبوب أفقية..... الشكل (5-2)
- 36 ..... غشاء على سطح مائل..... الشكل (6-2)
- 37 ..... غشاء على أنبوب أفقية..... الشكل (7-2)
- 40 ..... سمك غشاء التكتيف ومعامل انتقال الحرارة حول أنبوب أفقي..... الشكل (8-2)
- 40 ..... التدفق الرقائقي والانتقالي والمضطرب..... الشكل (9-2)
- 41 ..... مقطع أفقي لغشاء شاقولي متساقط حول أنبوب شاقولي..... الشكل (10-2)
- 42 ..... غشاء شاقولي متساقط حول أشكال مختلفة لأنابيب أفقية..... الشكل (11-2)
- 46 ..... معاملات التكتيف الخاصة بحل المعادلة..... الشكل (12-2)
- 48 ..... مكثف ذو مرجع بالجاذبية (أفقي)..... الشكل (13-2)
- 48 ..... مكثف ذو مرجع بالجاذبية (شاقولي)..... الشكل (14-2)
- 50 ..... منحني شبه تجريبي للتكتيف باستخدام الأنابيب الشاقولية..... الشكل (15-2)
- 51 ..... : التكتيف داخل أنابيب مكثف شاقولي..... الشكل (16-2)
- 52 ..... حزام البخار..... الشكل (17-2)
- 52 ..... الفوهة المفلجة..... الشكل (18-2)
- 53 ..... سريان للأعلى وللأسفل داخل اسطوانة..... الشكل (19-2)

## الفصل الرابع: الدراسة التجريبية لظاهرة التكتيف

67	وحدة التبخير والتكتيف ووحدة قياس والتحكم لجهاز TE78.....	الشكل (1-4)
68	الطبقة القشرية للماء .....	الشكل (2-4)
68	المظهر الجانبي للسرعة ودرجة الحرارة .....	الشكل (3-4)
69	مظهر حقيقي للطبقة القشرية للماء السائل .....	الشكل (4-4)
69	مظهر طولي في العينة الاسطوانية .....	الشكل (5-4)
71	تغير الكتلة الحجمية بدلالة درجة الحرارة المتوسطة لماء التبريد.....	الشكل (6-4)
72	تغير السعة الحرارية بدلالة درجة الحرارة المتوسطة لماء التبريد .....	الشكل (7-4)
73	تغير التوصيلية الحرارية بدلالة درجة حرارة شريط التكتيف .....	الشكل (8-4)
74	تغيرات Nusslet بدلالة درجة الحرارة ( $T_{film}$ ) الخاص بالذهب .....	الشكل (9-4)
75	تغيرات Nusslet بدلالة درجة الحرارة ( $T_{film}$ ) الخاص بالنحاس .....	الشكل (10-4)
76	تغيرات Nusslet بدلالة درجة الحرارة ( $T_s$ ) الخاص بالذهب .....	الشكل (11-4)
77	تغيرات Nusslet بدلالة درجة الحرارة ( $T_s$ ) الخاص بالنحاس .....	الشكل (12-4)
78	تغيرات $Ln(h)$ بدلالة ( $Ln(x)$ ) الخاص بالذهب .....	الشكل (13-4)
79	تغيرات $Ln(h)$ بدلالة ( $Ln(x)$ ) الخاص بالنحاس .....	الشكل (14-4)
80	تغيرات $Ln(Nu)$ بدلالة $Ln(Re)$ الخاص بالذهب .....	الشكل (15-4)
81	تغيرات $Ln(Nu)$ بدلالة $Ln(Re)$ الخاص بالنحاس .....	الشكل (16-4)



## قائمة الرموز والاصطلاحات

الرموز	الاصطلاحات (الرموز اللاتينية)	الوحدة
$A$	المساحة.....	$m^2$
$C_l$	الحرارة النوعية للسائل.....	$J / Kg. ^\circ C$
$C_v$	الحرارة النوعية للبخار.....	$J / Kg. ^\circ C$
$C_f$	الحرارة النوعية للمائع.....	$J / Kg. ^\circ C$
$C_{sf}$	معامل بين السطح والمائع.....	$J / Kg. ^\circ C$
$D_0$	القطر الخارجي لأنبوب.....	$M$
$d$	قطر قطرة السائل.....	$M$
$g$	تسارع الجاذبية.....	$m / s^2$
$h$	معامل الانتقال الحمل الحراري.....	$W/m^2 . K$
$h_c$	معامل الانتقال الحراري للحمل.....	$W/m^2 . K$
$h_r$	معامل الانتقال الحراري بالإشعاع.....	$W/m^2 . K^4$
$K_f$	معامل التوصيل للمائع.....	$W/m . K$
$K_l$	معامل التوصيل للسائل.....	$W/m . K$
$K_v$	معامل التوصيل للبخار.....	$W/m . K$
$Q_m$	تدفق كتلي.....	$kg/ s$
$Q_v$	تدفق حجمي.....	$m^3/ s$
$q$	التيار الحراري.....	$W$
$P_v$	ضغط البخار.....	$Pa$
$Q_t$	معدل انتقال الحرارة الكلي.....	$W$
$P_f$	ضغط المائع.....	$Pa$
$P_l$	ضغط السائل.....	$Pa$
$P_v$	ضغط البخار.....	$Pa$
$Ra$	رقم رايلي (RAYLEIGH) لانتقال الحرارة بالحمل الحر.....	-
$t$	الزمن.....	$S$
$T$	درجة الحرارة.....	$^\circ C$
$T_l$	درجة حرارة السائل.....	$^\circ C$
$T_v$	درجة حرارة البخار.....	$^\circ C$

°C	..... درجة الحرارة المتوسطة للشريط.	$T_f$
°C	..... درجة حرارة السطح.	$T_s$
m/s	..... المركبة العمودية لسرعة الارتطام.	$V$
الرموز الإغريقية		
$m^2/s$	..... الانتشارية الحرارية للمائع.	$\alpha$
Mol	..... معامل التمدد الحراري.	$\beta$
M	..... سمك غشاء التكتيف.	$\delta$
J	..... حرارة التبخر.	$\lambda$
$N \cdot s/m^2$	..... اللزوجة التحريكية للمائع.	$\mu$
$m^2/s$	..... اللزوجة الحركية للمائع.	$\nu$
$Kg/m^3$	..... الكتلة الحجمية للسائل المشبع.	$\rho_l$
$Kg/m^3$	..... الكتلة الحجمية للبخار المشبع.	$\rho_v$
$Kg/m^3$	..... كثافة البخار عند درجة حرارة الغشاء.	$\rho_{vf}$
N/m	..... الشد السطحي.	$\sigma$
Pa	..... إجهاد القص.	$T$
-	..... معامل إشعاعية السطح.	$E$

مقدمة

## مقدمة

توجد المادة في الطبيعة على هيئة بخار وسائل وصلب، ويقصد بالمائع أحد الطورين بخار أو سائل، وكثيرا ما يحدث له عملية تغير الطور حيث يتم انتقال الحرارة بالحمل عند ملامسة المائع لسطح صلب شرط اختلافهما في درجة الحرارة، ففي حالة تحول المائع من الطور السائل إلى الطور البخاري تسمى هذه العملية بالتبخر، وفي حالة تحول المائع من الطور البخاري إلى سائل تسمى هذه العملية بالإسالة. ويوجد من بين الظواهر التي تحدث للمائع ظاهرة التقطير المصاحبة لعملية الإسالة اللذان يشكلان معا ظاهرة مركبة والتي تسمى بالتكثيف، من هنا يمكن القول أن عملية التكثيف عبارة عن عمليتين، عملية حرارية تتمثل في الإسالة وعملية ميكانيكية تتمثل في التقطير. ومن الجدير بالذكر التفريق بين مصطلحي التكثيف والتكثف حيث أن التكثف عملية حرارية لتغير الطور من البخاري إلى الصلب ويسمى في بعض المراجع بالتكاثف، أما التكثيف فهو كما سبق ذكره على أنه عملية مركبة ومعقدة.

ويتمثل الهدف الأساسي من هذا البحث في إبراز أهمية ظاهرة التكثيف في إنتاج الطاقة الكهربائية عن طريق المبدلات الحرارية (والتي تسمى بالمكثفات) وذلك باستنباط العلاقات في المراجع ومقارنتها ببعضها البعض وإجراء تجاريفي ظاهرة التكثيف، وأهم تحليل هو نمذجة المقادير الفيزيائية  $h$  و  $Nu$ ، وأهم دراسة أنجزت في هذا البحث هي النمذجة شبه التجريبية للعلاقات الرابطة بين المقادير الفيزيائية، وذلك من أجل تسهيل دراسة ظاهرة التكثيف نظريا، وتطبيق الظاهرة ميدانيا في أجهزة التكثيف المرتبطة بأجهزة أخرى في محطات توليد الطاقة بالبخار، وكان لا بد من معرفة العلاقات النظرية للمقادير الفيزيائية الداخلة في ظاهرة التكثيف، وهذه العلاقات تسمى نماذج شبه تجريبية للمقادير الفيزيائية، ومن أهم المقادير نجد الأرقام اللابعديّة مثل  $Nusselt$  بدلالة  $Reynolds$  أو بدلالة درجات الحرارة  $T_{film}$  أو  $T_s$ ، وكذلك يمكن استنباط نماذج لمعامل الانتقال الحراري  $h$  بدلالة  $Reynolds$  أو بدلالة درجات الحرارة  $T_{film}$  أو  $T_s$ .

و يحتوي هذا البحث إجمالا على أربعة فصول حيث نتطرق في الفصل الأول إلى دراسة بعض المفاهيم العامة كأنماط انتقال الحرارة (انتقال الحرارة بالحمل، بالتوصيل، بالإشعاع) والتيرموديناميك (أنواع المبدلات الحرارية)، كما تم التطرق إلى أنواع الدورات الحرارية القياسية (المضخات الحرارية، المحركات الحرارية)، أما في الفصل الثاني فالدراسة كانت من الجانب النظري لظاهرة التكثيف، وكذلك تمت دراسة مختلف العلاقات الخاصة بالظواهر الفيزيائية الداخلة في عملية التكثيف (انتقال الحرارة، انتقال الكتلة، تغير الطور، نظرية  $Nusselt$  الخاصة بالتكثيف، أنواع التكثيف، أنواع المكثفات



والمقارنة بينها ...)، وفي الفصل الثالث تتم دراسة عتاد التبريد في محطات توليد الطاقة، ومنه يمكن دراسة بعض المشاكل التي تحدث للمكثفات أثناء عملية التكثيف (التركيب الأساسي لمحطة التبريد، التلويث، التآكل...)، وأخيرا الفصل الرابع به دراسة تجريبية لظاهرة التكثيف حيث تمت مقارنة عينتين من الأسطح الصلبة الباردة، العينة الأولى مطلية بالذهب و الثانية مطلية بالنحاس، وذلك من أجل مقارنة ما يحدث من اختلاف في ظاهرة التكثيف من حيث النمط الذي يعتمد على طبيعة السطح المكثف، ومناقشة النتائج المحصل عليها من خلال التجارب وفي الأخير الخروج بخلاصة عامة.

# الفصل الأول

## عموميات في انتقال الحرارة و ترموديناميك

يحتوي هذا الفصل على عموميات خاصة بالظواهر الفيزيائية الداخلة في عملية التكثيف والتمثلة في :

- 1-I تمهيد.
- 2-I الحرارة.
- 3-I العمل الميكانيكي.
- 4-I أنماط انتقال الحرارة.
- 5-I أنواع المبدلات الحرارية.
- 6-I أنواع الدورات الحرارية القياسية.

### 1-1 تمهيد:

إن علم الديناميكا الحرارية يدرس العلاقة بين العمل والحرارة وتبادلها بين الجسم. سندرس في هذا الفصل العمل والحرارة ومن الضروري لدراسة الديناميكا الحرارية أن نفهم بوضوح تعريفات كل من العمل والحرارة حيث أن التحليل الصحيح لكثير من مسائل الديناميكا الحرارية يتوقف على التمييز بينهما، وندرس أيضا المبدلات الحرارية بأنواعها ودورات الهواء القياسية.

### 2-I الحرارة:

يختلف تعريف الحرارة في الديناميكية نوعا ما عن الاستعمال اليومي للكلمة ولذا فمن الضروري إن نفهم بوضوح تعريف الحرارة المعطى هنا لان الحرارة ترد في كثير من مسائل الديناميكية الحرارية

إذا وضعت كتله من النحاس الساخن في كأس بها ماء بارد فإننا نعلم بالتجربة إن النحاس يبرد وان الماء يسخن حتى يصبحا في درجة حرارة واحده

ما الذي سبب انخفاض درجة حرارة النحاس وارتفاع درجة حرارة الماء؟ إننا نقول إن ذلك قد حدث بسبب انتقال الطاقة من كتله النحاس إلى الماء ومن هذا الانتقال الطاقة نصل إلى تعريف الحرارة

تعرف الحرارة بأنها صوره الطاقة التي تعبر الحدود منظومة في درجة حرارة معينه إلى منظومة أخرى في درجة حرارة اقل الفعل فرق درجتي الحرارة بين المنظومتين أي أن الحرارة تنتقل من المنظومة التي في درجة حرارة أعلى إلى المنظومة التي هي في درجة حرارة اقل وان انتقال حرارة يحدث فقط لان هناك فرق في درجتي الحرارة بين المنظومتين.

ووجهة أخرى لهذا التعريف للحرارة أن الجسم لا يمكن أن يحتوي حرارة ولكن الحرارة تعين فقط عند عبورها المنظومة وعلى هذا فإن الحرارة ظاهرة عابرة فإذا اعتبرنا كتلة النحاس منظومة والماء البارد في الكأس منظومة أخرى فإننا ندرك أن أيا من المنظومتين لا تحوي حرارة عند بداية الإجراء ولكنهما بالطبع يحويان طاقة عند وضع النحاس في الماء وحدود الاتصال الحراري فإن الحرارة تنتقل من النحاس إلى الماء إلى أن يحدث الاتزان في درجة الحرارة وعند هذه النقطة لا يستمر انتقال الحرارة نظرا لعدم وجود فرق بين درجتي الحرارة عند نهاية الإجراء لا تحوي أي منظومة منهما أي حرارة يتبع ذلك أيضا أن الحرارة تعين عند حدوث المنظومة إذ أن الحرارة تعرف لأنها طاقة تنتقل عبر حدود المنظومة.

### 3-I العمل الميكانيكي:

يعرف العمل عادة بأنه القوة  $F$  تؤثر خلال إزاحة  $x$  بحيث تكون الإزاحة في اتجاه القوة أي أن

$$W = \int F \cdot dx$$



وهذه العلاقة مفيدة جدا حيث أنها تمكننا من إيجاد العمل اللازم لرفع ثقل ولشد سلك أو لتحريك جسيم مشحون خلال مجال مغناطيسي.

ونظرا لأننا نعالج الديناميكا الحرارية من وجهة النظر الكلية فإن من المناسب أن نربط تعريفنا للعمل بمفهوما عن المنظومات والخواص الإجراءات. وعلى ذلك نعرف العمل كما يلي:

تبدل المنظومة عملا إذ كان التأثير الوحيد في المحيط (الذي هو كل شيء خارج المنظومة) يمكن أن يكون رفع ثقل. لاحظ أن رفع ثقل هو في الواقع قوة تعمل خلال مسافة لاحظ كذلك أن تعريفنا لا يعني أن الثقل قد رفع فعلا، أو أن قوة أثرت في الحقيقة خلال مسافة معينة، بل إن التعريف يقول إن التأثير الوحيد فيما هو خارج المنظومة يمكن أن يكون رفع ثقل. ويعتبر العمل الذي تبدله المنظومة موجبا أما العمل المبذول على المنظومة فيعتبر سالبا وسيستخدم الحرف  $W$  ليرمز للعمل المبذول بواسطة المنظومة

وعلى العموم فستحدث عن العمل كطاقة، ولن نحاول تعريف الطاقة تعريفا محكما، حيث أنها مفهوم مألوف، وسوف يستعمل تعريف الطاقة بالطريقة المناسبة لكل حالة، وسنعين الصور المختلفة للطاقة. والعمل هو صورة الطاقة التي تحقق التعريف المعطى.

### I-4) أنماط انتقال الحرارة:

تنتقل الحرارة بثلاث طرق، التوصيل الحراري، الحمل الحراري، والإشعاع الحراري، وفيما يلي بعض الطرق الموجزة عن طرق النقل الثلاث:

#### I-4-1) التوصيل الحراري

يقصد بالتوصيل الحراري انتقال الحرارة عبر الأجسام الصلبة نتيجة اهتزاز وحركة الذرات والجزيئات في جسم ما ؛ مما يؤدي إلى نقل جزء من طاقتها الحرارية إلى الذرات والجزيئات المجاورة لها ، ويمكن توضيح ذلك بما يحدث عند تسخين طرف قضيب معدني ، فتكتسب الذرات المتكونة له طاقة تمكنها من الاهتزاز ونقل طاقتها للذرات القريبة منها ، والتي بدورها تكتسب طاقة تهتز وتنقل طاقتها للذرات المجاورة لها ، وهكذا إلى أن يفقد الطرف الساخن جزءا من حرارته، ويتلاشى الفرق في درجة حرارة أجزاء القضيب بمرور الوقت ويقترّب من حالة التوازن الحراري

تعتمد قدرة المواد على نقل الحرارة على درجة توصيلها للحرارة أو ما يسمى الحرارية الناقلية أو التوصيلية الحرارية، فكلما ازدادت الناقلية الحرارية للمادة ازدادت كفاءتها في التوصيل الحراري، وتعد المعادن من المواد ذات التوصيل الحراري العالي، ويتناسب التوصيل الحراري فيها طرديا مع التوصيل الكهربائي توصيله الكهربائي ضعيف، ومن الجدير بالذكر أن قيم الناقلية الحرارية للمواد تكون شديدة الأهمية في مجال إنشاء المباني المعزولة حراريا

### I-4-2) الحمل الحراري :

هو وسيلة انتقال الحرارة والكتلة في آن واحد في الموائع (السوائل و الغازات)؛ نتيجة اختلاف درجة حرارة المادة وكثافتها ،ومن الأمثلة المعروفة على تيارات الحمل الحراري ما يحدث عند تسخين الماء في وعاء على موقد ، فعندما يسخن الماء القريب من مصدر الحرارة يكتسب طاقة حركية وتقل كثافته فيرتفع لسطح الوعاء ، وعند السطح يبرد الماء قليلا نتيجة التبخر فتتنزل بعض جزيئات الماء للأسفل ، وتتكرر العملية حتى يسخن الماء كله ، ويوجد نوعان من أشكال الحمل الحراري هما:

### I-4-2-1) الحمل الحراري الحر (الطبيعي):

وهي تيارات الحمل التي تنشأ عن قوة طفو السوائل نتيجة اختلاف درجة حرارتها واختلاف كثافتها بدون تدخل قوة خارجية

### I-4-2-2) الحمل القسري:

وفيه تنتقل دقائق السائل نتيجة وجود تيارات قسرية تولدها قوى خارجية أو أجهزة ، مثل المراوح والمضخات ، كما يحدث عند تسخين الطعام في فرن مزود بمروحة تعمل على نقل الهواء الساخن بشكل أسرع مما قد يحدث بشكل طبيعي نتيجة التسخين بدون وجود المروحة

### I-4-3) الإشعاع الحراري :

يعرف الإشعاع الحراري بأنه طريقة انتقال الطاقة الحرارية على شكل إشعاع كهرومغناطيسي ينتقل بسرعة الضوء في جميع الاتجاهات دون الحاجة إلى وجود وسط مادي لحمله، ومن الأمثلة عليه انتقال حرارة الشمس إلى الأرض. يتراوح الطول الموجي للإشعاع الحراري ما بين الطول الموجي الأكبر وهو الطول الموجي للأشعة تحت الحمراء، إلى الطول الموجي الأقصر للأشعة فوق البنفسجية مرورا بالضوء المرئي الذي يقع بينهما، وتعتمد كمية الطاقة التي يحملها الإشعاع على طبيعة السطح الباعث للأشعة ودرجة حرارته. من الأمثلة على انتقال الحرارة بالإشعاع تدفئة المنزل بموقد مفتوح، إذ تتولد من الطوب الساخن والفحم واللهب إشعاعات حرارية تنتقل مباشرة إلى الأجسام في الغرفة، ولا يمتص الهواء إلا القليل من الحرارة.

5-I) أنواع المبدلات الحرارية:

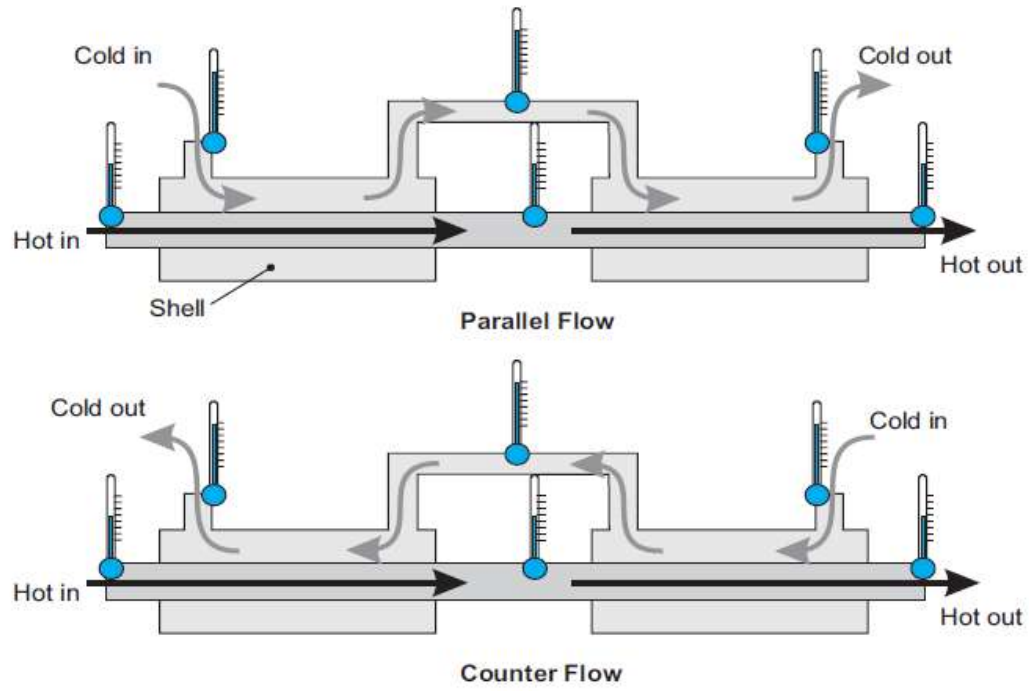
1-5-I) المبدل الحراري الأنبوبي البسيط (أنبوبين لهما نفس المحور):

- ويحوي أنبوبين لهما نفس المحور، كل أنبوب مزود بثلاث مزدوجات حرارية.
- الأنبوب الداخلي يحمل الماء الساخن، والخارجي يحمل البارد.
- طريقة ربط الأنابيب هي التي تحدد إذا كان التيار متوازيا (parallel flow) أو متعاكس (counter-flow).



الشكل (1-1): المبدل الحراري الأنبوبي البسيط

the Concentric Tube Heat Exchanger (TD360a)



الشكل (2-1): مبدأ عمل المبدل الحراري الأنبوبي البسيط



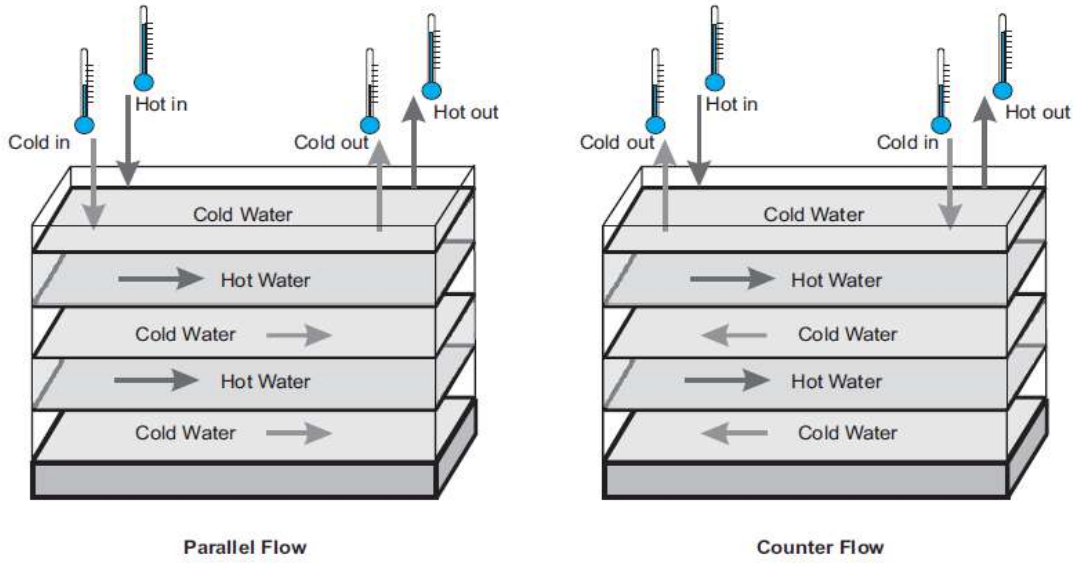
I-5-2) المبدل الحراري الصفائحي (صفائح فوق بعضها):

- يحوي صفائح موضوعة فوق بعضها البعض بين كل طبقة و طبقة هناك نوع من الماء إما ساخن أو بارد بالتناوب.
- الفتحات الأربعة تمثل المداخل والمخارج الخاصة بالساخن و البارد، وموصولة بطريقة تجعل النوعين لا يختلطان.
- كل فتحة hole مدعمة بجواشي gaskets لجعل كل نوع يسري في الفراغ المخصص له.
- طريقة ربط الأنابيب هي التي تحدد إذا كان التيار متوازي (parallel flow) أو متعاكس (counter-flow).
- أخترع من طرف العالم Richard Seligman سنة 1923.



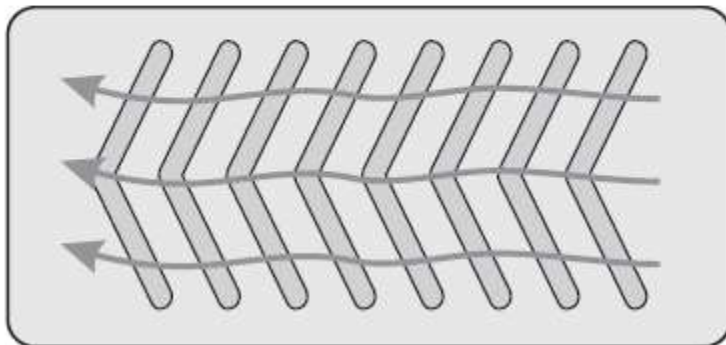
الشكل (3-1): المبدل الحراري الصفائحي

the Plate HeatExchanger (TD360b)

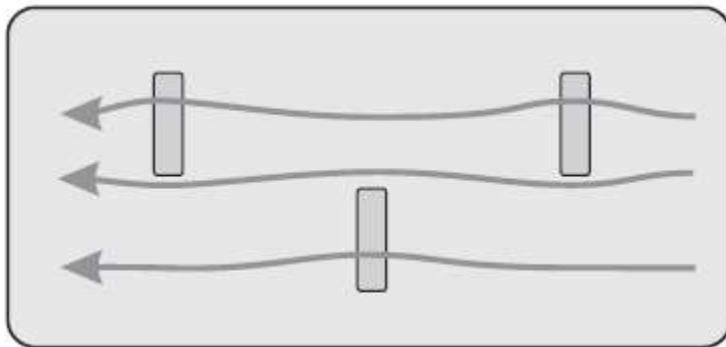


الشكل (4-1): مبدأ عمل المبادل الحراري الصفائحي

- في كل فراغ بيني يمكن جعل المائع يتعرض لعدة عوائق لتجعل التبادل الحراري فعال من بينها التالي :



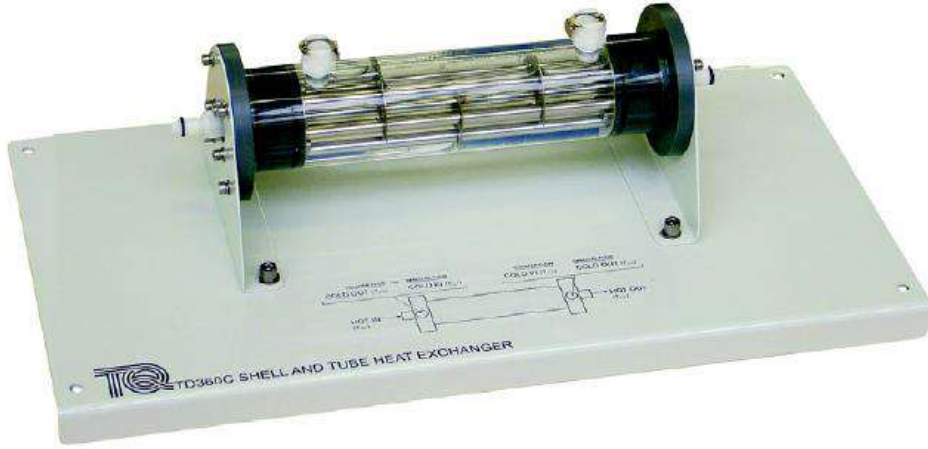
Commercial plates with 'chevron' style indentations



TQ's plates with flow disturbers

الشكل (5-1): التركيبة الداخلية للمبادل الحراري الصفائحي.

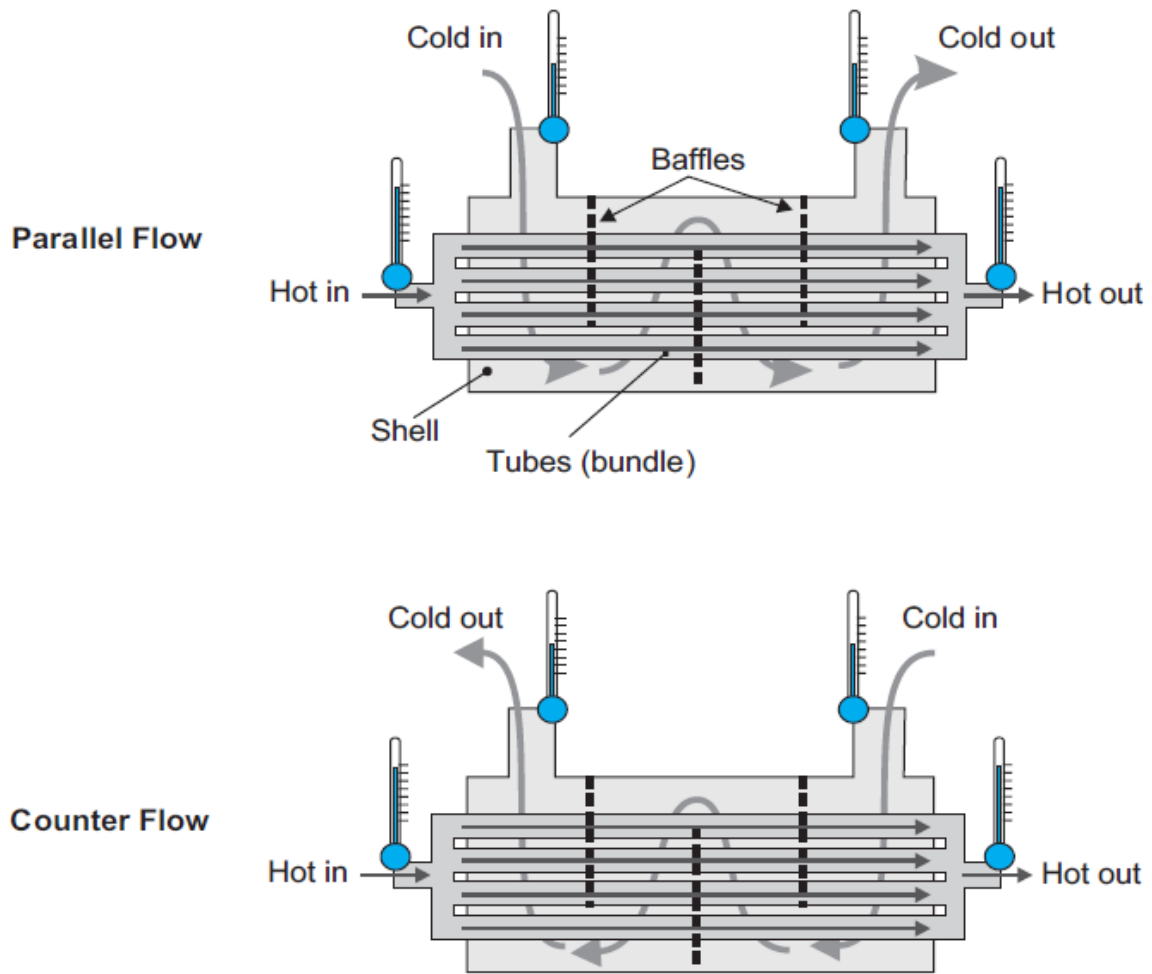
3-5-I المبدل الحراري غلاف مع أنابيب:



الشكل (6-1): المبدل الحراري غلاف مع أنابيب

theThe Shell and Tube Heat Exchanger (TD360c)

- يحوي غلاف زجاجي (في المبدلات التي تشتغل في المصانع يكونخديد) على شكل صدفه تحوي داخلها أنابيب متوازية.
- الأنابيب المتوازية مربوطة بغرفتين (في الشكل بالأسود) واحدة للمدخل والأخرى للمخرج.
- الأنابيب المتوازية تحمل المائع الساخن.
- بين الصدفه والأنابيب المتوازية فراغ يحمل المائع البارد.
- يمر المائع البارد عبر مدخل ومخرج موجهين للأعلى (في المبدلات التي تشتغل في المصانع يكون المدخل في الأسفل).
- يتعرض المائع البارد لعوائق على شكل صفائح نصف دائرية موزعة بالتناوب (أعلى أسفل).
- طريقة ربط الأنابيب هي التي تحدد إذا كان التيار متوازيا (parallel flow) أو متعاكس (counter-flow).



الشكل (7-1): مبدأ عمل المبادل الحراري غلاف مع أنابيب

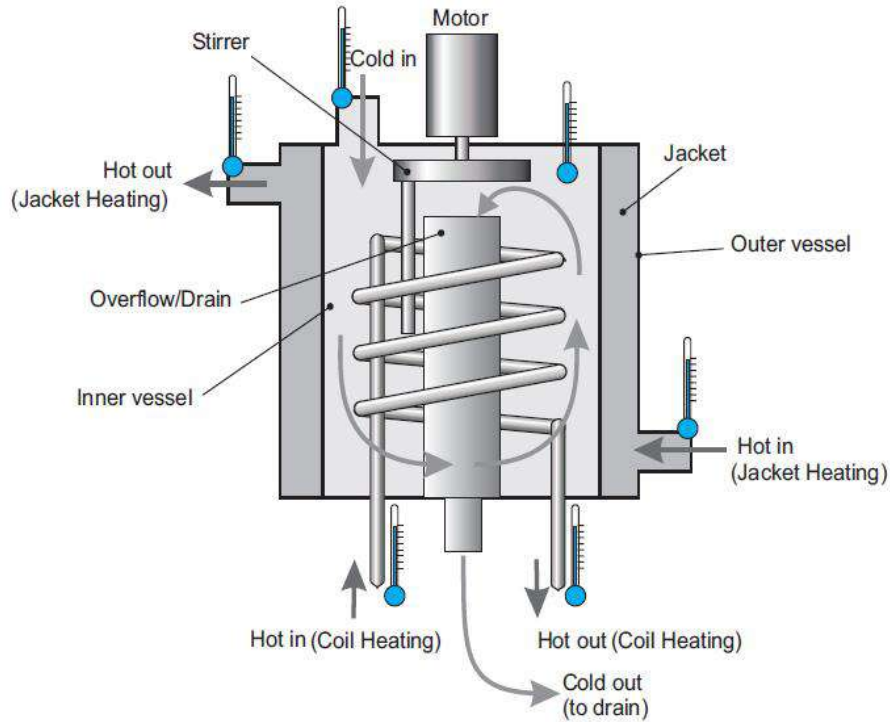
I-5-4) المبدل الحراري بوعاء مغطى مع ملف أو مخفاق:

- وهو يستخدم في الصناعة كغيره من المبدلات.
- وهو عبارة عن وعاء داخل وعاء، الأولى وعاء به المائع البارد في الوسط والثاني غلاف به المائع الساخن.
- المائع الساخن ينتقل من المدخل في الأسفل إلى مخرج في أعلى الغلاف Jacketed.
- المائع البارد يدخل في حافة الوعاء الداخلي ومن الأعلى، أما المخرج فيكون في الوسط ومن الأسفل.
- الوعاء الداخلي مزود بطرف مربوط بمحرك يخلط Stirrer الماء البارد.
- يمكن إدخال المائع الساخن عبر ملف Coil، يدخل من الأسفل ويخرج من الأسفل حسب الشكل الموالي.
- طريقة ربط الأنابيب هي التي تحدد إذا كان المبدل يعمل بملف Coil أو يعمل بغلاف Jacketed.



الشكل (1-8): المبدل الحراري بوعاء مغطى مع ملف أو مخفاق

the Jacketed Vessel with Coil and Stirrer (TD360d)



الشكل (9-1): مبدأ عمل المبادل الحراري بوعاء مغطى مع ملف أو مخفّاق

## 6-I) أنواع الدورات الحرارية القياسية:

تستخدم كثير من أجهزة الطاقة (المحركات) مائع تشغيل يظل دائما على هيئة غاز، ومحركات المركبات ذو الأشغال بالشرارة هو مثال مألوف، وينطبق ذلك أيضا على محرك الديزل وتوربين الغاز التقليدي. في كل هذه المحركات يحدث تغير في تركيب مائع التشغيل، لأنه في أثناء الاحتراق يتغير من هواء ووقود إلى نواتج احتراق، ولهذا السبب تسمى هذه المحركات بمحركات الاحتراق الداخلي، ويقابل ذلك منشآت توليد الطاقة بالبخار التي تسمى محركات احتراق خارجي، لأن الحرارة تنتقل من نواتج الاحتراق إلى مائع التشغيل. وقد أنشأت محركات احتراق خارجي تستخدم مائع التشغيل غازي (عادة هواء) ولكن حتى الآن فتطبيقاتها محدودة للغاية ولكن تم إجراء بحوث مستفيضة استعمال مفاعل ذري مع توربين غازي وفي الوقت الحالي تلقى أنواع أخرى من محركات الاحتراق الخارجي التفاتا كبيرا في محاولة للتصدي لمشكلة تلوث الهواء الجوي.

ونظرا لان مائع التشغيل لا يتم دورة كاملة في المحرك (ولو أن المحرك يعمل في دورة ميكانيكية) فإن محرك الاحتراق الداخلي يعمل تبعا لما يسمى بالدورة المفتوحة، ولكن حتى يمكن تحليل محركات الاحتراق الداخلي فمن المستحسن إنشاء دورات مقفلة تقرب الدورات المفتوحة وأحد المداخل لهذا هو دورات الهواء القياسية والتي تتركز علاء الفروض التالية:

1- مائع التشغيل هو كتلة ثابتة من الهواء خلال الدورة كلها يكون الهواء دائما غازا مثاليا، وبذا لا يكون هناك إجراء شحن أو إجراء عادم.

2- يستبدل إجراء الاحتراق بإجراء انتقال الحرارة من مصدر خارجي.



3- تتم الدورة انتقال الحرارة للمحيط (بدلا من إجراءات العادم والدخول في المحرك الفعلي).

4- كل الإجراءات انعكاسية داخليا.

5- والفرض الإضافي في المعتاد هو أن الحرارة النوعية للهواء ثابتة.

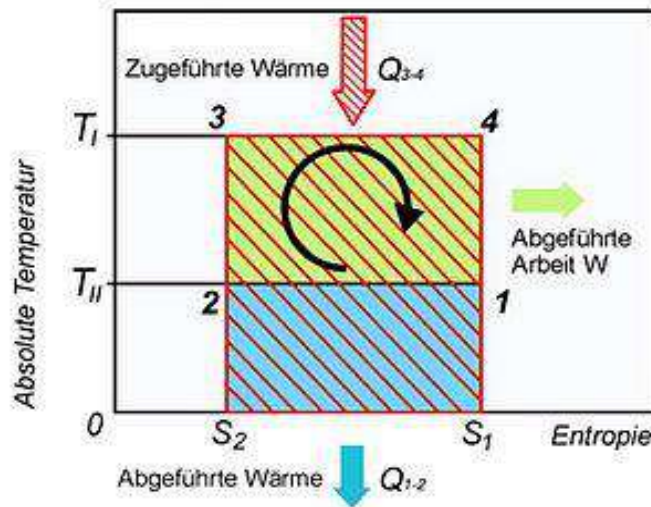
والقيمة الأساسية لدورة الهواء القياسية هي أنها تمكننا من الفحص الكيفي لعدد من المتغيرات على الأداء، إلا أن النتائج التي نحصل عليها من دورة الهواء القياسية من الكفاءة والضغط المتوسط الفعال تختلف كثيرا عن مثيلاتها في المحرك الفعلي وعلى ذلك التركيز في دراستنا لدورة الهواء القياسية سيكون أساسا على الوجهة الكيفية.

واللفظ مسمى (بالضغط المتوسط الفعال) والذي يستعمل مع المحركات الترددية يعرف بأنه الضغط الذي لو أثر في المكبس خلال كل الشوط المنتج للطاقة ينتج عملا مساويا للعمل الذي يبذل فعلا على المكبس، ويعين العمل المبذول في دورة واحدة بضرب الضغط المتوسط الفعال في مساحة المكبس) أو مساحة المكبس مطروحا منها مساحة ذراع المكبس في حالة المحركات مزدوجة التأثير) وفي طول الشوط.

### I-6-1) دورة كارنو Carnot:

وتمثل دورة كارنو دورة حرارية نظرية لها انعكاس كبير في الديناميكا الحرارية حيث أنها تعطي الحد الأقصى للحصول على الشغل من خلال دورة حرارية تعمل بين درجتين مختلفتين للحرارة. وبواسطة دورة كارنو يمكن حساب الكفاءة الحرارية لآلة معينة. أي أنها تعطينا الجزء من الحرارة الكلية التي نضخها في الآلة لنحصل منها على شغل أو عمل .

#### I-6-1-1) وصف دورة كارنو Carnot:



الشكل (10-1): دورة كارنو لتحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة حركة: المحور السيني يبين تغير الأنتروبي حيث  $S_1$  أكبر من  $S_2$  ويمثل المحور الصادي درجة الحرارة حيث  $T_I$  أكبر (احتراق داخلي) من  $T_{II}$  العادم.

### 2-1-6-1 الإجراءات :

1-2: عملية ضغط الغاز مع ثبات الحرارة  $T_{II}$ .

2-3: عملية ضغط كظومية (في انعزال حراري وبدون احتكاك).

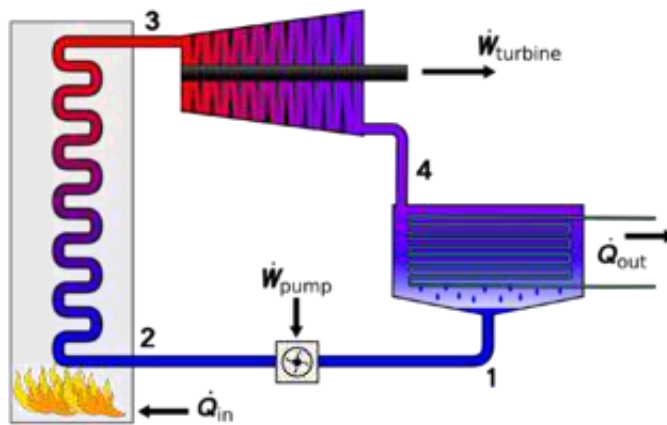
3-4: تمدد الغاز مع ثبات درجة الحرارة  $T_I$ .

4-1: تمدد كظومي بمعزل حراري وبدون احتكاك

### 2-6-1 دورة رانكن Rankine:

هي دورة وظيفتها تحويل الطاقة الحرارية إلى عمل، حيث تغذى الحرارة من مصدر خارجي إلى دورة مغلقة، والتي عادة ما تستخدم الماء تولد هذه الدورة حوالي 80% من الطاقة الكهربائية حول العالم، بما في ذلك جميع منشآت الطاقة الشمسية الحرارية الطاقة الحيوية طاقة وقود أحفوري، والطاقة النووية يعود اسمها إلى العلامة الاسكوتلاندي، ويليام رانكن تعد دورة رانكن اللبنة الأساسية في الديناميكا الحرارية المتعلقة بالمحرك البخاري.

### 1-2-6-1 وصف دورة رانكن Rankine:

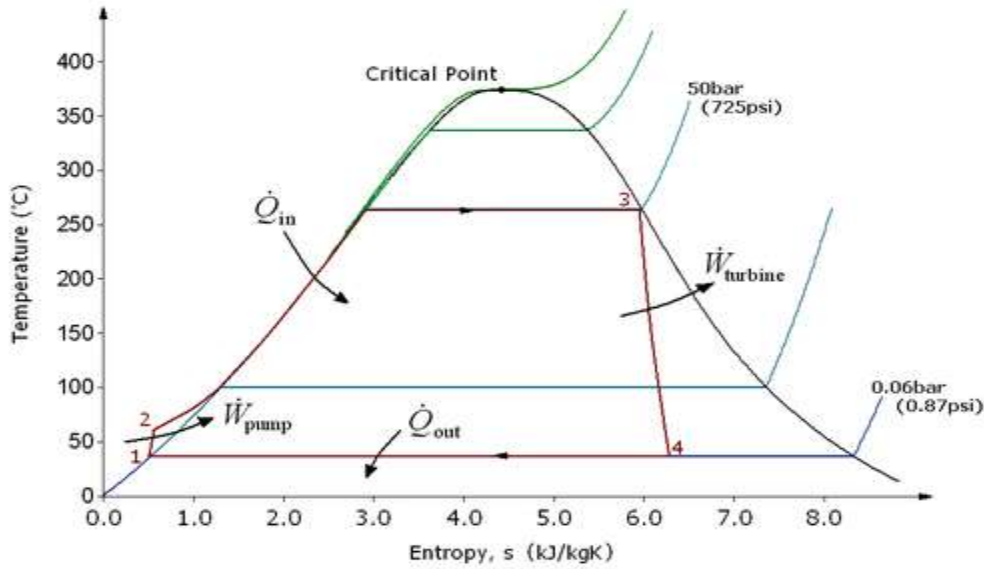


الشكل 1(11-): مخطط فيزيائي للأجهزة الأربعة المستعملة في دورة رانكن.

تشكل دورة رانكن وصفاً لنموذج محرك حراري يعمل بالبخار، يوجد ذلك المحرك البخاري عنفة غالباً في محطات توليد الطاقة. من المصادر التي تعمل بها دورة رانكن وقود الفحم، الغاز الطبيعي، النفط والانشطار النووي .

يُشارُ أحياناً لدورة رانكن بدورة كارنو التطبيقية، وذلك لأنه عند استعمال توربين عالي الكفاءة، يبدأ مخطط T-S بتشكيل دورة كارنو. يكمنُ الفرق الرئيسي بين الدورتين في أن إضافة الحرارة في الغلاية وطردها في المكثف تتم عند ثبات الضغط في دورة رانكن وعند ثبات الحرارة في دورة كارنو النظرية .

### I-6-2-2) عمليات دورة رانكن Rankine:



الشكل (12-1): مخطط درجة الحرارة والانتروبيا لدورة رانكن تعمل بين ضغطين 0.06 بار و 50 بار.

هناك 4 عمليات بدورة رانكن، هذه الحالات تم تعريفها باللون البني على خريطة T-S:

- إجراء 1-2: يتم ضخ المائع من ضغط منخفض إلى ضغط مرتفع. تحتاج المضخة إلى القليل من الطاقة لضخ المائع والذي يكون في حالة سائلة عند النقطة 1.
- إجراء 2-3: يدخل السائل ذو الضغط المرتفع المرجل حيث يتم تسخينه بثبوت الضغط عن طريق مصدر خارجي ويتحول إلى بخار جاف مشبع. يمكن قياس كمية الطاقة الداخلة للمرجل من خلال خريطة الأنتالبي والانتروبي (h-s) أو يدويا عن طريق جدول البخار.
- إجراء 3-4: يتمدد البخار الجاف والمشبع خلال العنفة مولدا القدرة. أثناء التمدد يحدث انخفاض لدرجة الحرارة وكذلك الضغط وربما يحدث بعض التكثف في نهاية التمدد. يمكن أيضا حساب القدرة الخارجة باستخدام الخرائط أو جدول البخار.

- إجراء 1-4: يدخل البخار للمكثف بحيث تحدث عملية التكثيف بثبوت الضغط ويتحول البخار إلى سائل مشبع

### I-6-3) دورة أوتو OTTO:

في الهندسة الميكانيكية هي دورة ترموديناميكية تقوم بتحويل الحرارة إلى شغل ميكانيكي عن طريق آلة احتراق داخلية.

تعتبر دورة أوتو دور حجم ثابت مثالية، حيث تدخلها الحرارة في حجم ثابت للاسطوانة (عملية متساوية الحجم)، هذا بعكس دورة ديزل المثالية، والتي تُمد بالحرارة خلال عملية متساوية الضغط

هي دورة تتم فيها تغيرات لحالة غاز مثالي داخل نظام ترموديناميكي مغلق ولا تحتوي تلك الدورة المشابهة على احتراق الغازات. تتكون الدورة من المراحل التالية :

- 1 - 2: الكبس في عملية متساوية الأنتروبية،
- 2 - 3: مد للحرارة خلال عملية متساوية الحجم، (ولذلك تسمى دورة ثابتة الحجم)،
- 3 - 4: عملية تمدد (عملية متساوية الأنتروبية)
- 4 - 1: تصريف للحرارة في عملية متساوية الحجم.

### I-6-4) دورة ديزل Dizel:

في الفيزياء والهندسة الميكانيكية هي دورة ترموديناميكية تمثل عمل محرك ديزل والتي قام بصياغتها المهندس الألماني رودولف ديزل.

ويتميز محرك الديزل بأن ضغط الغاز فيه يقرب من ضغط غاز الوقود في محرك بنزينوبذلك يصل إلى كفاءة حرارية أعلى. تسمى دورة ديزل أحيانا "دورة الضغط الثابت" طبقا لفكرة الضغط الثابت في حالته المثالية، حيث يجري إمداد المحرك بالحرارة عند بقاء الضغط ثابتا في عملية ترموديناميكية تسمى عملية متساوية الضغط وتختلف دورة أوتو عن دورة ديزل المثالية، حيث يجري إمدادها بالحرارة في حجم ثابت .

### I-6-4-1) وصف دورة ديزل Dizel :

بغرض تفادي ضغطا عاليا عند الاحتراق في درجة حرارة عالية وضغوط عالية، يضبط زمن حقن الوقود بحيث يتم خلال الجزء الأول لمرحلة التمدد. ويتم الاحتراق تحت ضغط ثابت، ولذلك يعتبر الإمداد بالحرارة عملية متساوية الضغط تتم دورة ديزل في أربعة أشواط، وهي :

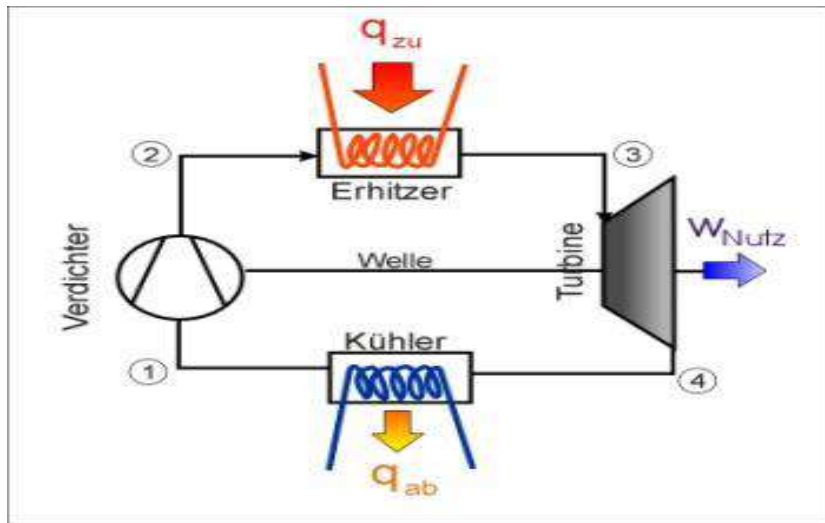
- كبس خلال عملية متساوية الأنتروبية (1-2)
- إمداد بالحرارة في عملية متساوية الضغط (2-3)
- التمدد خلال عملية متساوية الأنتروبية (3-4)
- طرد الحرارة في عملية متساوية الحجم (4-1)

وتعطينا المساحة المحصورة داخل الخطوط (1 ← 2 ← 3 ← 4) العمل النوعي المكتسب من الدورة .

### I-6-5) دورة برايتون Brayton :

دورة برايتون في الفيزياء وفي الهندسة الميكانيكية (بالإنجليزية: Brayton cycle) هي دورة ترموديناميكية تصف عمل التوربين الغازي، وهي تعتبر مبدأ عمل المحرك النفاث. وتسمى الدورة باسم مخترعها جورج برايتون (1830 - 1892)، المهندس الأمريكي. وتسمى أحيانا "دورة جول". وتوجد دورة أخرى تشبهها تسمى دورة إريكسونولكن الأخيرة تستخدم تسخين خارجي كما تستخدم تدوير جزء من الحرارة.

### I-6-5-1) وصفها دورة برايتون Brayton :



الشكل (1-13): تمثيل ميكانيكي لدورة برايتون المغلقة.

تتكون الدورة من 4 مراحل (قارن مخطط الضغط والحجم):

- 1-2 عملية متساوية الأنتروبية بالكبس
- 2-3 عملية متساوية الضغط، إمداد الحرارة
- 3-4 تمدد خلال عملية متساوية الأنتروبية
- 4-1 إخراج الحرارة الباقي

المساحة المحصورة داخل المنحنيات (1 - 2 - 3 - 4) الشغل  $W$  الناتج من الدورة.

### I-6-6) دورة ستيرلينغ Strling:

إن دورة ستيرلينغ هي دورة معدلة من دورة كارنو والتي تم تغيير الإجراءين اللذان يحدثان بثبات العشوائية بإجراءين آخرين يحدثان بثبات الحجم. وتعتبر أيضاً دورة ستيرلينغ دورة انعكاسية وذلك يعني أنه إذا تم إضافة طاقة ميكانيكية إلى الدورة فإنها ستعمل كمضخة حرارية للتسخين أو التبريد وحتى للتبريد العميق أو الشديد. كما تعد دورة مغلقة ويكون المائع الذي تعتمد عليه الدورة هو من النوع الغازي. ونعني بالدورة المغلقة هنا أن المائع الذي يسري في الدورة دائماً وأبداً يكون بداخل النظام الحراري ولا يخرج عنه.

### I-6-6-1) الإجراءات في دورة ستيرلينغ Strling:

تحتوي دورة ستيرلينغ المثالية على أربع إجراءات تحريك حراري مختلفة والتي تحدث لمائع الدورة :

1. إجراء تمدد بثبوت الحرارة والذي يتم تسخين منطقة التمدد خارجياً.
2. إجراء طرد حرارة بثبوت الحجم، حيث يمر الغاز على مجدد والذي يبرد الغاز تدريجياً أو يسحب من كمية من الحرارة ويتم استخدام تلك الحرارة عن طريق المجدد في الدورة التالية.
3. إجراء انضغاط بثبوت درجة الحرارة، حيث يتم تبريد منطقة الانضغاط خارجياً.
4. إجراء إضافة حرارة بثبوت الحجم، حيث يتم تمرير تيارات الهواء المضغوط على المجدد والذي يستمد طاقة حرارية منه أثناء اتجاهه لمنطقة التمدد

## I-6-7) دورة إريكسون Ericsson:

سميت دورة إريكسون على اسم المخترع جون إريكسون الذي صمم وبني العديد من المحركات الحرارية الفريدة من نوعها على أساس دورات ديناميكية حرارية مختلفة. يعود الفضل إليه في اختراع دورتين فريدتين للمحرك الحراري وتطوير محركات عملية بناءً على هذه الدورات. تُعرف دورته الأولى الآن باسم دورة Brayton المغلقة، بينما تُعرف دورته الثانية الآن باسم دورة Ericsson. إريكسون هو واحد من القلائل الذين صنعوا محركات الدورة المفتوحة ولكنه أيضاً صنع محركات الدورة المغلقة

### I-6-7-1) إجراءات دورة إريكسون Ericsson المثالية:

فيما يلي قائمة بالعمليات الأربع التي تحدث بين المراحل الأربع لدورة إريكسون المثالية:

العملية 1 - 2: ضغط متساوي الحرارة. يُفترض أن تكون مساحة الضغط مبردة بينياً، لذلك يخضع الغاز لضغط متساوي الحرارة. يتدفق الهواء المضغوط إلى صهريج تخزين بضغط ثابت. في الدورة المثالية، لا يوجد انتقال للحرارة عبر جدران الخزان.

العملية 2 - 3: إضافة حرارة متساوية الضغط. من الخزان، يتدفق الهواء المضغوط عبر المجدد ويلتقط الحرارة عند ضغط ثابت مرتفع في الطريق إلى أسطوانة الطاقة المسخنة.

العملية 3 - 4: تمدد متساوي الحرارة. يتم تسخين مساحة تمدد أسطوانة الطاقة خارجياً، ويخضع الغاز لتمدد متساوي الحرارة.

العملية 4 - 1: إزالة الحرارة متساوي الضغط. قبل أن يتم إطلاق الهواء كعادم، يتم تبريده مرة أخرى من خلال المجدد، وبالتالي تبريد الغاز بضغط ثابت منخفض، وتسخين المجدد للدورة

## الفصل الثاني



## دراسة نظرية لظاهرة التكثيف

يحتوي هذا الفصل على مختلف العلاقات النظرية الخاصة بالظواهر الفيزيائية الداخلة في عملية التكثيف و المتمثلة في

- 1-II) التكثيف النقطي و التكثيف الغشائي.
- 2-II) التطبيقات العملية لظاهرة التكثيف.
- 3-II) التكثيف فوق السطوح الباردة (نظرية نوسلت).
- 4-II) التكثيف على السطوح الشاقولية.
- 5-II) التكثيف على سطح مائل.
- 6-II) التكثيف على سطوح الأنابيب الأفقية.
- 7-II) تسلسل المعادلات الحسابية للمكثفات.
- 8-II) المقارنة بين التكثيف على السطوح الأفقية والشاقولية.
- 9-II) التكثيف داخل الأنابيب (المكثفات الأفقية).
- 10-II) الأبخرة المفردة (بخار مركب أو خليط ثابت الغليان).

**تمهيد :** يوجد المائع في الطبيعة على هيئة بخار، أو سائل ، وتسمى عملية تحويل المائع من الطور السائل إلى الطور البخاري بالتبخير، في حين تسمى عملية تحويل البخار إلى سائل بالإسالة. و من هنا يمكن القول أن عملية التكتيف هي عمليتين ، عملية حرارية تتمثل في الإسالة و عملية ميكانيكية تتمثل في التقطير . و هناك تماثل بين كميات الحرارة المتبادلة في كل من عمليتي التبخر والإسالة لوحدة الكتل من مائع ما، و عند ثبوت الضغط فإن تحول المائع النقي من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية يتم عند درجة حرارة محددة، تسمى بدرجة حرارة التشبع أو درجة حرارة اتزان هذا الضغط، ولما كان انتقال الحرارة مرتبط بعمليات تحويل البخار إلى سائل يتم عادة عند ضغط ثابت أو شبه ثابت في العمليات الصناعية لذلك فإن عملية تبخير المركبات المفردة و تكتيفها يتم عادة عند درجة حرارة ثابتة أي إيزوترمية ، و في حالة عزل البخار بعد تكونه و منع الاتصال بينه و بين السائل ، فإن كمية الحرارة المنتقلة إلى البخار سوف تؤدي حتما إلى تحميته . أثناء عملية التحمية ، يكون سلوك البخار مشابها للغازات الأخرى.

أما إذا كانت العملية تتضمن تكتيف خليط من عدة أبخرة، بدلا من بخار مفرد ، فإن التغيير لا يتم من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة عند درجة حرارة ثابتة رغم تثبيت الضغط. و تختلف المعالجة العامة للخليط من الأبخرة في بعض الوجوه ، عن المعالجة الخاصة بالمركبات المفردة ، وسوف تتم دراسة هذا الموضوع لاحقا على أساس قاعدة الأطوار التي وضعها ويلارد جيبس.

أما معدلات انتقال الحرارة أثناء عملية التكتيف فتختلف تبعا لإتباع أي من الآليتين الفيزيائيتين ، واللتين سوف يتم ذكرهما لاحقا . و نعني بذلك التكتيف النقطي والتكتيف الغشائي . و يتأثر معامل التكتيف الغشائي بتضاريس السطح الذي تتم عليه عملية التكتيف، و بوضع المكثف أفقيا كان أم شاقوليا . وعلى الرغم من التعقيدات الواضحة في عملية التكتيف إلا أنه يجب دراستها دراسة رياضية مباشرة.

## II-1) التكتيف النقطي و التكتيف الغشائي: لتعريف هذين النوعين من التكتيف لدينا المفاهيم التالية :

**المفهوم 1 :** عندما يلامس بخار نقي مشبع سطحاً بارداً، وليكن سطحاً خارجياً لأنبوب مثلاً، فإن هذا البخار تقع له إسالة ويكون نقطاً من السائل على سطح الأنبوب.

**المفهوم 2 :** ومن المحتمل ألا تكون هناك التصاق لنقاط السائل على السطح البارد لئلا يبدل من أن تنتشر النقاط على سطح الأنبوب على هيئة غشاء من السائل ، نجد أنها تنزلق وتسقط تاركة سطحه المعدني مكشوفاً، وهكذا. أي أن السطح تتكون عليه نقاط متتابعة من البخار المكثف . وتسمى عملية التكتيف هذه بالتكتيف النقطي.

**المفهوم 3:** وفي معظم الحالات سرعان ما يتكون غشاء تكتيفي يمكن تمييزه بوضوح ، في هذه الحالة فإن أي بخار إضافي يتجه نحو السطح البارد لا بد له أن يسال على الغشاء المتكثف (السائل الذي يغطي السطح)، بدلا من أن يتكثف مباشرة على سطح الأنبوب البارد. مثل هذه الآلية يطلق عليها آلية التكتيف الغشائي.

**المفهوم 4:** ولا توجد علاقة فيزيائية بين آليتي التكتيف النقطي و التكتيف الغشائي وبين كمية البخار المتكثفة لكل وحدة مساحة من السطح البارد . وعليه فمن الخطأ الاعتقاد بأن التكتيف الغشائي هو مرحلة انتقالية من التكتيف النقطي.

**المفهوم 5:** ويسبب تكون الغشاء السائل ( نواتج التكتيف ) وعزله لسطح الأنبوب من عملية التكتيف . ومن ثم يكون معامل انتقال الحرارة في عملية التكتيف النقطي من أربعة إلى ثمانية أمثال مثيله في عملية التكتيف الغشائي .

**المفهوم 6:** ومن المعروف أن بخار الماء هو البخار الوحيد النقي الذي يمكنه أن يتكثف بطريقة التكتيف النقطي في ظل توافر شروط معينة لحدوثه . مثل هذه الشروط موضحة بأعمال كل من (درو -Drew) و (ناجل -Nagle) و (سميث -Smith) . وتتوفر هذه الشروط بالدرجة الأولى بسبب وجود أوساخ على السطح ، أو باستعمال ملوثات تلتصق بالسطح . ولقد قام (ناجل -Nagle) بتحديد أنواع المواد التي تحت على حدوث التكتيف النقطي لبخار الماء ، على الرغم من أن استعمال مثل هذه المواد قد ينتج عنه وجود شوائب في البخار .

**المفهوم 7:** ويحدث التكتيف النقطي أيضا في حالة تكتيف عدة مركبات آتيا كخليط غير قابل للمزج ، كما هو الحال في بخار الماء لهيدروكربونات . وعادة ما يحدث في فترات عديدة ، أثناء تشغيل مكثفات البخار ، أن تبدأ آلية التكتيف بالنوع الغشائي ، ثم تعود في مراحل متأخرة إلى التكتيف الغشائي مرة أخرى .

**المفهوم 8:** ولصعوبة التحكم في نوعية آلية التكتيف فإنه ليس من المألوف في حسابات التكتيف أن تستخدم القيم العالية لمعاملات انتقال الحرارة ، والتي يمكن الحصول عليها أثناء تجارب التكتيف النقطي.

### فرضيات :

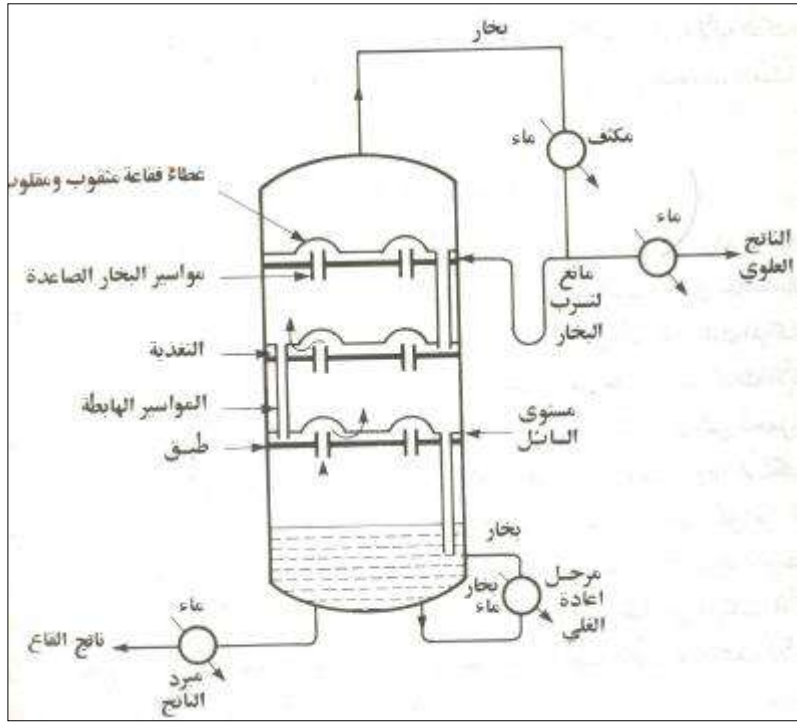
**فرضية 1:** ومن الطبيعي أن يكون ضغط التشبع في بدن البخار أعلى من ضغط تشبع السائل المتكثف الأبرد والملاصق لسطح الأنبوب ويكون فرق الضغط بين بدن البخار وغشاء التكتيف بمثابة الجهد اللازم لدفع البخار بمعدل عال من بدن البخار نحو غشاء التكتيف.

**فرضية 2:** أما عن مقاومة انتقال الحرارة بالانتشار من بدن البخار إلى سطح التكتيف, فقد وجد أنها صغيرة بالنسبة إلى مقاومة سُمك الغشاء المتكتف. وفي الواقع فإن الحالة الأخيرة هي التي تحدد مدى فعالية المقاومة, بالإضافة إلى أن سرعة انتقال حرارة التكتيف خلال هذا الغشاء هي التي تحدد معامل التكتيف.

**فرضية 3:** الشكل النهائي لمعادلة معامل التكتيف الذي يمكن الحصول عليه من خلال التحليل البعدي لعملية التكتيف, حيث يكون متوسط معامل التكتيف  $\bar{h}$  دالة في خصائص الغشاء المتكتف  $k, \rho, g, L, \Delta T, L_{ev}$  وتمثل الحرارة الكامنة للتبخير. ولقد استطاع نوسلت *Nusselt* أن يستنبط العلاقات النظرية لآلية التكتيف الغشائي, وكانت النتائج التي توصل إليها على درجة عالية من التطابق مع نتائج التجارب العملية.

**نتيجة:** و مما سبق سوف يتم التعرض في هذا الفصل لحسابات المكثفات تحت ظروف عديدة, اعتمادا على معاملات الانتقال الحراري الملازمة لآلية التكتيف الغشائي فقط. ومن حسن الحظ, أن ظاهرة التكتيف الغشائي يسهل تحليلها رياضياً, وأن طبيعة التكتيف على سطح بارد يمكن اعتبارها ذاتية الانتشار.

**II - 2) التطبيقات العملية لظاهرة التكتيف:** من المؤلف في الصناعات الكيميائية أن يتم فصل خليط من السوائل عن طريق إزالة المركبات ذوات الغليان المنخفضة عن ذوات درجات حرارة الغليان العالية بالتقطير. وفي حالة المحاليل عديدة المركبات, فإن كلا منها يكون ذا ضغط جزئي محدد بالإضافة إلى أن أكثر تلك المركبات تطايراً لا يمكن أن يفصل بالغليان عن بقية المحلول دون أن يحمل معه بعضاً من المركبات الأثقل ذوات الغليان العالية. وتكون نسبة المركبات الأثقل في هذه الحالة - أي التي تحمل في بداية غليان المحلول - أقل من تلك الموجودة في المحلول الأصلي قبل بداية الغليان. وإذا تم تكتيف البخار الناتج من الغليان في هذه الحالة, وتم غلي ناتج التكتيف عند درجات أقل من تلك المطلوبة للمحلول الأصلي, فإن نسبة المركبات المتطايرة في ناتج الغليان سوف تزداد. وتتابع عمليات الغليان والتكتيف على هذا النمط, يمكن الحصول على كميات نقية من المركب الأكثر تطايراً. وبناء على ذلك, فإن عملية فصل المركبات بالتقطير تبدأ بالغليان الجزئي ثم بتكتيف للأبخرة الناتجة عن الغليان.



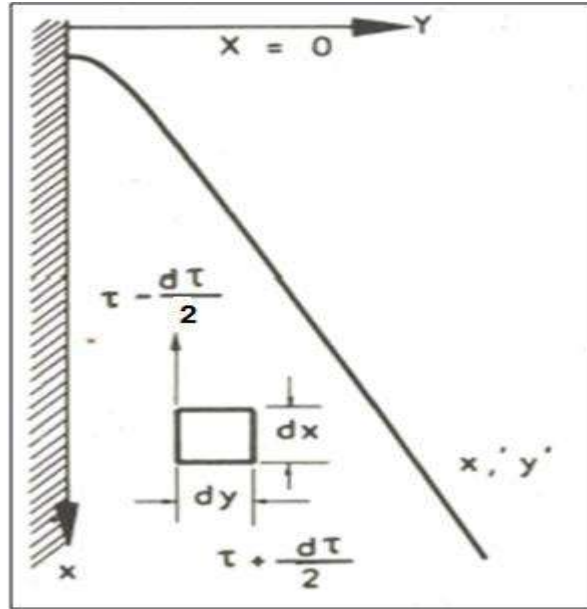
الشكل (1-2): عمود التقطير وملحقاته

ومن المهم ملاحظة أن درجة حرارة التكثيف داخل المكثف هي التي تحدد ضغط تشغيل عمود التقطير , لوجود علاقة ثابتة بين درجة حرارة تشبع البخار وضغطه . إضافة إلى ذلك يجب أن يكون تكثيف الناتج العلوي للعمود داخل المكثف عند درجة حرارة مناسبة , حيث يمكن إزالة حرارته الكامنة باستخدام مياه التبريد .

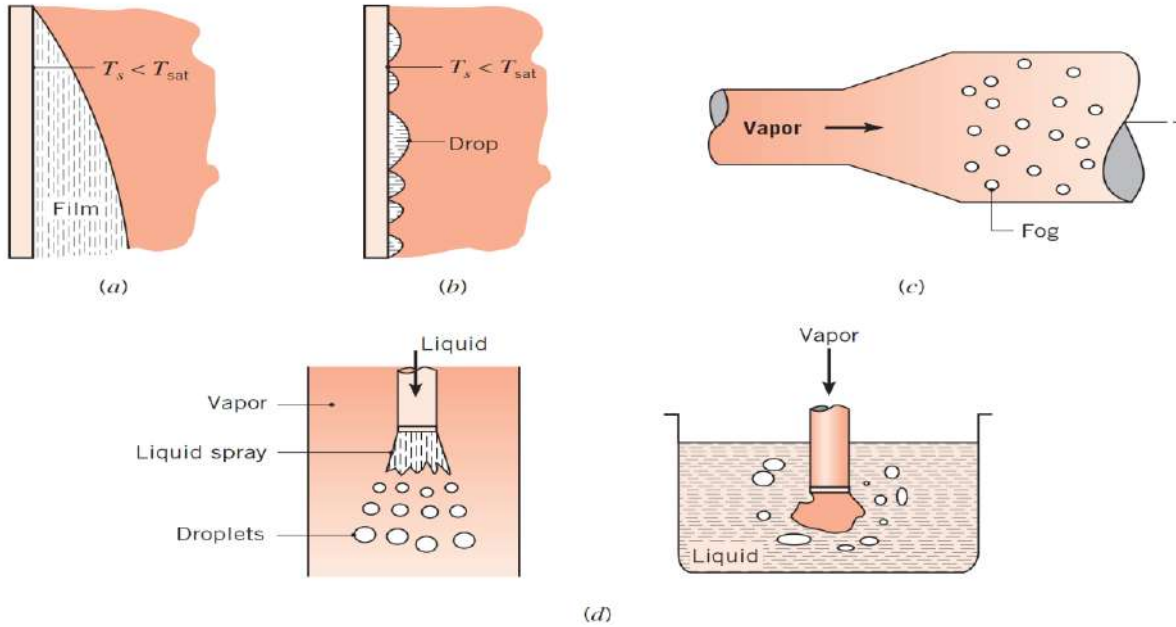
ومن ناحية أخرى , يعتمد حجم السائل المكثف على الفرق بين درجة حرارة التكثيف والمدى المؤثر لمياه التبريد , وإذا ما قاربت درجة حرارة التكثيف المدى المؤثر لدرجة حرارة التبريد عند الضغط الجوي فلا بد من رفع ضغط التقطير ومن ثم يزداد الفرق في درجات الحرارة وصولاً إلى قيمة الفرق المطلوب في درجة الحرارة .

وفي صناعة توليد القدرة لا يستعمل اصطلاح المكثف السطحي إلا في التجهيزات الأنبوبية التي تستعمل في تكثيف بخار الماء كما في حالة عوادم التوربينات و الماكينات . والتوربينات البخارية مصممة على أن تعطي شغلا ميكانيكيا باستعمال الطاقة الحرارية . وللحصول على أعلى درجة تحويل للطاقة داخل التوربينة يستوجب الأمر طرد بخار العادم عند درجات حرارة منخفضة . وإذا ما طرد عادم التوربين إلى الجو تكون اقل درجة حرارة ممكنة للعادم هي  $100^{\circ}\text{م}$  أما إذا طرد البخار إلى مكثف مملخل فإن درجة حرارة عادم التوربين قد تصل إلى حوالي  $24^{\circ}\text{م}$  أو اقل . وهكذا يتحول فارق الطاقة الحرارية المخزونة في البخار بين درجتى 24 ,  $100^{\circ}\text{م}$  إلى شغل ميكانيكي .

**II-3) التكثيف فوق السطوح الباردة (نظرية نوسلت):** عندما يتكثف بخار ما على سطح شاقولي بارد، فإن نواتج التكثيف تكوّن غشاءً على السطح، كما هو موضح في الشكل (2.2)، ومع استمرار عملية التكثيف يستمر انتقال الحرارة إلى السطح عبر هذا الغشاء بالتوصيل [7].



الشكل (2.2) : التكثيف الغشائي فوق سطح شاقولي



الشكل (3.2): أنواع التكثيف مصنفة حسب التلامس بين البخار و المنطقة الباردة

(a) تكثيف شريطي على سطح بارد شاقولي، (b) تكثيف نقطي على سطح بارد شاقولي، (c) تكاثف متجانس أو تشكيل ضباب ناتج من نقصان الضغط نتيجة للتوسع، (d) تلامس مباشر بين البخار و سائل بارد

تفسير الشكل (3.2): نلاحظ أنواعاً من عمليات التكتيف، حيث الأنواع (a) و (b) يحتاجان لسطح بارد، أما النوع (c) ينتج بسبب انخفاض الضغط الذي بدوره يسبب انخفاض في درجة الحرارة، لكن النوع (d) فهو ناتج من تلامس البخار بسائل بارد إما يتم بضخ السائل أو ضخ البخار.

أما في حالة وجود سطح بارد يمكن افتراض أن نزول الغشاء من أعلى السطح إلى أسفله يتم على شكل انسياب رقائقي، ويؤثر سُمْك هذا الغشاء تأثيراً كبيراً في معدل التكتيف، إذ أن الحرارة المنتقلة إلى السطح البارد من عملية التكتيف تواجه مقاومة أثناء مرورها خلال سُمْك الغشاء المتكون، وغالباً ما تكون مقاومة هذا الغشاء لانتقال حرارة التكتيف عالية جداً بالنسبة لبقية المقاومات، ويكون هذا الغشاء دالة في سرعة التدفق عبر الغشاء، و التي تتغير بتغير زاوية ميل السطح عن الوضع الشاقولي، حيث إن قوة التدفق تكون تحت تأثير قوة الجاذبية الأرضية بالدرجة الأولى وفي حالة كون السطح البارد شاقولي، فإن سُمْك الغشاء يزداد من أعلى السطح البارد إلى أسفله، و لهذا السبب فإن معامل تكتيف البخار فوق سطح شاقولي يتناقص من القمة إلى القاع. وللحصول على معامل عالٍ للتكتيف يجب أن لا يكون ارتفاع السطح كبيراً جداً. وسرعة التدفق لكميات متساوية من نواتج التكتيف دالة في لزوجة نواتج التكتيف، بمعنى أنه كلما انخفضت اللزوجة السُمْك الغشاء. وحيث إن لزوجة السوائل تقل قيمتها بزيادة درجة الحرارة. فإن معامل التكتيف يزداد بزيادة درجة حرارة التكتيف.

ولقد أجرى نوسلت Nusselt في عام 1916م دراسة تحليلية لعملية التكتيف سابقة الذكر باستخدام الفرضيات التالية:

- 1: الفرضية: الحرارة المنتقلة إلى السطح البارد أثناء التكتيف هي الحرارة الكامنة للتبخير  $Lev$  فقط (أو بمعنى آخر الإسالة).
- 2: الفرضية: إزالة نواتج التكتيف الغشائي من على السطح تتم بواسطة التدفق الرقائقي فقط، وتنتقل الحرارة خلال الغشاء بالتوصيل.
- 3: الفرضية: يكون سُمْك غشاء التكتيف عند أي مقطع دالة في متوسط سرعة التدفق، وبالإضافة إلى كمية نواتج التكتيف المارة عند هذا المقطع.
- 4: الفرضية: تكون سرعة كل طبقة من طبقات الغشاء على حدى دالة في العلاقة بين قوة القص الناتجة من الاحتكاك وثقل الغشاء.

**الفرضية 5:** كمية نواتج التكثيف تتناسب طرديًا مع كمية الحرارة المنقولة إلى السطح, والتي تعتمد بدورها على سُمك الغشاء و فرق درجة الحرارة بين البخار و السطح البارد .

**الفرضية 6:** يكون سُمك الغشاء على درجة كبيرة من النحافة , بحيث يكون تدرج درجة الحرارة خلاله خطيًا .

**الفرضية 7:** تقاس الخواص الفيزيائية لنواتج التكثيف عند متوسط درجة حرارة الغشاء.

**الفرضية 8:** يكون السطح البارد نظيفًا وناعمًا نسبيًا .

**الفرضية 9:** تكون درجة حرارة سطح المعدن البارد ثابتة .

**الفرضية 10:** يمكن إهمال تأثير درجة تقوس الغشاء .

**II (4-)** التكثيف على السطوح الشاقولية: يمكن التعبير عن معدل الحرارة التي تمر خلال البخار إلى السطح البارد عبر نواتج التكثيف , و الموضح في الشكل (4.2), لكل وحدة مساحات كالتالي:

$$\frac{Q_t}{A} = \frac{k(T_v - T_s)}{\delta} = L_{ev}\dot{m} = h(T_v - T_s) \quad (1.2)$$

حيث  $L_{ev}$  تمثل الحرارة الكامنة للتبخر (للإسالة) لوحدة الكتلة,  $\dot{m}$  كمية نواتج التكثيف المتكونة بالنسبة لوحدة المساحات,  $\delta$  هو سُمك غشاء التكثيف عند النقطة ذات الإحداثيات  $x$  و  $y$ , كما هو موضح في الشكل (4.2) , بينما بقية الرموز تحمل المعاني الدالة عليها كما هو مبين في الرموز . ويقدر معدل تكثيف البخار بالمعادلة الآتية:

$$\dot{m} = \frac{k(T_v - T_s)}{L_{ev} \delta} = \frac{k \cdot \Delta T}{L_{ev} \delta} \quad (2.2)$$

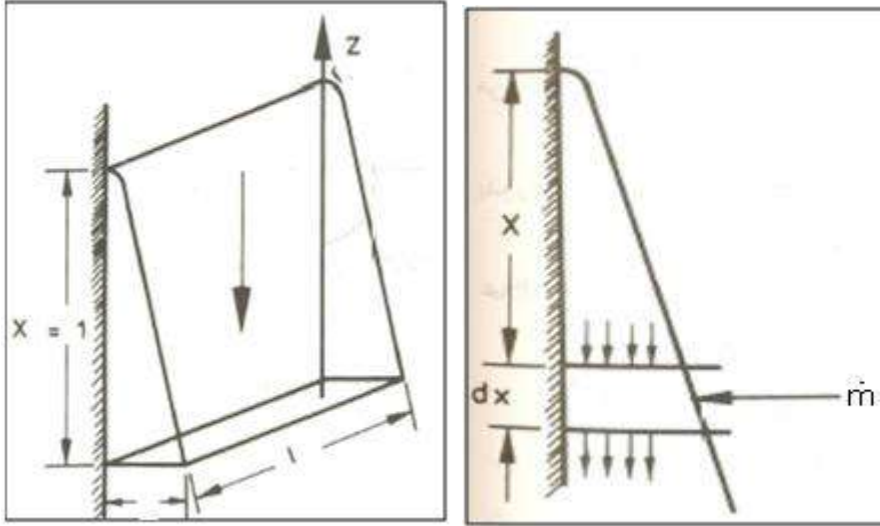
يتدفق السائل نازلا على السطح الشاقولي بسرعة تتغير قيمتها من الصفر , عند السطح البيني للغشاء والسطح البارد وتزداد أفقيًا في اتجاه السطح البيني للبخار و سطح الغشاء الخارجي, كما تزداد السرعة أيضًا في الاتجاه الشاقولي, كلما اتجهنا من أعلى السطح البارد إلى أسفله.

ولندرس مثلا , مكعبًا صغيرًا من السائل ذا وحدة عمق  $dz = 1$  , و بالتالي يكون حجمه مساويًا  $1 \cdot dx \cdot dy$  , وموجود داخل الغشاء المتحرك كما في الشكل (4.2) , وتوجد على جانب المكعب المواجه للسطح البارد الشاقولي قوة مماسية مؤثرة شاقوليا إلى أعلى , وتحاول أن تحافظ على وضع المكعب في مكانه . أما على الجانب المقابل و البعيد عن



السطح البارد , فتوجد قوة مماسية بسبب زيادة سرعة السائل تؤثر شاقوليا لأسفل . فإذا رمزنا إلى محصلة القوى الشاقولية المتجهة لأعلى , و المؤثرة على المكعب بالرمز  $\tau$  , فان القوتين لوحدة السطح المؤثرتين على وجهي المكعب هما :

$$\tau + \frac{d\tau}{2} \quad \tau - \frac{d\tau}{2} \quad (3.2)$$



الشكل (4.2): سريان التكتيف الغشائي على سطح شاقولي

على التوالي , وتتبادل محصلة القوى المماسية لأعلى مع القوة الجاذبية الأرضية المؤثرة لأسفل كشرط لحدوث الاتزان على المكعب .

$$\rho g(dx dy . 1) - \left( \tau - \frac{d\tau}{2} \right) (dx . 1) + \left( \tau + \frac{d\tau}{2} \right) (dx . 1) = 0 \quad (4.2)$$

وبالنسبة لوحدة المساحات  $dx dz = 1$  فإن

$$\rho . g = - \frac{d\tau}{dy} \quad (5.2)$$

ومن المألوف أن يُعبر عن جهد القص بالمعادلة التالية

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (6.2)$$

وينتج أن

$$\frac{d\tau}{dy} = \mu \frac{d^2u}{dy^2} = -\rho \cdot g \quad (7.2)$$

وباعتبار أن قيمة  $\frac{\rho}{\mu}$  ثابتة ينتج أن

$$\frac{d^2u}{dy^2} = -\rho g / \mu = -\frac{g}{(\mu/\rho)} = -\frac{g}{\nu} \quad (8.2)$$

و بالتكامل مرتين ينتج أن

$$u = -\frac{g}{2\nu} y^2 + C_1 y + C_2 \quad (9.2)$$

حيث كلاً من  $C_1, C_2$  ثابتين ويتحتم إيجاد قيمتهما, وبما أن السائل يلاصق السطح فإن سرعة التدفق في اتجاه السطح  $u = 0$  عند السطح  $y = 0$  ومنها ينتج أن قيمة الثابت  $C_2 = 0$  أما على الحدود الخارجية للغشاء (السطح البيني للبخار و السائل) فلا توجد قوى مماسية (قص), ومن تعريف جهد القص, وعندما تكون  $y = \delta$  ينتج أن

$$\left(\frac{du}{dy}\right)_{y=\delta} = 0 = -\frac{g}{\nu} \delta + C_1, \quad C_1 = \frac{g}{\nu} \delta \quad (10.2)$$

وبالتالي تكون السرعة عند أي نقطة تساوي

$$u = \frac{g}{\nu} \left( \delta \cdot y - \frac{y^2}{2} \right) \quad (11.2)$$

$$u = \frac{g}{\nu} \delta^2 \left( \left(\frac{y}{\delta}\right) - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{\delta}\right)^2 \right) = \frac{g}{\nu} \delta^2 \left( (\eta) - \frac{1}{2} (\eta)^2 \right) \quad (12.2)$$

وعلى مسافة مقدارها  $X$  مقاسة من قمة السطح الشاقولي حيث يبدأ التكتيف, فإن السرعة المتوسطة للتدفق يمكن أن يُعبّر

عنها كالتالي باعتبار عرض السطح يساوي  $L = 1$

$$\bar{u} = \frac{1}{\delta \cdot 1} \int_0^{\delta} u (1 \cdot dy) = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} u dy = \frac{g}{3\nu} \delta^2 \quad (13.2)$$

و التدفق الحجمي للسريان الشاقولي عبر السطح  $dz \cdot dy = 1 \cdot dy$  معرف بالشكل :

$$Q_v = \int_0^{\delta} u dy dz = \int_0^{\delta} u dy = \bar{u} \cdot (\delta \cdot 1) = \frac{g}{3\nu} \delta^3 \quad (14.2)$$

حيث  $(\delta \cdot 1)$  يمثل سطح انتقال الحجم شاقوليا .

وإذا زادت المسافة لتصبح  $x + dx$  كما هو بالشكل (4.2), فمن المتوقع أن تزداد كمية البخار المتكثف , ويمكن عن طريق استخدام قيمة  $\bar{u}$  من المعادلة (13.2), وضربها في  $\rho$ , ثم إجراء تفاضل بالنسبة إلى  $x$ , أن تُحدّد قيمة زيادة التكثيف في المسافة من  $x$  إلى  $x + dx$

$$d(Q_m) = d(\rho \cdot Q_v) = d\left(\frac{\rho g}{3\nu} \delta^3\right) = \frac{\rho g}{\nu} \delta^2 d\delta \quad (15.2)$$

هذه الزيادة في كمية البخار المتكثف يتم استخلاصها من بدن البخار , ويتم تكثيفها على سطح الغشاء.

$$\frac{d(Q_m)}{dz \cdot dx} = \frac{d(\rho \cdot Q_v)}{1 \cdot dx} = \dot{m} \Rightarrow d(Q_m) = \dot{m} \cdot dx \quad (16.2)$$

يمكن تعريف  $\dot{m}$  كمية نواتج التكثيف المتكونة على وحدة المساحات , و عن طريق المعادلة (2.2) بدلالة الحرارة المنقولة أثناء التكثيف كما يلي :

$$\dot{m} = \frac{k(T_v - T_s)}{L_{ev} \delta} \quad (17.2)$$

و بالتعويض عن  $\dot{m}$  في المعادلة (15.2) بالقيمة الناتجة من المعادلة (2.2) نحصل على الآتي:

$$\frac{k(T_v - T_s)}{L_{ev} \delta} dx = \frac{\rho g}{\nu} \delta^2 d\delta \quad (18.2)$$

$$(T_v - T_s) dx = \left(\frac{\rho g L_{ev}}{k\nu}\right) \delta^3 d\delta \quad (19.2)$$

وبتكامل هذه المعادلة في حدود ضيقة للتكامل , مع اعتبار أن قيمة كل من  $(T_v - T_s)$  ,  $k$  ,  $\nu$  ,  $L_{ev}$  ,  $\rho$  , ثابتة وعندما تصبح  $x = 0$  لدينا  $\delta = 0$  فإن

$$\frac{1}{4} \cdot \left( \frac{\rho g L_{ev}}{k \nu} \right) \delta^4 = (T_v - T_s) x + cte ; \quad cte = 0 (x = 0 ; \delta = 0)$$

وينتج أن

$$\delta = \left( \left( 4 \frac{k \nu}{\rho g L_{ev}} \right) (T_v - T_s) x \right)^{\frac{1}{4}} \quad (20.2)$$

وتكون قيمة معامل انتقال الحرارة عبر طبقة التكثيف على بعد مسافة  $x$  من قمة السطح البارد لكل وحدة مساحات بينية و الموضحة بالمعادلة (1.2) , كما يلي :

$$\frac{Q_t}{A} = \frac{k(T_v - T_s)}{\delta} = L_{ev} \dot{m} = h(T_v - T_s) \quad (21.2)$$

$$\frac{Q_t}{A} = h(T_v - T_s) \Rightarrow h = h_x = \frac{\frac{Q_t}{A}}{(T_v - T_s)} = \frac{k}{\delta} \quad (22.2)$$

و بالتعويض عن قيمة  $\delta$  من المعادلة (20.2) ينتج أن :

$$h_x = \frac{k}{\left( \left( 4 \frac{k \nu}{\rho g L_{ev}} \right) (T_v - T_s) x \right)^{\frac{1}{4}}} = \left( \frac{k^3 \rho g L_{ev}}{4 \nu (T_v - T_s)} \right)^{1/4} \frac{1}{x^{1/4}}$$

$$h_x = \left( \frac{k^3 \rho g L_{ev}}{4 \nu (T_v - T_s)} \right)^{1/4} \frac{1}{x^{1/4}} \quad (23.2)$$

أما كمية الحرارة المنقولة عبر سمك غشاء التكثيف من قمة السطح الشاقولي إلى  $x$  , فتكون كالتالي

$$Q_x = \int_0^x h_x (T_v - T_s) dx = \int_0^x \left( \frac{k^3 \rho g L_{ev}}{4 \nu (T_v - T_s)} \right)^{1/4} (T_v - T_s) x^{-1/4} dx$$

$$Q_x = \frac{4^{3/4}}{3} \left( \frac{k^3 \rho g L_{ev}}{\nu} \right)^{1/4} [(T_v - T_s)x]^{3/4} \quad (24.2)$$

و بالتالي فإن قيمة متوسط معامل انتقال الحرارة بين النقطتين المذكورتين هي :

و تذييل الرموز بالحرف يعني أن القيمة للخاصية المعنية قد تم حسابها عند درجة حرارة الغشاء والتي يمكن حسابها كالتالي

$$\bar{h}_\ell = \frac{1}{\ell} \int_0^\ell h_x dx = \frac{1}{\ell} \int_0^\ell \frac{dQ_x}{(T_v - T_s)} = \frac{1}{(T_v - T_s)\ell} \int_0^\ell dQ_x = \frac{(Q_x)_{x=\ell}}{(T_v - T_s)\ell}$$

$$\Rightarrow \bar{h}_\ell = \left( \frac{4}{3} \right)^{3/4} \frac{\left( \frac{k^3 \rho g L_{ev}}{\nu} \right)^{1/4} [(T_v - T_s)\ell]^{3/4}}{(T_v - T_s)\ell}$$

$$\boxed{\bar{h}_\ell = 0.943 \left( \frac{k^3 \rho g L_{ev}}{\nu (T_v - T_s)\ell} \right)^{1/4}} \quad (25.2)$$

كل القيم الخاصة المعنية قد تم حسابها عند درجة حرارة الغشاء  $T_f$  والتي يمكن حسابها كالتالي

$$T_f = \frac{1}{2} (T_v + T_s) \quad (26.2)$$

وكذلك نرمز للفرق بين درجة حرارة البخار و السطح البارد بـ:  $\Delta T = (T_v - T_s)$

و يجدر الإشارة إلى أنه قد أهملت قيمة الجهد الناتج عن مرور البخار المشبع فوق السطح البيني للبخار و غشاء

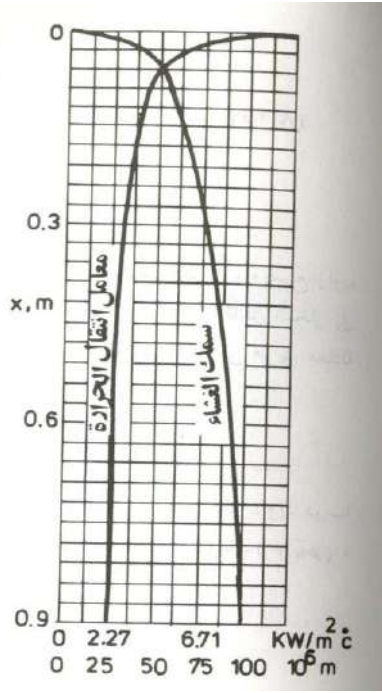
التكتيف . وسوف يتبع هذا الأسلوب فيما يأتي من تحليلات . ويمكن في أي الأحوال إضافة مثل هذا الجهد إلى التحليل

السابق , وفي الحقيقة يكون مقدار هذا الجهد ذو قيمة صغيرة , ولا يؤثر كثيراً في مجرى الحسابات , والتغير الذي يطرأ

على كل من سُمك غشاء التكتيف ومعامل انتقال الحرارة المحلي يتضح من الشكل (5.2), ويبدو فيه أن شكل

المنحنيات يشابه سُمك الغشاء و عند تطبيق المعادلة (20.2) من أجل السمك  $\delta$  و المعادلة (23.2) من أجل

معامل انتقال الحرارة المحلي [1].



الشكل (5.2): غشاء على أنبوب أفقية.

II (5-5) التكتيف على سطح مائل : إذا درسنا مكعبًا من السائل يميل بزاوية مقدارها  $\alpha$  على الوضع الشاقولي كما في

الشكل (6.2) وتكون مركبة قوة الجاذبية التي تؤثر على المكعب في اتجاه السطح , تساوي  $\rho g \sin \alpha$ , وبالتالي

تصبح المعادلة (4.2) كما يلي

$$\rho g \sin \alpha (dy dx \cdot 1) - \left( \tau - \frac{d\tau}{2} \right) (dx \cdot 1) + \left( \tau + \frac{d\tau}{2} \right) (dx \cdot 1) = 0 \quad (27.2)$$

وبالنسبة لوحدة المساحات  $dx dz = 1$

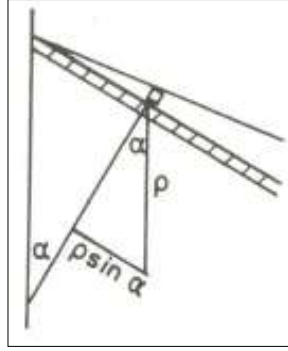
$$\rho g \sin \alpha = - \frac{d\tau}{dy} = \frac{d}{dy} \left( \mu \left( \frac{du}{dy} \right) \right) \quad (28.2)$$

وتصبح المعادلة (8.2) كالتالي

$$\frac{d^2 u}{dy^2} = - \frac{g\rho}{\mu} \sin \alpha \quad (29.2)$$

وأيضًا المعادلة (9.2) تصير وهي لا تختلف كثيرا عن المعادلة (9.2) فقط أن الحالة الشاقولية  $\alpha = 90^\circ$

$$u = -\frac{g}{2\nu} y^2 \sin \alpha + C_1 y + C_2 \quad (30.2)$$



الشكل (6.2) غشاء على سطح مائل

وعند بداية عملية التكثيف على السطح البارد, حيث تكون  $y = 0$  لا توجد أية سرعات بطول السطح, فإن

$$u = 0 \quad , C_2 = 0$$

$$y = \delta \quad , (du/dy) = 0$$

وينتج أن

$$C_1 = \frac{g\delta}{2\nu} \sin \alpha$$

وتصير المعادلة (13.2) كالتالي

$$\bar{u} = \frac{g\delta^2}{3\nu} \sin \alpha \quad (31.2)$$

وأيضاً المعادلة (25.2) تصبح

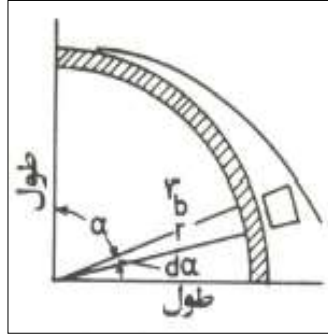
$$\bar{h}_\ell = 0.943 \left[ \frac{k^3 \rho g L_{ev} \sin \alpha}{\nu \Delta T \cdot \ell} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (32.2)$$

II-6) التكثيف على سطوح الأنابيب الأفقية: إذا درسنا مكعباً أبعاده بالنسبة لوحدة الأطوال  $Z = 1$  موجود عند

نصف قطر  $r$ , ويصنع زاوية مقدارها  $\alpha$  مع الشاقول, كما هو موضح بالشكل (7.2), فيمكن حساب معدل تدفق

البخار إلى غشاء التكثيف خلال المساحة  $ds = dz.r.da = 1.r.da$ , عندما يكون سُمك الغشاء يساوي  $\delta$ , عن طريق معادلة انتقال الحرارة بالتوصيل كما يلي

$$\dot{m}(dx.1) = \frac{k(T_v - T_s)}{L_{ev}\delta} r.da \quad (33.2)$$



الشكل (7.2): غشاء على أنبوب أفقية.

ونتيجة لعملية التكثيف, فلا بد أن نتوقع زيادة في سمك الغشاء الساقط على السطح المائل, وإذا درسنا كمية تفاضلية من نواتج التكثيف, فإن الزيادة خلال مساحة التكثيف  $r.da$  تكون مساوية لـ  $Q_m = (\rho\bar{u}\delta)$ , تصبح المعادلة (16.2) كالتالي

$$d(\rho\bar{u}\delta) = \frac{\rho g}{3\nu} d(\delta^3 \sin \alpha) = \dot{m}.dx \quad (34.2)$$

وبالتعويض في المعادلة (18.2) نحصل على

$$\frac{k(T_v - T_s)}{L_{ev}\delta} r.da = \frac{\rho g}{3\nu} d(\delta^3 \sin \alpha) \quad (35.2)$$

$$\left( \frac{3\nu k(T_v - T_s) r}{\rho g L_{ev}} \right).da = \delta d(\delta^3 \sin \alpha) \quad (36.2)$$

وبالترميز للثابت  $M$ :

$$M = \left( \frac{3\nu k(T_v - T_s) r}{\rho g L_{ev}} \right) \quad (37.2)$$

$$M.da = \delta d(\delta^3 \sin \alpha) \quad (38.2)$$



وبإجراء عملية التفاضل نحصل على

$$M. d\alpha = \delta(3\delta^2 \sin \alpha d\delta + \delta^3 \cos \alpha d\alpha)$$

$$\Rightarrow M. d\alpha = (3\delta^3 \sin \alpha d\delta + \delta^4 \cos \alpha d\alpha) \quad (39.2)$$

وبفرض أن  $Z = \Psi^4 = \delta^4/M$  وبالتعويض في المعادلة (39.2) نحصل على ما يلي

$$d\alpha = \left(\frac{3}{4} \sin(\alpha)\right) dz + (z \cos(\alpha)) d\alpha$$

$$\frac{3}{4} \sin(\alpha) \frac{dz}{d\alpha} + z \cos(\alpha) - 1 = 0 \quad (40.2)$$

وهذه المعادلة تفاضلية خطية , ويكون حلها كالآتي

$$Z = \frac{1}{\sin^{4/3} \alpha} \left(\frac{4}{3} \int \sin^{1/3} \alpha d\alpha\right) + C_3 \quad (41.2)$$

وعندما تكون  $\alpha = 0$  تصبح  $C_3 = 0$  والحل يصبح

$$Z = \frac{4}{3} \frac{1}{\sin^{4/3} \alpha} \int \sin^{1/3} \alpha d\alpha \quad (42.2)$$

ويمكن تعيين قيمة هذا التكامل لقيم متغيرة من  $\alpha$  باستخدام الطرق البيانية , وبالتعويض في المعادلة (40.2) ينتج أن:

$$\delta = \Psi M^{1/4} = \Psi \left[ \frac{3\nu k(T_v - T_s)r}{\rho g L_{ev}} \right]^{1/4} \quad (43.2)$$

وكما هو واضح في المعادلة (22.2) فإن

$$h_x = k/\delta$$

نتيجة: ويتناقص سُمك طبقة التكثيف قليلا بزيادة الزاوية  $\alpha$  من صفر إلى  $5^\circ$  ثم يزداد السمك بعد ذلك بزيادة  $\alpha$  بانتظام

إلى أن تتبعثر طبقة التكثيف إلى نقط متناثرة . و أثناء التزايد المنتظم للغشاء , تكون قيمة معامل انتقال الحرارة المحلي

عند أي نقطة كالتالي:

$$h_{\alpha} = \frac{k}{\delta} = \frac{1}{\Psi} \left[ \frac{k^3 \rho g L_{ev}}{3\nu(T_v - T_s)r} \right]^{1/4} \quad (44.2)$$

وتصبح القيمة المتوسطة لمعامل انتقال الحرارة كجزء محصور بين الزاويتين  $\alpha_1, \alpha_2$  كما يلي :

$$\bar{h}_{\alpha} = \frac{k}{M^{\frac{1}{4}}(\alpha_2 - \alpha_1)} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{d\alpha}{\Psi} \quad (45.2)$$

وباستخدام إحدى الطرق البيانية , وبالتعويض عن قيمة  $D_0$  للقطر الخارجي للأنبوب, نحصل على القيمة التالية لمعامل انتقال الحرارة

لمجال الزاوية من صفر إلى  $90^{\circ}$

$$\bar{h}_{D_0} = 0,860 \left( \frac{k^3 \rho g L_{ev}}{\nu(T_v - T_s)D_0} \right)^{1/4} \quad (46.2)$$

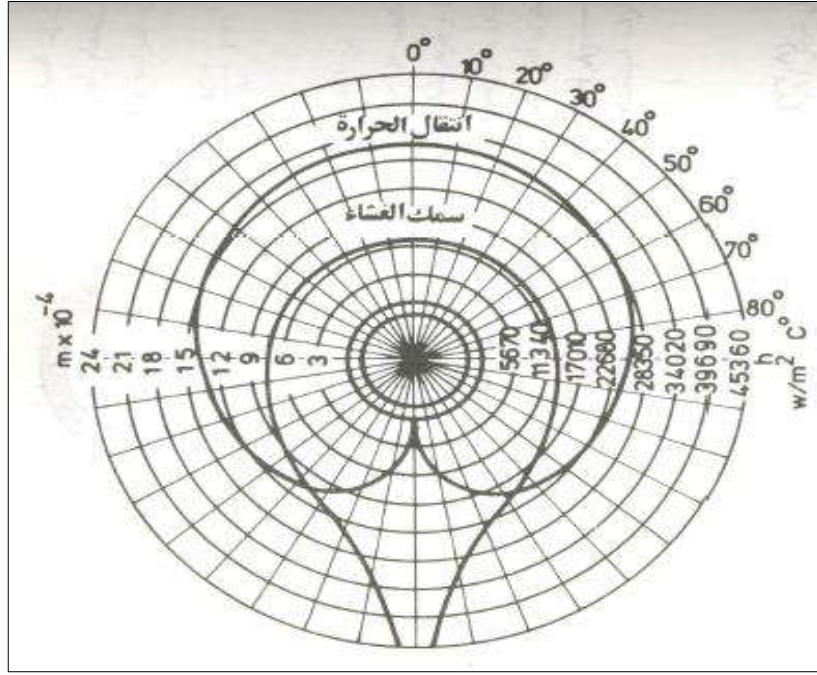
لمجال الزاوية من  $90^{\circ}$  إلى  $180^{\circ}$

$$\bar{h}_{D_0} = 0,589 \left( \frac{k^3 \rho g L_{ev}}{\nu(T_v - T_s)D_0} \right)^{1/4} \quad (47.2)$$

وبفرض وجود تماثل بين نصفى الأنبوب يصبح متوسط قيمة معامل انتقال الحرارة , على محيط الأنبوب كله كالتالي:

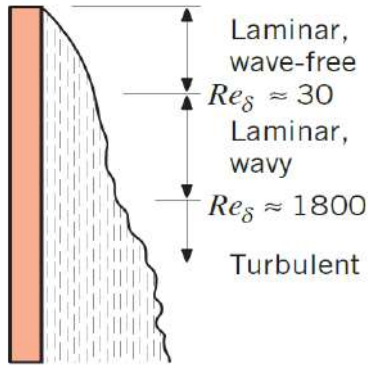
$$\bar{h}_{D_0} = 0,725 \left( \frac{k^3 \rho g L_{ev}}{\nu(T_v - T_s)D_0} \right)^{1/4} \quad (48.2)$$

ويوضح الشكل (8.2) التغيير في سُمك الطبقة العشائية لنواتج التكثيف , ومعامل انتقال الحرارة لبخار الماء على سطح أنبوب أفقي , ويعتمد معامل انتقال الحرارة على مقاومة غشاء التكثيف لانتقال الحرارة بالتوصيل , كما سبق ذكره



الشكل (8.2): سمك غشاء التكثيف ومعامل انتقال الحرارة حول أنبوب أفقي

تسلسل المعادلات الحسابية للمكثفات: لقد وجد ماك آدامز Mc Adams أثناء تحليله لنتائج العديد من الباحثين النتائج التالية:



**نتيجة 1:** أن قيمة معامل التكثيف لبخار الماء على الأنابيب الشاقولية تزيد بمقدار 75 في المائة عن القيمة النظرية له , والتي تم حسابها باستخدام المعادلة (25.2).

**نتيجة 2:** يوجد توافق بين القيمة النظرية والقيمة العملية للتكثيف ذي التدفق الرقائقي.

الشكل (9.2): التدفق الرقائقي

و الانتقالى و المضطرب

**نتيجة 3:** استنتج أنه عندما يتدفق سائل ما من أعلى سطح أنبوب شاقولي إلى أسفله فمن المؤكد أن يكون التدفق قرب أعلى الأنبوب من النوع الرقائقي.

**نتيجة 4:** كلما اتجهنا إلى أسفل الأنبوب تزداد كمية المتكثف , ولذلك نجد أن التدفق عند مقطع ما أسفل قمة الأنبوب يتحول إلى تدفق مضطرب.

نتيجة 5: يمكن تحليل النتائج في مثل هذه الحالات عن طريق معرفة قطر الأنبوب, وطوله, ولزوجة السائل, وكمية البخار المتكثف.

نتيجة 6: يكون التدفق عند أي مقطع أفقي للأنبوب مشابها للتدفق الحلقي بين أنبوبتين لمبادل حراري مزدوج الأنابيب، إلا أن السطح الخارجي لغشاء التكتيف لا يكون محددًا بأنبوب خارجي.

## II-7) الدراسة التحليلية لعملية التكتيف على أنبوب شاقولي:

ومن المعلوم أنه في حالة استخدام المبادل الحراري يكون القطر المكافئ لمسار التدفق مساوٍ لأربعة أضعاف نصف القطر الهيدروليكي, أي إن:

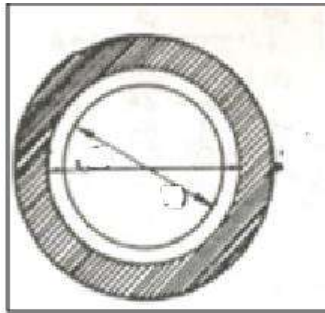
$$D_e = 4r_h \quad ; \quad Re = \frac{D_e u}{\nu} = \frac{D_e(\rho u)}{(\rho \nu)} = \frac{D_e \dot{m}}{\mu} \quad (49.2)$$

حيث  $\dot{m} = \rho u$  وتمثل تدفق كمية السائل بالنسبة لوحدة السطوح.

وبالنسبة للأنبوب الشاقولي كما هو موضح في الشكل (10.2) يكون  $D_e = 4A_f/P$ , حيث  $A_f$  هو سطح التدفق المحجوز من طرف السائل و  $P$  هو المحيط المبلل، وبفرض أن تدفق التكتيف لكل ثانية بالنسبة لكل أنبوب يساوي  $\dot{m} = \dot{m}_t/N_t$  حيث  $N_t$  تمثل إجمالي عدد الأنابيب و  $\dot{m}_t$  التدفق الإجمالي, فإن:

$$\dot{m} = \dot{m}_t/A_f$$

$$Re = \frac{D_e \dot{m}}{\mu} = \frac{\left(\frac{4A_f}{P}\right) (\dot{m}_t/A_f)}{\mu} = \frac{4\dot{m}_t}{\mu P} \quad (50.2)$$



الشكل (10.2): مقطع أفقي لغشاء شاقولي متساوٍ حول أنبوب شاقولي

وإذا كان تحميل التكثيف لكل وحدة أطوال (التدفق الكتلي للمتكثف بالنسبة لوحدة الأطوال التابعة للمحيط) هو

$$\dot{q} = \dot{m}/P \Rightarrow Re = \frac{4\dot{m}}{\mu P} = \frac{4\dot{q}}{\mu} \quad (51.2)$$

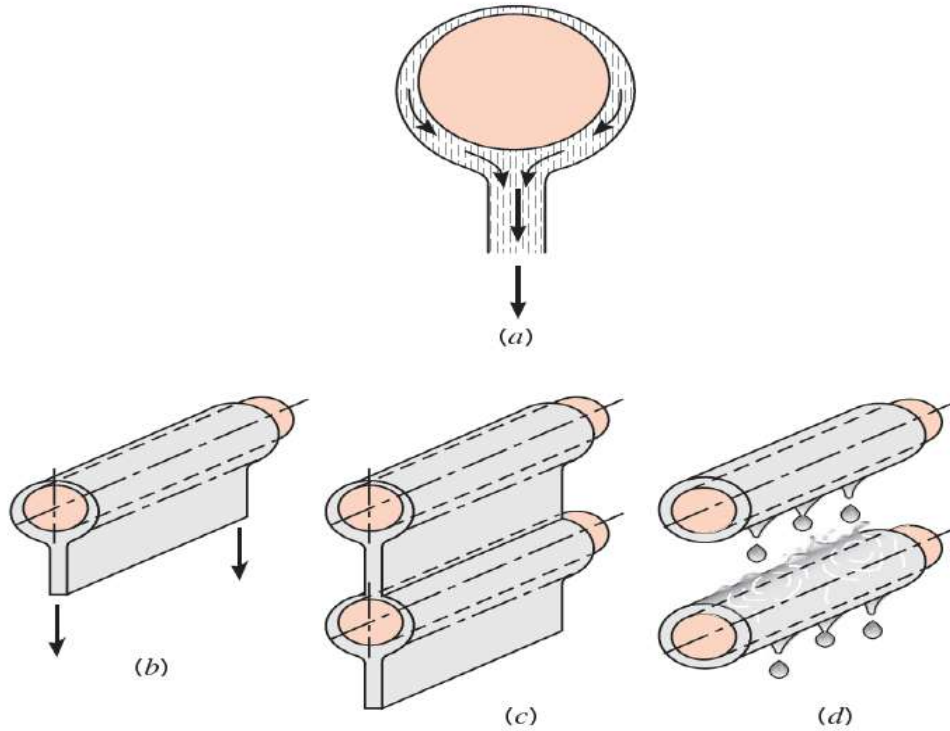
فإن الحمل الحراري الإجمالي المحسوب لكل مساحة السطح البارد هو :

$$Q = L_{ev}\dot{m}$$

$$\bar{h} = \frac{Q}{A_s \Delta T} = \frac{L_{ev}\dot{m}}{(P\ell)\Delta T} = \frac{L_{ev}}{\ell} \frac{\dot{q}}{\Delta T} \Rightarrow \frac{L_{ev}}{\ell} \frac{1}{\Delta T} = \frac{\bar{h}}{\dot{q}} \quad (52.2)$$

وبالتعويض في المعادلة (10.2) ينتج أن :

$$\bar{h} = 0,943 \left( \frac{k^3 \rho g}{\nu} \frac{L_{ev}}{\ell \Delta T} \right)^{1/4} = 0,943 \left( \frac{k^3 \rho g}{\nu} \frac{\bar{h}}{\dot{q}} \right)^{1/4} \quad (53.2)$$



الشكل (11.2) : غشاء شاقولي متساقط حول أشكال مختلفة لأنابيب أفقية

(a) حول كرة، (b) حول أنبوب واحد أفقي، (c) حول مجموعة من أنابيب الأفقية مشكلة ورقة تقطير مستمرة

(d) حول مجموعة من أنابيب الأفقية مشكلة تقطير نقطي غير مستمر

وبضرب الطرف الأيمن في  $(4\mu/4\mu)^{1/4}$  تصير المعادلة كالتالي:

$$\bar{h} = 0,943 \left( \frac{k^3 \rho g}{\nu} \frac{\bar{h}}{\dot{q}} \frac{4\mu}{4\mu} \right)^{1/4}$$

$$\bar{h} = 0,943 \left( \frac{4k^3 \rho g}{(\mu/\rho)} \frac{\bar{h}}{\dot{q}} \frac{\mu}{4\mu} \right)^{1/4} = 0,943 \left( \frac{4k^3 \rho^2 g}{\mu^2} \frac{\mu}{4\dot{q}} \right)^{1/4} \bar{h}^{1/4}$$

$$\bar{h} \cdot \bar{h}^{-1/4} = \bar{h}^{3/4} = 0,943 \left( \frac{4k^3 \rho^2 g}{\mu^2} \frac{1}{(4\dot{q}/\mu)} \right)^{1/4}$$

لدينا  $Re = 4\dot{q}/\mu$ ، ونرفع طرفي المعادلة للأس  $4/3$  فينتج:

$$\bar{h} = (0,943)^{4/3} \left( \frac{4k^3 \rho^2 g}{\mu^2} \frac{1}{(Re)} \right)^{1/3}$$

$$\bar{h} = (0,943)^{4/3} (4)^{1/3} \left( \frac{k^3 \rho^2 g}{\mu^2} \frac{1}{(Re)} \right)^{1/3}$$

$$\boxed{\bar{h} = 1,47 \left( \frac{k^3 \rho^2 g}{\mu^2} \right)^{1/3} (Re)^{-1/3}} \quad (54.2)$$

وبالنسبة للأنابيب الأفقية فإن المعادلة (54.2) تصير كالتالي:

$$\boxed{\bar{h} = 1,51 \left( \frac{k^3 \rho^2 g}{\mu^2} \right)^{1/3} (Re)^{-1/3}} \quad (55.2)$$

حيث إن تحميل التكتيف للأنبوبة المفردة الأفقية  $\dot{q}'$  (التدفق الكتلي لوحدة الأطوال الموافق لطول الأنبوب) يساوي

$$\dot{q}' = \frac{\dot{m}}{\ell \cdot N_t} \quad (56.2)$$

وباستخدام تحميل التكتيف المناظر و الموضح بالمعادلة (51.2)، أو المعادلة (56.2)، تبعاً للحالة تحت الدراسة

، فيمكن تمثيل المعادلتين (54.2)، (55.2) كما يلي

$$\bar{h} \left( \frac{\mu^2}{k^3 \rho^2 g} \right)^{1/3} = 1.47(4\dot{q}/\mu)^{-1/3} = 1.51(4\dot{q}'/\mu)^{-1/3} \quad (57.2)$$

و منه يصبح  $\dot{q}' < \dot{q}$  ، ولكي يصبح  $\dot{q}' = \dot{q}$  يجب أن نقترح الافتراضات التالية :

من الجدير بالملاحظة أن كلاً من المعادلتين (54.2), (55.2) قد تم استنباطها لحالة التكتيف على سطح أنبوب مفرد . وإذا تمت عملية التكتيف على سطح حزمة من الأنابيب الشاقولية , فإن وجود بقية أنابيب الحزمة لا يؤثر في قيمة الافتراضات التي اعتمد عليها الاستنباط السابق , والذي يمكن تطبيقه عملياً على أي أنبوب من أنابيب الحزمة . أما إذا كانت أنابيب الحزمة مرتبة في مستوى أفقي فإن السائل المكثف على الأنابيب العلوية يتقطر فوق الأنابيب التالية لها أو الأدنى منها , ويتسبب في إيجاد قيمة تتناسب عكسياً بين  $\dot{q}'$  , بدلاً من  $N_t^{2/3}$  وفي مثل تلك الحالات فإنه من المألوف استخدام قيمة فرضية لأنابيب الأفقية (و قد أثبتت تجريبياً) كما يلي

$$\dot{q}' = m/\ell N_t^{2/3} \quad (58.2)$$

يمثل الشكل (12.2) الحل البياني للمعادلة (58.2) ولاستعمال هذا الشكل يشترط أن يكون التدفق في غشاء التكتيف من النوع الرقاقي وبالتالي يناظر قيمة متوسطة لعدد رينولدز  $Re$  بين 2100 إلى 1800 للسائل المكثف . وإذا كانت الحالة تتضمن تكتيف بخار الماء عند الضغط الجوي فإن المعادلة (57.2) تشابه المعادلة المعطاة تجريبياً بوساطة ماك آدمز Mc Adams كما يلي :

للأنابيب الأفقية (حيث  $D_0$  القطر الخارجي للأنبوب الأفقي):

$$\bar{h}_{D_0} = \frac{3100}{D_0^{1/4} \Delta T^{1/3}} \quad (59.2)$$

للأنابيب الشاقولية (حيث  $\ell$  طول الأنبوب الشاقولي):

$$\bar{h}_\ell = \frac{4000}{\ell^{1/4} \Delta T^{1/3}} \quad (60.2)$$

حيث  $\Delta T$  تتراوح بين 5 إلى 85 درجة مئوية.

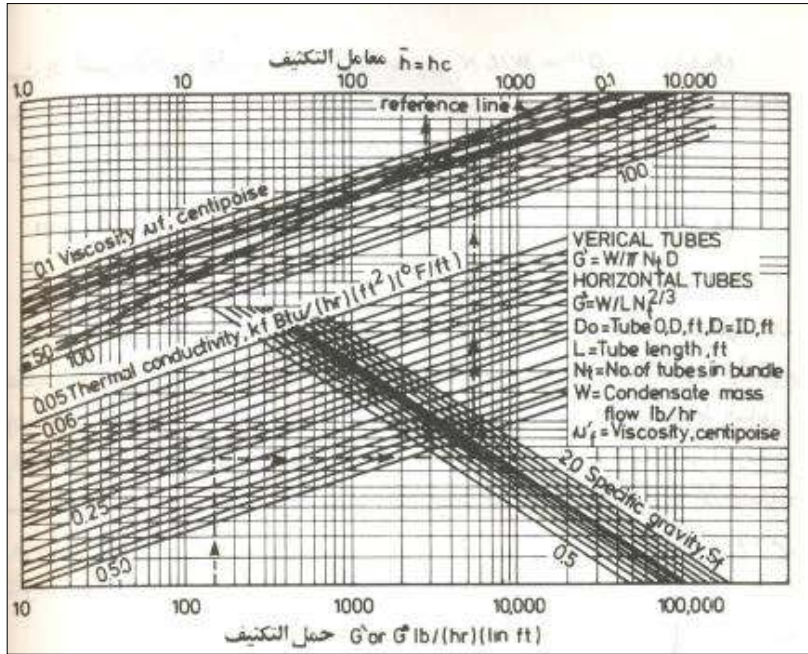
نتيجة 1: يمكن استخدام المعادلات (54.2), (55.2), (57.2) لحسابات التكتيف في المكثفات ذات الصدفية الأسطوانية والأنابيب (Shell and tube heat exchanger) حيث يتم التكتيف على سطح الأنابيب

الباردة داخل فراغ الصدفية الأسطوانية. وفي مثل تلك المكثفات, نثبت حزام أنابيب ذات ألواح أو حواجز اعتراضية لمسار البخار. ففي المكثفات الأفقية لا يؤثر وجود تلك الحواجز الاعتراضية على قيمة معاملات التكتيف, حيث أنها لا تعتمد على السرعة الكتلية للبخار, في حين أن هذه الحواجز تؤثر على آلية تجميع السائل المتكثف على سطح أنابيب المكثفات الشاقولية, بالإضافة إلى ذلك, تختلف درجة حرارة سطح الأنبوب (في المكثفات ذات مسارات الأنابيب المتعددة) عند كل نقطة في كل مسار, بينما يفترض ثبوتها في التحليل النظري السابق.

**نتيجة 2:** يصعب عمل التصحيح المطلوب لحالة وجود حواجز (مكثف أفقي أو شاقولي) أثناء إجراء الحسابات النظرية للحالة, إلا إذا تمت معالجة كل جزء صغير من السطح في كل مسار على حدى. وهذا يتطلب, في حد ذاته, مجهوداً إضافياً كبيراً جداً. و من حسن الحظ إنه عند استعمال درجة حرارة متوسطة فعالة للسطح كله تكون نسبة الخطأ منخفضة جداً, مما لا يبرر استعمال الحسابات المطلوبة المعقدة.

**نتيجة 3:** بالإضافة إلى ذلك, فإن طريقة تركيب و تصميم مثل تلك المكثفات الشاقولية ذات الألواح الاعتراضية تُحسِّن الوضع كثيراً. وحيث إن ثقوب الأنابيب الموجودة في الألواح الاعتراضية تكون عادة أكبر من القطر الخارجي للأنابيب المارة في الثقوب بحوالي 0.80 ملمتر فإن ذلك السماح بمنع سُمك غشاء التكتيف من أن يزيد عن 0.40 ملمتر, بعد أن يرتطم الغشاء الساقط باللوح الاعتراضي, ومثل هذا الوضع مرغوب فيه بطبيعة الحال ماعدا في حالات تحميل التكتيف العالي لأنابيب المكثف, حيث يزداد سُمك الغشاء بسرعة و يتحول إلى تدفق مضطرب.





الشكل (12.2): معاملات التكثيف الخاصة بحل المعادلة (2.58).

II-8) المقارنة بين التكثيف على السطوح الأفقية و الشاقولية : من المعروف أن معاملات التكثيف لكمية معلومة من البخار على سطح أنبوب ما، تتأثر بدرجة كبيرة بوضع ذلك الأنبوب داخل حزمة المكثف. ففي حالة المكثفات الشاقولية مثلا يتكثف حوالي 60% من البخار على النصف العلوي لسطح الأنبوب. وبضم المعادلات (2.25)، (2.48) نحصل على النسبة بين المعاملات النظرية للتكثيف على الأنابيب الأفقية و الشاقولية كما يلي

$$\frac{\bar{h}_\ell}{\bar{h}_{D_0}} = \frac{0,725 \left( \frac{k^3 \rho g L_{ev}}{v(T_v - T_s) D_0} \right)^{1/4}}{0,943 \left( \frac{k^3 \rho g L_{ev}}{v(T_v - T_s) \ell} \right)^{1/4}} = \frac{0,725}{0,943} \left( \frac{\ell}{D_0} \right)^{1/4} = 0.769 \left( \frac{\ell}{D_0} \right)^{1/4}$$

$$\boxed{\frac{\bar{h}_\ell}{\bar{h}_{D_0}} = 0.769 \left( \frac{\ell}{D_0} \right)^{1/4}} \quad (61.2)$$

من هذه المقارنة النظرية يمكن أن نقارن أداء المكثفات في الوضعتين الشاقولية و الأفقية و ندعم المقارنة بتجارب عملية،  
والنتائج كما يلي :

نتيجة 1: نظرياً لكي يتساوى  $\bar{h}_\ell$  و  $\bar{h}_{D_0}$  يجب أن يتوفر قيمة للكسر التالي :

$$\frac{\ell}{D_0} = 2,86 \quad (62.2)$$

نتيجة 2: مثلاً فإن معاملات التكتيف على أنبوب أفقي قطره 19 ملليمتر, وطوله 480 سنتيمتر يجب أن يعادل أكثر من ثلاثة أضعاف المعامل في حالة وضعه الشاقولي (الأفقي أفضل من الشاقولي في انتقال الحرارة) وبفرض أن تدفق الغشاء المكثف رقائقياً على كل السطح. ولكن الحقيقة ليست على هذه الدرجة من التميز بسبب التغيرات التي تطرأ على الوضع في كلتا الحالتين. مثال على ذلك , تحوُّل التدفق في الغشاء المتكون على الأنبوب الشاقولي من الحالة الرقائقية إلى الحالة المضطربة.

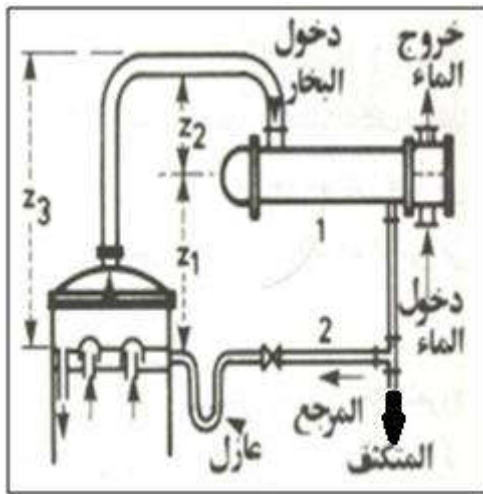
نتيجة 3 : وفي حالة تكتيف بخار العادم المطرود من توربينة بخارية, حيث يكون ضغط البخار المطرود أقل كثيراً من الضغط الجوي, حوالي 0,05 atm, فإن مساحة السطوح لتلك المكثفات قد تتراوح من 900 إلى 5400 متر مربع للمكثف الواحد, وتصل أطوال الأنابيب المستخدمة إلى 7,5 متر. هذه المكثفات الضخمة تصمم باستخدام قيمة عالية للمعامل الكلي لانتقال الحرارة , والتي قد تصل إلى 4,5 KW/m<sup>2</sup>. K وغالباً ما يتم إنشاء هذه المكثفات أفقياً لتسهيل عملية توزيع البخار, وإزالة السائل المكثف من الأسطوانة.

نتيجة 4 : وفي حالة استخدام مكثف ما على أحد أعمدة التقطير, فلا بد من مراعاة بعض العوامل المحددة, والتي لا بد من أخذها في الاعتبار. ونموذج ترتيبات مثل هذا المكثف موضحة بالشكل (13.2) وفيها يرجع السائل المعاد إلى عمود التقطير تحت تأثير الجاذبية الأرضية ولا بد أن يكون ارتفاع المكثف  $Z_1$  كافياً لتوليد الضغط الثقالي المطلوب لإعادة السائل المكثف (المعاد) إلى عمود التقطير خلال عازل منع التسرب .

نتيجة 5 : وفي حالة استخدام مكثف شاقولي لنفس الغرض كما في الشكل (14.2) يتضح أن مثل هذا المكثف لا يتناسب مع طريقة إعادة السائل المكثف بتأثير الجاذبية الأرضية, إلا إذا تم رفعه عالياً, أعلى من قيمة عمود التقطير, الذي يمكن أن يكون طويلاً جداً بذاته.

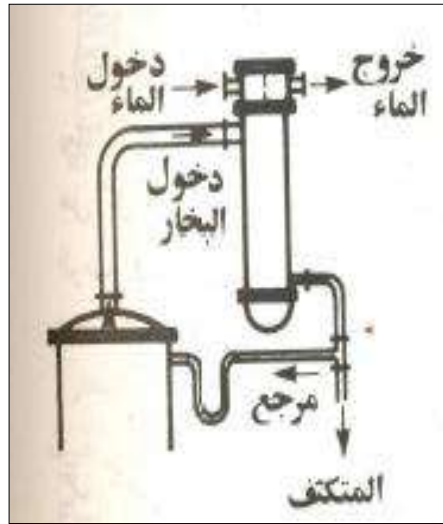
نتيجة 6: إن أعمال الصيانة والدعامات الإنشائية المطلوبة للمكثف الشاقولي ربما تكون باهظة التكاليف, وعلى درجة عالية من الصعوبة في التنفيذ.

**نتيجة 7:** أما إذا كان المطلوب ليس فقط تكثيف البخار العلوي فإن التبريد الدوري لنواتج التكثيف, في هذه الحالة يكون استخدام المكثفات الشاقولية مناسباً لتحقيق مثل ذلك الهدف. وعملية التبريد الدوري تعني تبريد السائل المكثف إلى درجة حرارة أقل من درجة حرارة التكثيف, ويحدث هذا عادة وبصورة متكررة عندما يكون البخار المعالج عبارة عن سائل متطاير مطلوب تخزينه. ويمكن عن طريق التبريد الدوري تفادي الفاقد الحراري الذي قد ينجم عن عمليات التبخير أثناء عملية التخزين الابتدائية. والجمع بين عملية التكثيف والتبريد الدوري في وحدة واحدة يلغي الحاجة إلى مبرد منفصل للمنتجات المكثفة.



الشكل (14.2) :

مكثف ذو مرجع بالجاذبية (شاقولي)



الشكل (13.2) :

مكثف ذو مرجع بالجاذبية (أفقي)

## II-9) التكثيف داخل الأنابيب :

أولاً (المكثفات الأفقية): إن استخدام التكثيف داخل الأنابيب له أهداف يحققها وهي

**الهدف 1 :** إن المعادلات التي سبق استنباطها يمكن أن تعطي نتائج جيدة عند تطبيقها على عمليات التكثيف على السطوح الخارجية للأنابيب , ولم تظهر فروق كبيرة للمكثفات الصناعية إلا في حالات قليلة. ولا تتم كل عمليات التكثيف خارج الأنابيب كما سبق , ولكن قد يكون السائل المتكثف ذو طبيعة تآكلية بالنسبة للمعادن, أو أن تكون هناك ضرورة لاستعادة الحرارة الكامنة من البخار المتكثف, لاستخدامه في عمليات التسخين الابتدائية لتغذية عمود

التقطير مثلا. ويستحسن في تلك الحالة أن يتم التكتيف على السطح الداخلي للأنايب بدلاً من سطحها الخارجي, وهنا لا يمكن تطبيق المعادلات التي استنبطت في هذا الفصل.

**فرضية:** نفترض أن كمية متساوية من البخار تتكثف داخل كل أنبوب من أنابيب المسار بدون تغيير في معامل التكتيف من أنبوب إلى آخر, هذا من ناحية ويرجع ذلك إلى عدم تأثير أي أنبوب على الآخر, كما هو الحال في التكتيف خارج الأنايب , حيث تتناثر نواتج التكتيف من أي أنبوب إلى الأنايب التي تليه في الصفوف الشاقولية.

**مواصفات التكتيف داخل الأنايب الأفقية:** فبينما يكون معامل التكتيف ثابتاً بطول الأنبوب في حالة التكتيف على سطحه الخارجي, فإن معامل التكتيف يتغير في حالة التكتيف داخل الأنبوب, حيث يتجمع السائل المتكثف في قاع الأنبوب ويزداد سمك طبقة السائل المتكثف بزيادة طول الأنبوب. وتمثل هذه الطبقة مقاومة عالية لانتقال الحرارة أكبر بكثير من تلك المفترضة في استنباطات المعادلات السابق ذكرها. والمعلومات النظرية المتوافرة عن مثل هذا الوضع قليلة , بحيث لا تسمح بتحليل مناسب له ولقد وجد انه بالإمكان إيجاد قيمة معامل الغشاء تقريبا باستخدام المعادلة (55.2), إذا تم حساب  $(\dot{q}')$  والتي تساوي نظريا قيمة  $m/\ell N_t$  باستبدالها بمعادلة تحميل التكتيف الافتراضي كالتالي:

$$\dot{q}' = \frac{m}{\ell(0,5N_t)} \quad (63.2)$$

ولهذه المعادلة ميزة خاصة عند تكتيف البخار في الأنبوب الداخلي لمبادل حراري مزدوج الأنايب. وعند حدوث التكتيف داخل أنابيب مكثف متعدد المسارات, فيستحسن إيجاد قيمة متوسطة لمعامل غشاء التكتيف لكل مسار على حدة, لأن نواتج التكتيف في المسار الأول سوف تحمل خلال المسار الثاني بوساطة أي عدد من الأنايب السفلية في المسار, ويحتمل أن تمتلئ أي من هذه الأنايب بالسائل المتكثف, وبالتالي لا يكون هناك مجالا لتكتيف أي بخار إضافي بها. وفي هذه الحالة تتم الحسابات على أساس التجربة والخطأ, حتى نحصل على التحميل الحقيقي للتكتيف لكل أنبوب في كل مسار [6].

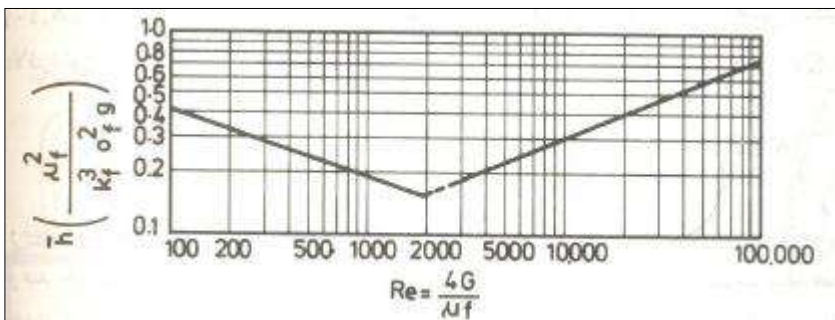
**مواصفات التكتيف داخل الأنايب الشاقولية:** تكون آلية التكتيف داخل الأنايب الشاقولية مشابهة تقريبا لآلية التكتيف خارج الأنايب الشاقولية بفرض إهمال التداخل بين غشاء التكتيف والألواح الاعتراضية. وفي كلتا الحالتين يزداد سمك التكتيف ويستمر نموه أثناء نزوله أسفل سطح الأنبوب من الداخل أو الخارج. ونتيجة لذلك, فهناك احتمال لتغيير نوع التدفق من النوع الرقاقي إلى النوع المضطرب , عند ارتفاعات معينة مابين القمة والقاع للأنبوب ويتناقص المعامل

المحلي للتكتيف باستمرار من القمة متجها إلى أسفل الأنبوب حتى مكان حدوث التغير في نوع التدفق من رقائقي إلى مضطرب بعد حدوث هذا التحول يزداد معامل التكتيف طبقا لما هو معروف عن طبيعة آلية انتقال الحرارة بالحمل القسري.

ولقد توصل كولبرن Coloburn بطريقة شبه تجريبية إلى ربط تأثير التدفق الانسيابي أو الرقائقي على الجزء العلوي من طول الأنبوب، بتأثير التدفق المضطرب حتى الطول المناظر للقيمة  $4\dot{q}/\mu = 2100$  ويستلزم ذلك اختيار معامل انتقال حرارة بالحمل القسري تكون قيمته عند نقطة تغيير نوع التدفق متساوية لكل من التكتيف المستنبط بمعادلة نوسلت والتدفق المضطرب. بعد هذا حصل كولبرن على المعامل المتوسط للتكتيف على طول الأنبوب عن طريق تعديل قيمة المعامل المتوسط للجزء العلوي، ومعامل انتقال الحرارة للتدفق المضطرب على الجزء السفلي من طول الأنبوب، أما إذا كانت  $4\dot{q}/\mu > 2100$ ، فإن قيمة المعاملات المتوسطة للتكتيف على كل الأنبوب يمكن حسابها من الشكل (15.2) والذي يشمل أيضا القيم التي أوصى بها ماك آدمز .

أما معامل التكتيف في المسافة من قمة الأنبوب وحتى المقطع الذي يحدث عنده تغير نوع التدفق فيمكن حسابه باستخدام الاستنباط شبه التجريبي الذي أجراه نوسلت ، والذي يقوم على أساس أن مثل هذا التغير يتم عند  $4\dot{q}/\mu = 1400$  عند تكتيف بخار الماء، ثم تطبق المعادلات (10.2)، (20.2)، وإذا افترضنا أن هذه المسافة تسمى  $X_c$  مقاسة من قمة الأنبوب فإنها تساوي بالأقدام مايلي:

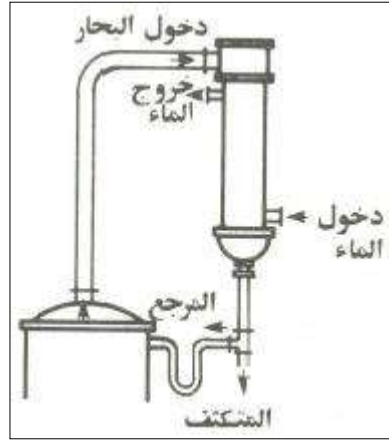
$$X_c = \frac{2668 L_{ev} \mu^{5/3}}{\rho^{2/3} k g^{1/3} (T_v - T_s)} \quad (64.2)$$



شكل (15.2) : منحنى شبه تجريبي للتكتيف باستخدام الأنابيب الشاقولية.

وعند وجود دليل على أن تغير نوع التدفق يحدث قيم  $4\dot{q}/\mu > 1400$  كما هو الحال في الأبخرة العضوية، فإنه لا بد من ضرب قيمة  $X_c$  في النسبة بين القيمة المعدلة  $4\dot{q}/\mu$  وقسمتها على 1400.

وبطبيعة الحال فعند استخدام مكثف شاقولي يتم فيه التكثيف داخل الأنابيب, فإن هذا المكثف سوف يشتمل على مسار واحد للأنابيب كما هو موضح بالشكل (16.2) .



شكل (16.2): التكثيف داخل أنابيب مكثف شاقولي

**حسابات المكثف :** يفضل تصنيف أنواع المكثفات بحسب العمليات التي تتم بداخلها بدلاً من تصنيفها تبعاً لموقع العملية أو الأداء المطلوب منها , فعالباً ما تستخدم المكثفات -إلى جانب عملية التكثيف- في عملية إزالة التحمية من البخار أو إحداث تبريد دوبي لنواتج التكثيف,وبذلكتلقى الحاجة إلى استخدام أسطوانات خاصة لانتقال الحرارة المحسوسة. وطريقة تصنيف المكثفات التي تدل على تعديل أو تمييز في حساباته عن الآخرين تتم بالطريقة التالية

## II (10- الأبخرة المفردة (بخار مركب أو خليط ثابت الغليان):

أ-بخار مشبع : تكثيف كلي أو جزئي على السطح الخارجي للأنبوب.

ب-بخار مسخن : إزالة التحمية والتكثيف من السطح الخارجي للأنابيب.

ج-بخار مشبع: تكثيف وتبريد دوبي على السطح الخارجي للأنابيب.

د- تكثيف داخل الأنابيب:إزالة التحمية والتكثيف والتبريد الدوبي.

هـ- تكثيف بخار الماء : يمكن استعمال تكثيف داخلي أو خارجي.

خليط الأبخرة (تطبيق قاعدة الأطوار)

أ-المخاليط الثنائية.



ب- خليط أبخرة ذو مجال تكثيف واسع : مثل البترول.

ج- مخاليط الأبخرة المكونة لنواتج تكثيف غير قابلة للمزج.

د- بخار مفرد أو أبخرة مصحوبة بغازات غير قابلة للتكثيف.

هـ- مخاليط أبخرة وغازات غير قابلة للتكثيف, ومكونة لنواتج تكثيف غير قابلة للمزج.

وفي جميع الحالات من أ-د فإن غالبية المكثفات تكون نماذج مُعدّلة من المبادل الحراري طراز 1-2, ويمكن تسميتها بالمكثفات 1-2. واستعمال هذا المبادل الحراري لمكثف يتطلب عمل احتياطات لزيادة مقطع المدخل, حتى لا يتعرض البخار لهبوط كبير في الضغط عند دخوله أسطوانة المكثف. ويمكن تحقيق هذا الهدف بإحدى الطرق الثلاث الآتية:

أولاً: بإدخال البخار عن طريق حزام بخار كما في الشكل (2. 17).

ثانياً: عن طريق استخدام أسطوانة ذات فوهة مفلجة كما في الشكل (2. 18).

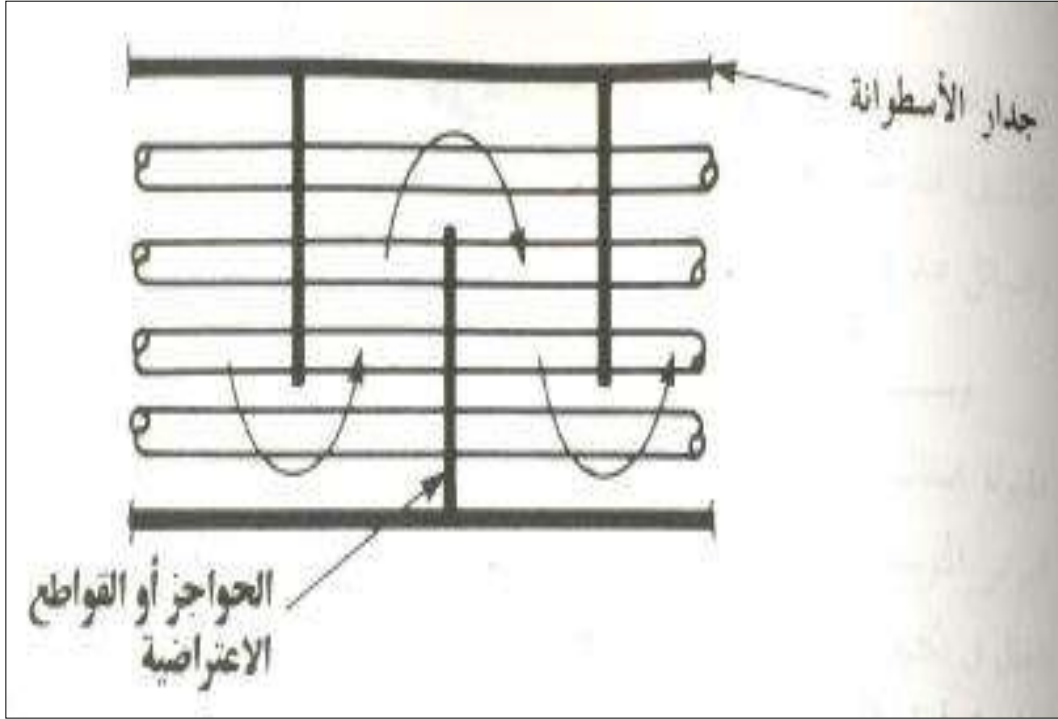
ثالثاً: بالطريقة التي تتلخص في إزالة بعض الأنابيب من حزمة الأنابيب القريبة من فتحة المدخل للأسطوانة. وبالرغم من أن عملية التكثيف تؤدي إلى نقص كبير في حجم البخار المستعمل, إلا أنها تتم تقريبا عند ضغط ثابت, عدا فاقد الضغط, نتيجة للاحتكاك بدءاً من فوهة المدخل وحتى فوهة المخرج. وفي حالة المكثفات الأفقية ذات الألواح الاعتراضية والمقطع الدائري المعتاد, يفضل أن يكون سريان مائع التبريد والبخار جنباً إلى جنب وليس لأعلى ولا أسفل, كما في الشكل (2. 19).



الشكل (2.18) : الفوهة المفلجة.



الشكل (2.17) : حزام البخار.



شكل (19.2): سريان لأعلى ولأسفل داخل الأستوانة.



# الفصل الثالث

## عتاد التبريد في محطات توليد الطاقة بالبخر

يحتوي هذا الفصل على مختلف عتاد التبريد المدمجة في محطة توليد الطاقة بالبخر والمتمثلة في:

- برج تبريد وطريقة عمله.
- تبريد المكثفات بالماء والهواء.
- مشكل تحلية مياه التبريد (البحر أو النهر).
- مشكل التلويث (المائي أو الجوي) وتشكل أمطار حمضية.
- مشكل التآكل في معدات التبريد.
- مشكل الأخطار الطبيعية (المد والجزر-الفيضانات-تسونامي). المهتدة  
لسلامة القلب النووي.

**III-1) تمهيد:** المكثف عبارة عن مبدل حراري يتم تبريده بالماء أو الهواء، ويعتبر جهاز التبريد جزء مهم بالنسبة لظاهرة التكثيف إذ أنه يقوم بتبريد المائع الذي يبرد البخار ليتحول إلى سائل والذي يعمل وفق برج التبريد إلا أن تواجهه عدة مشاكل والتي سنتطرق إليها في هذا الفصل والمتمثلة في مشكل تحلية مياه التبريد ومشكل تآكل المعدات، مشكل التلويث، الأخطار الطبيعية.

**III-2) برج التبريد:** هو جهاز طرد الحرارة الذي يرفض تبديد الحرارة إلى الغلاف الجوي عن طريق تبريد مجرى مائي إلى درجة حرارة منخفضة. قد تستخدم أبراج التبريد إما تبخر من الماء لإزالة حرارة العملية وتبريد سائل العمل بالقرب من درجة حرارة الهواء الرطب أو في حالة أبراج التبريد الجافة ذات الدائرة المغلقة، تعتمد فقط على الهواء لتبريد سائل العمل بالقرب من درجة حرارة الهواء الجاف.

تشمل التطبيقات الشائعة تبريد المياه المتداولة المستخدمة في مصافي نפט البتر وكيمياويات وغيرها نباتات كيميائية محطات الطاقة الحرارية محطات الطاقة النووية والتدفئة والتهوية وتكييف الهواء أنظمة تبريد المباني. يعتمد التصنيف على نوع تحريض الهواء في البرج: الأنواع الرئيسية لأبراج التبريد هي مشروع طبيعي ومشروع يسببها أبراج التبريد.

تختلف أحجام أبراج التبريد من وحدات صغيرة على السطح إلى كبيرة جدًا الهياكل الزائدية (كما في الصورة المجاورة) يمكن أن يصل ارتفاعها إلى 200 متر (660 قدمًا) وقطرها 100 متر (330 قدمًا)، أو الهياكل المستطيلة التي يمكن أن يزيد ارتفاعها عن 40 مترًا (130 قدمًا) و 80 مترًا (260 قدمًا) طويل. غالبًا ما ترتبط أبراج التبريد الزائدية ب محطات الطاقة النووية على الرغم من أنها تستخدم أيضًا في بعض المصانع التي تعمل بالفحم وإلى حد ما في بعض المصانع الكيماوية الكبيرة وغيرها من المصانع. على الرغم من أن هذه الأبراج الكبيرة بارزة جدًا، إلا أن الغالبية العظمى من أبراج التبريد أصغر كثيرًا، بما في ذلك العديد من الوحدات المثبتة في المباني أو بالقرب منها لتصريف الحرارة منها تكييف

### III-3) تبريد المكثفات بالماء والهواء:

#### أولاً: المكثفات المبردة بالهواء:

المكثفات المبردة بالهواء يطلق عليها اسم المكثفات الهوائية لأن الحرارة التي يتم سحبها من بخار وسيط التبريد ليتحول إلى سائل تنتقل إلى الهواء من خلال جدران مواسير المكثف - أي أن الهواء هو الذي يقوم بتبريد بخار وسيط التبريد الساخن بداخل المكثف .

سريان وسيط التبريد في المكثف:

إن الجاذبية الأرضية تساعد وسيط التبريد على السريان داخل المكثف ولذلك نجد أن مدخل غاز وسيط التبريد القادم من الضاغط يكون في أعلى بينما يكون مخرج سائل وسيط التبريد المتكثف عند القاع. الاستخدام:

تستخدم المكثفات المبردة بالهواء في الآتي:

- 1- المنشآت الأرضية
- 2- منظومات النقل الجوي
- 3- المناطق الصحراوية والمناطق التي لا يتوافر فيها الماء وتنقسم المكثفات المبردة بالهواء إلى نوعين هما:  
(أ) المكثفات المبردة بالهواء طبيعياً:

التركيب:

تتركب المكثفات التي تبرد بالهواء الطبيعي من مواسير مزودة بأسطح ثانوية عبارة عن أسلاك (زعانف) لزيادة فعالية الانتقال الحراري. وتصنع تلك المكثفات عادة من مواسير نحاس وأحياناً قليلة من مواسير ألومنيوم وتصنع الزعانف المركبة على هذه المواسير من الألومنيوم أو النحاس. أما إذا كان وسيط التبريد المستخدمة هو الأمونيا فتصنع المكثفات من المواسير من الصلب الذي لا يصدأ والزعانف من الألومنيوم.

نظرية العمل:

يدخل غاز مركب التبريد إلى المكثف ذو ضغط ودرجة حرارة مرتفعتين فيقوم الهواء الطبيعي الملامس للمكثف بعمل تبادل حراري بين الهواء البارد المحيط والغاز الذي درجة حرارة مرتفعة فيتحول الغاز إلى سائل عن طريق فقد حرارة في الهواء المحيط بالمكثف.

(ب) - المكثفات المبردة بالهواء الجبري:

التركيب:

هو عبارة عن مواسير من النحاس مزعنة موضوع عليها مروحة لزيادة عملية التبريد للسطح المعرض للتبريد.

نظرية العمل:

يدخل غاز وسيط التبريد للمكثف الذي يبرد بالهواء الجبري ذو ضغط ودرجة حرارة مرتفعتين فتقوم المروحة بدفع كمية من الهواء على ملف المواسير للمكثف فتعمل على جعل غاز مركب التبريد يفقد حرارة خلال الهواء المار على المواسير وبذلك يتحول الغاز إلى سائل تحت تأثير دفع الهواء الجبري على المواسير.

ثانياً: المكثفات المبردة بالماء

يستخدم هذا النوع من المكثفات المياه في تبريد وتكثيف وسيط التبريد الخارج من الضاغط لتحويله مره أخرى إلى سائل واستقباله في خزان سائل التبريد

درجة حرارة التكثيف وبالتالي ضغط الطرد تتوقف أساساً على درجة حرارة المياه المستخدمة في تبريد المكثف . ويتم تكثيف وسيط التبريد عند درجة حرارة من 8 إلى 510س أعلى من درجة حرارة الماء المستخدم. وعلى ذلك فإن ضغط

ودرجة حرارة التكتيف لهذا النوع من المكثفات يكون أقل من مثيلة في المكثفات المبردة بالهواء وبالتالي يكون استهلاك الكهرباء وتكلفة التشغيل منخفضة ويوصى باستخدام هذا النوع من المكثفات في دوائر التبريد ذات السعات الكبيرة وعند توفر مصادر للمياه.

وتصنع هذه المكثفات من أحد الأنواع التالية :-

الغلاف والأنبوب & tube shell

الغلاف والملف shell&coil

الغلاف والخزان shell& tank

السطح المستوي flat plate

أنبوب داخل أنبوب in tube tube

وأشهر هذه الأنواع هو النوع الأول ويتكون من جسم أسطواني الشكل مصنع من الصلب بسمك مناسب للضغط داخله ، ويمر بداخله عدد من مواسير الصلب المسحوب على البارد دون لحامات seamless tubes بأطوال وأقطار تحقق مسطح تبريد مناسب لعملية التبادل الحراري بين الغاز الساخن الخارج من الضاغط والمنتشر داخل الجسم الأسطواني حول هذه المواسير وبين مياه التبريد المارة بها حيث يحدث نتيجة هذا التبادل الحراري تكتيف الغاز الساخن وتحويله إلى سائل يتم تجميعه في خزان سائل التبريد ويمكن أن يكون المكثف مكونا من مجموعة واحدة من المواسير أو عدة مجموعات توصل مع بعضها.

### III-4)مشكل تحلية مياه التبريد (البحر أو النهر).

#### III-4-1)مقدمة عن محطة تحلية مياه البحر:

تعتبر المياه من العناصر الأساسية في الحياة بالنسبة للإنسان أو الحيوان أو النبات، ومن ثم ظهرت الاستفادة من جميع مصادر المياه بما في ذلك المياه المالحة وتحليتها حيث أن مصادر المياه العذبة غير موجودة بكل الأماكن، هناك عدة طرق لتحلية المياه غير العذبة.

#### الطريقة الأولى: في إنشاء محطة تحلية مياه البحر هي التقطير:

بمعنى رفع درجة حرارة المياه المالحة الموجودة بالبحار إلى درجة الغليان لتتبخر المياه ثم يتم تكتيفها من خلال أسطح وتعود لتبقى مياه عادية بدون أملاح وهناك طريقتين للتقطير يتم غلي المياه في خزان بدون ضغط ، ليصعد بخار الماء اعلي الخزان ويخرج عبر مسار محدد إلى المكثف الذي يقوم

بتكثيف المياه وتتجمع المياه في خزان المياه لتكون مياه صالحة للشرب .

وهي طريقة تسمى التقطير الموضعي وتستخدم في المحطات ذات الطاقة الإنتاجية العالية، حيث تمر مياه البحر إلى غرف متتالية ذات ضغط منخفض وتتحول إلى بخار ماء يُكثف علي أسطح باردة ويتم تجميعه بعدها إلى مياه صالحة للشرب .

**الطريقة الثانية: في إنشاء تحلية مياه البحر هي التناضح العكسي:**

هي عملية حديثة بالنسبة لعملية التقطير، عبارة عن فصل الماء عن محلول ملحي مضغوط من خلال غشاء للفصل فيتم ضخ المياه في وعاء مغلق ويضغط علي الغشاء فيخرج جزء من المياه وتزيد نسبة الملح في المياه المتبقية في الوعاء ويتم التخلص من كمية كبيرة من المياه الموجودة بسبب كمية الأملاح الموجودة بها .

**الطريقة الثالثة: في إنشاء محطة تحلية مياه البحر هي البلورة أو التجميد:**

تعتمد هذه الطريقة على أن تجميد المياه المالحة وتكوين بلورات ثلجية يؤدي لخلو هذه البلورات من الأملاح وهي حقيقة علمية مثل تبخر المياه للتخلص من الأملاح في طريقة التقطير ، وهذه هي الفكرة الأساسية في هذه الطريقة وتتم عن طريق طريقتين :

أ ( التجميد المباشر .

ب ( التجميد غير المباشر .

### III -5) التلوث المائي والجوي :

التلوث البيئي هو إضافة عنصر غير موجود في النظام البيئي ، أو انه يزيد أو يقلل وجود احد عناصره بشكل يؤدي إلى خلل في التوازن البيئي .

### III-5-1) التلوث الجوي :

يعتبر أكثر أشكال التلوث انتشارا نظرا لسهولة انتقاله وانتشاره من منطقة إلى أخرى في فترة زمنية قصيرة، يحدث التلوث الهوائي عندما تتواجد جزيئات أو جسيمات عضوية أو غير عضوية في الهواء بكميات كبيرة وتحدث ضررا في العناصر البيئية، يؤثر هذا النوع من التلوث على الإنسان والحيوان والنبات تأثيرا مباشرا ويخلف أثارا بيئية وصحية واقتصادية .

يؤثر التلوث الهوائي على الحيوانات ويصيبها بالأمراض المختلفة ويقلل من قيمتها الاقتصادية أمانا تأثيره على النباتات فيتمثل في انخفاض الإنتاجية الزراعية للمناطق التي تعاني من زيادة تركيز الملوثات الهوائية، بالإضافة إلى ذلك يؤثر تلوث

الهواء على النظام المناخي للككرة الأرضية، لان زيادة تركيز بعض الغازات مثل ثاني أكسيد الكربون يؤدي إلى الانحباس الحراري الذي يزيد من حرارة الجو، وما يتبع ذلك من تغيرات مناخية يمكن أن تكون لها عواقب خطيرة على الكون، ينتشر التلوث الهوائي في مناطق الصناعة البترولية والبتر كيميائية مثل أرزيو، الجزائر، سكيكدة، الشلف، وكذلك بالقرب من مصانع الاسمنت مثل مصنع زهانة معسكر، والمراكز الحرارية لتوليد الطاقة الكهربائية

### III-5-2) التلوث المائي :

ويقصد به إحداث خلل في نوعية المياه، ونظامها الايكولوجي، وتصبح بذلك غير صالحة لاستخدامها الأساسية. أصبح التلوث المائي مشكلة كثيرة الحدوث نتيجة النشاط البشري المتزايد، وخاصة التنمية الاقتصادية التي تتطلب نقل المواد الخام عبر المحيط المائي، لان معظم الصناعات في الوقت الحاضر تطل على الساحل، ويعتبر النفط الملوث الأساسي للبيئة البحرية،

للآثار المائي أثار بيئية ضارة، وقاتلة لمكونات النظام الايكولوجي، حيث تقضي على الكائنات النباتية والحيوانية، وتؤثر بشكل واضح على السلسلة الغذائية، كما أن الملوثات العضوية تعمل على استهلاك جزء كبير من الأوكسجين الموجود في الماء أما البقع الزيتية الطافية فوق المياه فتعيق دخول الأوكسجين وأشعة الشمس التي تعتبر ضرورية لعمليات التمثيل الضوئية. أكثر المناطق تعرضا للتلوث المائي في الجزائر، هي السواحل التي تطل عليها المراكز الصناعية مثل وهران، مستغانم، أرزيو، الجزائر، سكيكدة، عنابه، وكذلك الأودية التي تصب فيها نفايات المصانع، والمياه المستعملة للمدن.

### III-6) مشكل التآكل في المعدات:

(أ) تعريف التآكل: هو تلف أو تحطم المعدن بصورة تدريجية نتيجة تفاعل كيميائي، والتآكل ينطبق على تلك العملية التي تتحول فيها فلزات غير متحدة إلى مركبات.

### (ب) أثار التآكل:

نظرا لتآكل أطراف الأنبوب، هناك احتمال تسرب مياه التبريد إلى جانب البخار مما يؤدي إلى تلويث البخار المكثف أو المكثف وهو أمر ضار مولدات البخار. قد تتأثر الأجزاء الأخرى من صناديق المياه أيضا على المدى الطويل مما يتطلب إصلاحات أو عمليات استبدال تتضمن فترات إغلاق طويلة.

## (د) الحماية من التآكل:

يستخدم عادة للتغلب على هذه المشكلة الأنودات القربانية من الزنك كونها أرخص يتم تركيب الألواح في أماكن مناسبة داخل صناديق المياه ، سوف تتآكل ألواح الزنك هذه أولا كونها في أدنى نطاق من الأنودات .ومن ثم تتطلب أنودات الزنك هذه الفحص الدوري والاستبدال هذا ينطوي على وقت تعطل أقل نسبيا صناديق المياه المصنوعة من ألواح الصلب محمية أيضا بالداخل بواسطة طلاء إيبوكسي

## III-7) مشكل الأخطار الطبيعية :

**1-أ) تعريف المد والجزر:** ظاهرة طبيعية من مرحلتين تحدث لمياه المحيطات والبحار، مرحلة المد يحدث فيها ارتفاع وقي تدريجي في منسوب مياه سطح المحيط أو البحر. ومرحلة الجزر يحدث فيها انخفاض وقي تدريجي في منسوب مياه سطح المحيط أو البحر، وغالبا ماتكون في المناطق الساحلية المجاورة لمياه البحار والمحيطات، بحيث يكون على شكل موجات من المياه التي من الممكن أن تغطي الساحل

**1-ج) تأثير المد والجزر على العوامل البيئية والجوية :** يؤثر حدوث المد والجزر على مستويات الأمطار التي تهطل وعلى مستويات الضغط الجوي ، ويؤدي إلى تغيرات فيها ولكنها تكون غير ملحوظة ، فباختلاف وضع القمر يكون هناك ارتفاع أو انخفاض في ضغط الهواء ، وحسب هذا تتأثر الرطوبة الجوية ، الأمر الذي قد يزيد أو يخفض من نسبة الأمطار، فكلما ازداد الضغط الجوي ازدادت الرطوبة وبالتالي سيزيد منسوب الأمطار .

## 2) الفيضان :

الفيضان هو زيادة مفاجئة في منسوب المياه في مكان ماتؤدي إلى غمر الأرض اليابسة بالمياه في مكان كان بما سبق أرضا جافة ، أو يكون في الغالب موقعا جافا . وتحدث الفيضانات بالعادة عند المناطق المجاورة أو المحاطة بالمسطحات المائية ؛ كالبحار ، و الأزهار ، والبحيرات ، ومحيطات ، وذلك بسبب ارتفاع منسوب المياه في تلك المسطحات ، أو حدوث اضطرابات طبيعية أو صناعية تدفع الماء خارج نطاقه المعتاد . وقد تترك الفيضانات وراءها إضرارا جسيمة في الممتلكات وأحيانا في الأرواح لو لم يتم الاحتراز منها بالطرق المناسبة واتخاذ الإجراءات لحماية السكان منها .



2-أ) ما الذي يسبب الفيضانات:

من أهم أسباب وقوع الفيضانات نجد مايلي:

- الأمطار

- فيضان النهر

- رياح قوية في المناطق الساحلية

- انهيار السدود:

- ذوبان الثلوج والجليد

2-ب) أنواع الفيضانات:

\* الفيضانات الحاطفة (الطوفان المفاجئ).

\* الفيضانات البطيئة

الفيضانات السريعة

2-ج) الآثار التي تسببها الفيضانات:

- تحدث مياه الفيضان أضرارا جسمية في وسائل النقل العام و الخاص، وذلك من خلال قطع الطرق و خطوط السكك الحديدية.

- تعطل الفيضانات شبكات الصرف الصحي الاعتيادية في المدن، وتسرب مياه الصرف الصحي قد يؤدي ذلك إلى أضرار صحية شديدة بسبب انتشار المياه الملوثة و المليئة بالجراثيم في أنحاء المدن.

- تتسبب الفيضانات في توزيع كميات كبيرة من المياه و الرواسب العالقة فيها على مساحات شاسعة، مما يؤدي إلى تغير تكوين العناصر الغذائية القيمة في تربة الأراضي الزراعية، وكذلك تتدمر المحاصيل الزراعية، والأراضي و المباني.

## 2-د) طرق منع حدوث الفيضان:

-جدران الحماية البحرية: بنيت الجدران البحرية وبوابات المد والجزر في بعض المناطق لكي تصد الأمواج وارتفاع منسوب المياه، وبالتالي يمنع وصول المياه للشواطئ، وفي مناطق أخرى تستخدم أكياس الرمل بعد تجميعها و رصها في مناطق إستراتيجية لمنع حدوث الفيضانات.

-تجميع المياه: في بعض المناطق يتم تشييد جدران استنادية ، أو بحيرات صناعية، أو سدود، أو خزانات مائية، أو أحواض وذلك لتجميع مياه الأمطار و تجنب تراكمها بكمية كافية لتدققها على سطح الأرض.

-التخطيط العمراني: من المهم أن تحصل شركات البناء على تصاريح قبل تشييد الأبنية الجديدة ، وذلك لضمان أن ممرات التصريف المائية لن تسد بسبب أبنيتهم، ويجب أيضا أن تغطي شبكات الصرف الصحي و تبقى خالية من أي عوائق قد تسدها أو تعيق عملها.

التوعية: تنسد شبكات الصرف الصحي في العديد من البلدان النامية بسبب إلقاء القمامة فيها، وذلك لأن الناس قليلو المعرفة بالآثار الناتجة عن سلوكياتهم هذه عند هطول الأمطار. وعندما تمطر السماء تكون الممرات المائية مسدودة بقطع ضخمة من القمامات و الأنقاض، فتمتلئ بسرعة ، ويجد الماء طريقه إلى الشوارع وبيوت الناس، ولذا فإن التوعية مهمة جدا، ولا بد للإعلام من تحذير الناس من مخاطر الفيضانات وما يمكن القيام به للحد من تأثيرها.

أحواض تجميع المياه: هي خزانات صغيرة مبنية ومرتبطة بالمجاري المائية، وهي توفر مواقع تخزين مؤقتة لمياه السيول، وهذا يعني أنه عند وقوع الفيضانات سوف يجتمع الماء في الأحواض لفترة من الزمن، مما يمنح السكان المزيد من الوقت لإخلاء منازلهم وأغراضهم.

3) تعريف تسونامي: تتألف كلمة تسونامي من الكلمة اليابانية "تسو" بمعنى الميناء و "نامي" بمعنى موجة، وهي عبارة عن سلسلة من الموجات الضخمة التي أنشأتها اضطرابات تحت الماء ولها عادة علاقة مع الزلازل التي تحدث في أسفل أو بالقرب من المحيط، ويمكن أن يتسبب في ثوران البراكين و الانهيارات الأرضية الغواصة، قد لا تكون الموجة الأولى هي الأكبر، ولكن غالبا ما تكون الموجة الثانية أو الثالثة أو الرابعة أو حتى الموجات اللاحقة هي الأكبر.

## 3-أ) أسباب تسونامي:

-الزلازل: تولد الزلازل عن طريق تحركات على طول الصدوع المرتبطة بحدوث الصفائح، تحدث معظم الزلازل القوية في مناطق الاندساس حيث تنزلق شرائح لوحة المحيط تحت الصفيحة القارية أو لوحة محيط أصغر.

لا تتسبب كل الزلازل في حدوث التسونامي، هناك أربعة شروط لازمة لتسبب الزلازل في حدوث تسونامي:

1. أن يحدث الزلزال تحت المحيط أو لنتيجة انزلاق المواد في المحيط

2. أن يكون الزلزال قويا، أي ما يقل عن حجم 6.5 على مقياس ريشر

3. أن يمزق الزلزال سطح الأرض، وأن يحدث في عمق ضحل أقل من 70 كيلومترا تحت سطح الأرض

4. أن يتسبب الزلزال في حركة عمودية لقاع البحر

-الانهيارات الأرضية: من الممكن أن يجبر الانهيار الأرضي الذي يحدث على طول الساحل كميات كبيرة من المياه باتجاه

البحر، الأمر الذي يتسبب في إخلاء حركة المياه و بالتالي توليد تسونامي. ويمكن أيضا أن تؤدي الانهيارات الأرضية تحت الماء إلى موجات تسونامي عندما تتحرك المواد العائمة جراء الانهيارات الأرضية بعنف مما يدفع الماء أمامها.

الثورات البركانية: على الرغم من ندرتها نسبيا، تمثل الثورات البركانية العنيفة في تسريع الاضطرابات، والتي يمكن أن تحل محل وحدات كبيرة من المياه وتوليد موجات تسونامي مدمرة للغاية في المنطقة المجاورة للمصدر.

الإصطدامات بأجسام من خارج الأرض: إن أمواج تسونامي الناجمة عن اصطدامات بأجسام من خارج الأرض مثل

الكويكبات والنيازك هو أمر نادر الحدوث للغاية، وعلى الرغم من عدم تسجيل تسونامي نتيجة نيزك أو كويكب في

التاريخ الحديث، يدرك العلماء أنه في حالة اصطدام الأجرام السماوية هذه بالمحيط، فإنها ستتسبب في نزوح كميات كبيرة من الماء مما لاشك فيه و بالتالي تتسبب في كارثة تسونامي.

# الفصل الرابع

## الدراسة التجريبية لظاهرة التكثيف وآلية التقطير

يحتوي هذا الفصل على تجربة التكثيف :

- تجربة : ظاهرة التكثيف و آلية التقطير.

**IV-1) تمهيد :** في هذا الفصل سوف نقوم بتجربة التكثيف، التي تخص ظاهرة التكثيف فسوف تجرى في نفس الجهاز لكن بطريقة مختلفة، حيث أن الجهاز يحوي أسطوانتين الأولى مطلية بالذهب و الثانية مطلية بالنحاس ، وذلك من أجل مقارنة ما يحدث من اختلاف في ظاهرة التكثيف من حيث النمط الذي يعتمد على طبيعة السطح المكثف، ومن جهة أخرى يمكن حساب درجة الحرارة للسطح البارد  $T_w$  باستعمال ماء بارد يسري داخل كل من الأسطوانتين، حيث نقوم بحساب درجة حرارة المدخل و المخرج لماء التبريد، و منه يمكن حساب درجة حرارة السطح انطلاقا من متوسط درجة حرارة المدخل والمخرج، و كذلك نعلم أن درجة حرارة البخار و الماء المقطر هي نفسها والتي تساوي  $T_{sat} = 100^\circ\text{C}$  عند الضغط الجوي، و درجة حرارة شريط الماء المسال على السطح تساوي متوسط درجتى الحرارة بين  $T_s$  و  $T_{sat}$ . وفي آخر تحليل للتجربة يمكن حساب المقادير الفيزيائية لتحليل التجربة .

**IV-2) الأجهزة المستعملة في التجارب الخاصة بالتكثيف :** نستعمل في التجربة جهاز يسمى TE78 تابع لشركة TQ و هو موضح في الشكل التالي : به وحدة التبخير و التكثيف و وحدة القياس و التحكم



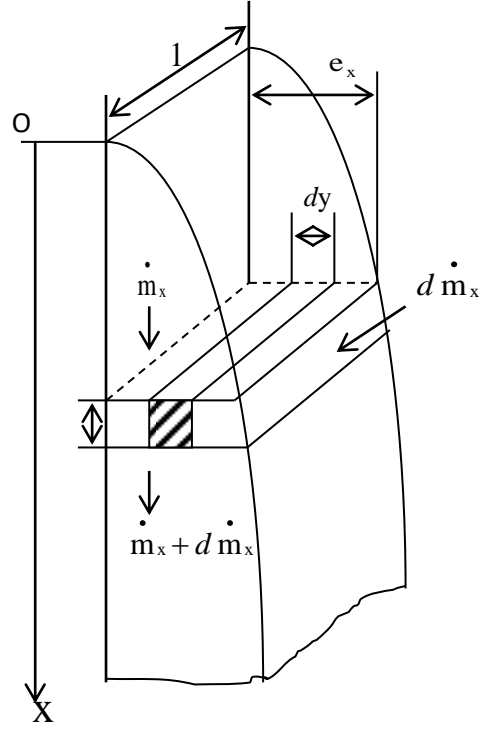
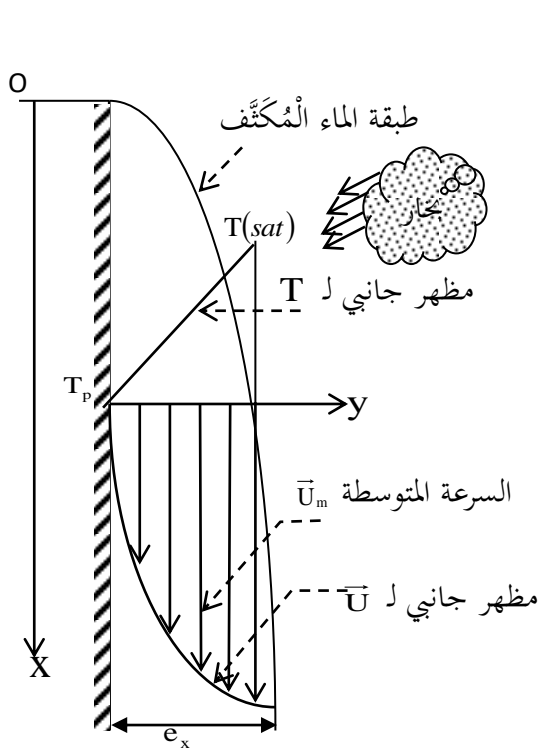
الشكل (1-4): وحدة التبخير و التكثيف و وحدة القياس و التحكم لجهاز TE78

**IV-3) الهدف من التجربة:** تهدف التجربة لتحقيق ما يلي :

1. التعرف على ظاهرة التكثيف على جدار بارد.
2. اختلاف نوعية الجدار في نقل الحرارة الخاصة بالتكثيف.
3. استعمال بعض قوانين انتقال الحرارة في حساب حرارة التكثيف.

**IV-4) مبدأ العمل:** يعتمد على تسخين الماء إلى درجة الغليان و حساب درجة حرارة ماء التكثيف في المدخل والمخرج و حساب حرارة التكثيف انطلاقا من اختلاف درجات حرارة المدخل والمخرج لماء التكثيف.

و يعتمد على بعض المخططات المرسومة لحساب التوصيلية والكتلة الحجمية والسعة الحرارية للماء بدلالة درجة حرارته وحساب التدفق الحجمي لماء التكثيف، بعد ذلك يتم تحليل النتائج ببرنامج EXCEL و رسم المنحنيات المطلوبة ببرنامج ORIGIN.



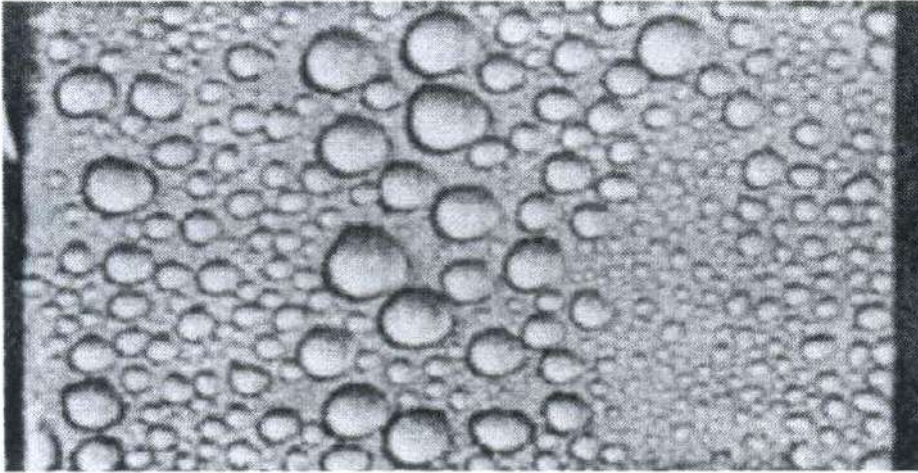
الشكل (3-4): المظهر الجانبي للسرعة و درجة الحرارة

الشكل (2-4): الطبقة القشرية للماء

الدليل السفلي:  $vap$ : بخار الماء،  $liq$ : الماء السائل .

معادلة التدفق الكتلي ناتجة من معادلة التوازن بين القوى

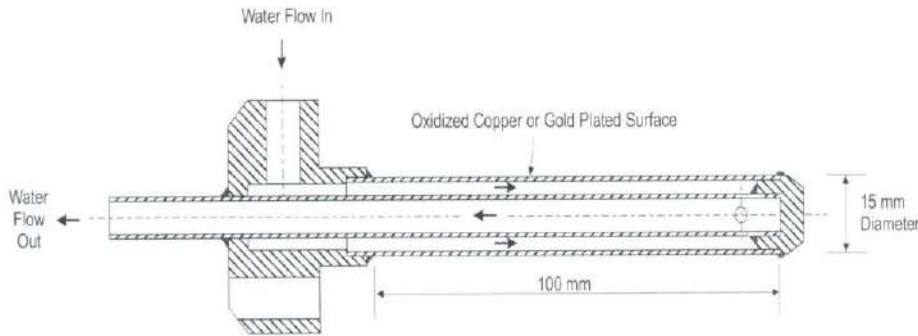
المأثرة على الحجم  $1.dx.dy$ ، والقوى هي قوة



الشكل (4-4): مظهر حقيقي للطبقة القشرية للماء السائل

خصائص ماء التكثيف :

العينات الأسطوانية : لتكثيف البخار على السطح البارد كان لابد من إصاق السطح بنظام تبريد، ونظام التبريد في هذه التجربة عبارة عن عينة أسطوانية لها الشكل التالي :



الشكل (4-5): مظهر طولي في العينة الأسطوانية (Cylinder Specimen)

توضع العينة شاقولياً داخل زجاجة التبخير، و السطح الخارجي مطلي بمادة معدنية، ولدينا نوعين من العينة :

العينة 1 : طبقة مذهبة Gold plated

العينة 2 : نحاس أحمر متأكسد Oxidized Cooper

يدخل الماء البارد من المدخل (Water flow in) و تقاس درجة حرارته بـ  $T_{in}$ .

ويخرج من المخرج (Water flow out) بدرجة حرارة أكبر في القيمة نسبياً  $T_{out}$ .



الجدول ( 4 - 1 ): جدول العينات الاسطوانية

CylinderSpecimens	1 Gold Plated- 3 Microns thick	
	2 Oxidized Copper	
	OutsideDiameter	15 mm
	Effective Length	100 mm

التدفق الحجمي لماء التكثيف: في وحدة القياس والتحكم نقرأ التدفق الحجمي للماء والذي يتم ضبطه حسب الطلب، والتدفق الحجمي محسوب بالترلكل دقيقة.

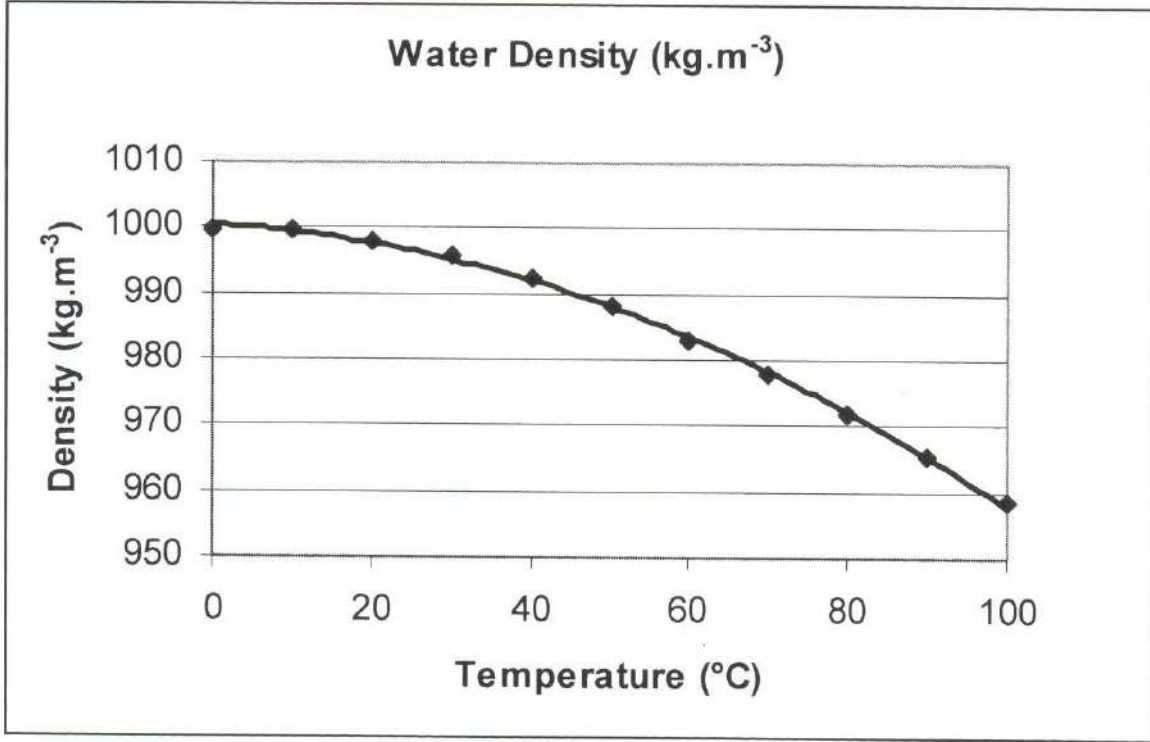
يتم تحويل الوحدة إلى متر مكعب لكل ثانية بقسمة القيمة المقروءة على العدد  $60 \times 1000$  كما يلي :

$$\dot{V}[\text{m}^3/\text{s}] = \frac{\dot{V}[\text{L}/\text{min}]}{60 \times 1000}$$

التدفق الكتلي لماء التكثيف :نضرب التدفق الحجمي  $\dot{V}[\text{m}^3/\text{s}]$  في الكتلة الحجمية للماء  $\rho[\text{kg}/\text{m}^3]$

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V}$$

و هي محسوبة عند درجة الحرارة المتوسطة بين المدخل و المخرج  $T_{moy} = (T_{out} + T_{in})/2$  حسب المخطط التالي:



الشكل (4-6): تغير الكتلة الحجمية بدلالة درجة الحرارة المتوسطة لماء التبريد

(يمكن الاعتماد على علاقة رياضية مستخرجة من المخطط)

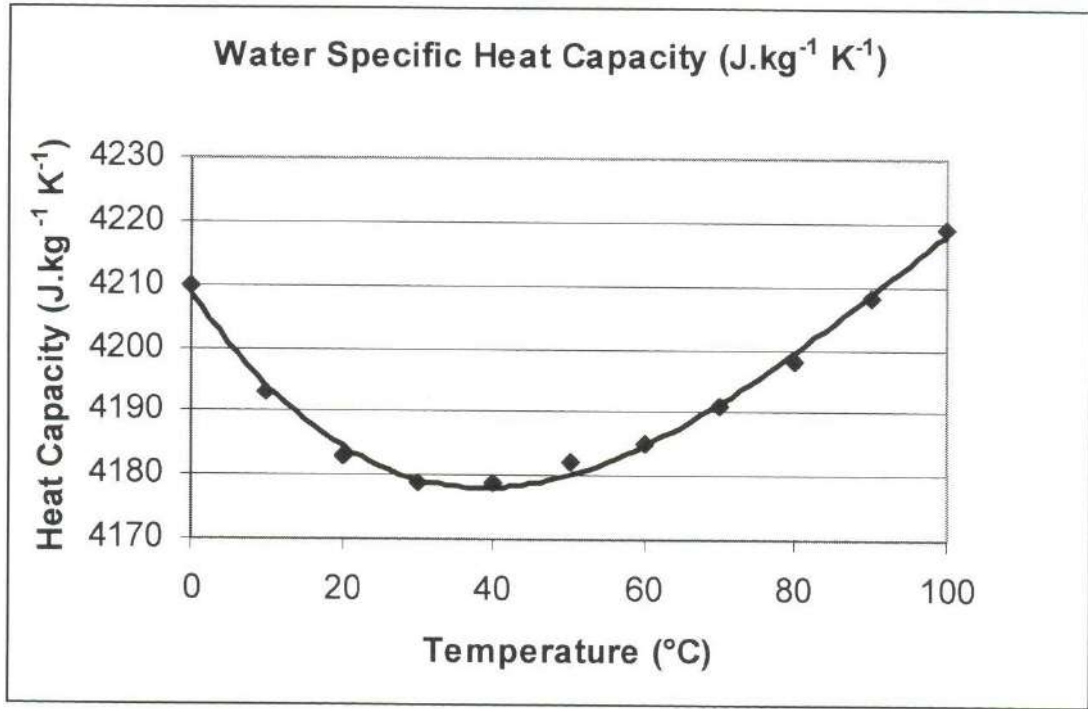
الحرارة المنتقلة بالتكثيف: و هي محسوبة بالواط ، حيث ان الماء البارد الخاص بالتكثيف يمتص هذه الحرارة و ترتفع

درجة حرارة مخرجه، وبفضل وجود السعة الحرارية للماء عند درجة الحرارة المتوسطة بين المدخل و المخرج  $T_{moy} =$

$(T_{out} + T_{in})/2$  يمكن كتابة العلاقة التالية :

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C \cdot (T_{out} - T_{in})$$

و السعة الحرارية  $C$  محسوبة بالمخطط التالي :



الشكل (4-7): تغير السعة الحرارية بدلالة درجة الحرارة المتوسطة لماء التبريد

(يمكن الاعتماد على علاقة رياضية مستخرجة من المخطط)

معامل الانتقال الحراري الخاص بالتكثيف: و هي محسوبة بالواط على متر مربع لكل تغير في درجة الحرارة يساوي 1 درجة مئوية و يخص البخار المكثف على السطح الخارجي للعينة الأسطوانية ويحسب بالعلاقة التالية :

$$h = \frac{\text{HeatTransferRate}}{\text{SpecimenArea} \times \text{TemperatureDrop}} = \frac{\dot{Q}}{S \cdot (T_{sat} - T_{moy})}$$

السطح  $S$  هو مساحة السطح الخارجي للعينة الأسطوانية، والفرق في درجة الحرارة يكون بين درجة التشبع للبخار

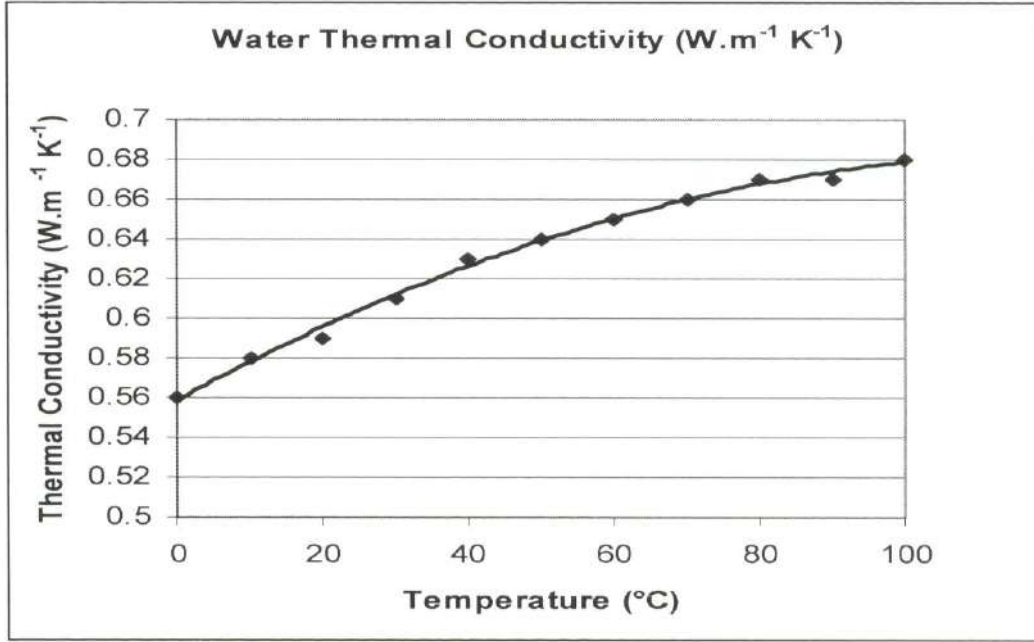
$T_{sat}$  و درجة حرارة السطح الخارجي التي نعتبرها عمليا تساوي القيمة المتوسطة  $T_{moy}$

رقم نوسالت (Nusselt) الخاص بالتكثيف: و هو مقدار لا بعدي يحسب بالعلاقة التالية :

$$Nu_l = \frac{\text{HeatTransferCoefficient} \times \text{SpecimenLength}}{\text{ThermalConductivityofWater}} = \frac{h \cdot l}{\lambda}$$

و يمكن الاعتماد على نوسالت المحسوب بالقطر بدلا من الطول .

التوصيلية الحرارية للماء المتكثف محسوبة بالمخطط التالي :



الشكل (4-8): تغير التوصيلية الحرارية بدلالة درجة حرارة شريط التكثيف

(يمكن الاعتماد على علاقة رياضية مستخرجة من المخطط)

درجة حرارة شريط التكثيف هي القيمة المتوسطة بين درجة حرارة البخار المشبع  $T_{sat}$  و درجة حرارة السطح الخارجي التي تساوي عمليا القيمة المتوسطة بين المدخل والمخرج الخاص بالماء البارد داخل العينة  $T_{moy}$ ، و منه درجة حرارة شريط التكثيف هي :

$$T_{film} = (T_{sat} - T_{moy})/2$$

(5-IV) الإجراءات المتبعة في التجربة :

**خطوة 1 :** نربط وحدة القياس و التحكم لجهاز TE78 و جهاز الكمبيوتر مع جهاز الواجهة التي تحول القيم التجريبية للكمبيوتر و المسمى

: VDAS (Versatile Data Acquisition System)

**خطوة 2 :** نملأ خزان الماء بـ 6.5 لتر من الماء المقطر ، وكذلك نملأ زجاجة الجهاز بـ 3.5 لتر من الماء المقطر .

**خطوة 3 :** نشغل وحدة القياس .

**خطوة 4 :** نشغل المسخن HEATER لمدة تتراوح بين 5 إلى 10 دقائق حتى نرى بعض الفقاعات تتصاعد من المقاومة الكهربائية و نترك المسخن يشتغل حتى إنهاء التجربة .

خطوة 5 : تشغيل المضخة على وحدة التحكم بالأمر pump، ونضبط التدفق على 0.1 لتر في الدقيقة.

خطوة 6 : ندون قيم التدفق ودرجات الحرارة  $T_{out}$  و  $T_{in}$  في الجدول 1 .

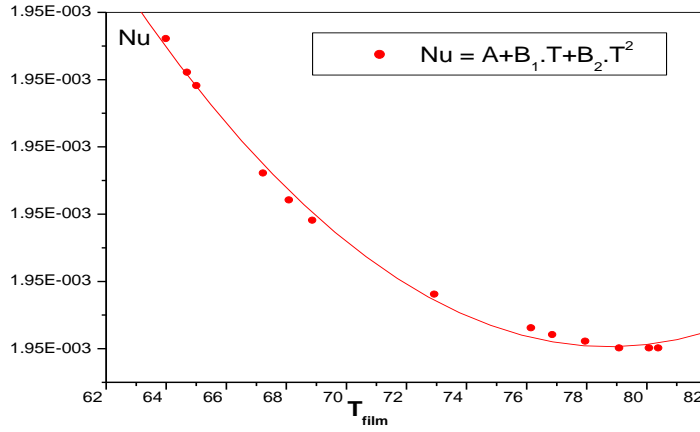
خطوة 7 : نعيد التجربة بتغيير التدفق قليلا و هكذا حتى نكمل القياسات الخاصة بالعينة الاسطوانية 1

خطوة 8 : نغير موضع المزدوجات الحرارية في العينة الاسطوانية 2 ، ونعيد نفس الخطوات 5، 6، 7 حتى نكمل

التدوين في جدول 2.

الطريقة اليدوية في أخذ المعطيات : يمكن الاعتماد على القراءات المباشرة من وحدة القياس أو الكمبيوتر و تدوينها في الجدول في آخر هذه المطبوعة، ونحرك المزدوجات الحرارية الخاصة بالعينتين في كل قراءة لربح الوقت.

#### 6-IV تحليل النتائج:

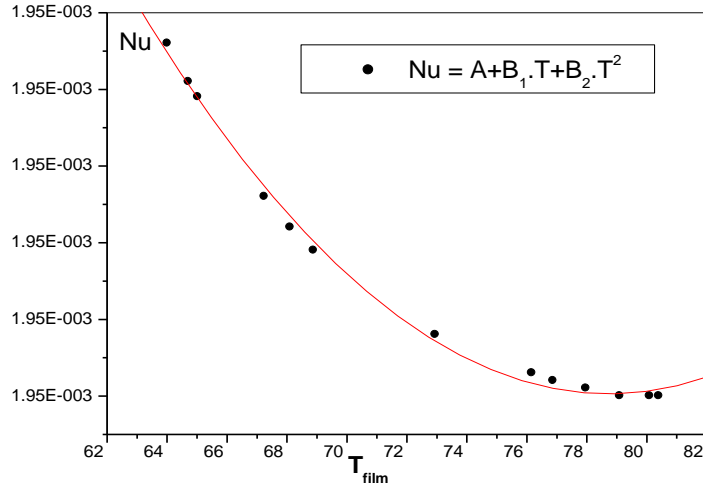


الشكل (4-9): تغيرات Nusselt بدلالة درجة الحرارة  $T_{film}$  الخاص بالذهب

$$Nu = A + B_1 \cdot T_f + B_2 \cdot T_f^2$$

Parameter	Value	Error
A	0.00195	$7.19252 \cdot 10^{-8}$
B1	$-3.23223 \cdot 10^{-8}$	$2.00258 \cdot 10^{-9}$
B2	$2.05287 \cdot 10^{-10}$	$1.3851 \cdot 10^{-11}$

R-Square(COD)	SD	N	P
0.99661	$1.1084 \cdot 10^{-9}$	13	< 0.0001

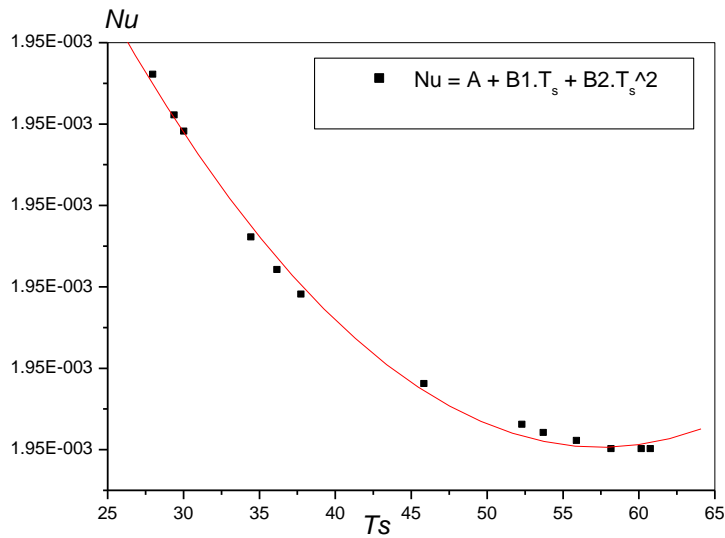


الشكل (IV - 10): تغيرات Nusselt بدلالة درجة الحرارة  $T_{film}$  الخاص بالنحاس

$$Nu = A + B_1.T_f + B_2.T_f^2$$

Parameter	Value	Error
$A$	0.00195	$7.19252.10^{-8}$
$B1$	$-3.23223.10^{-8}$	$2.00258.10^{-9}$
$B2$	$2.05287.10^{-10}$	$1.3851.10^{-11}$

R-Square(COD)	SD	N	P
0.99661	$1.1084.10^{-9}$	13	$< 0.0001$

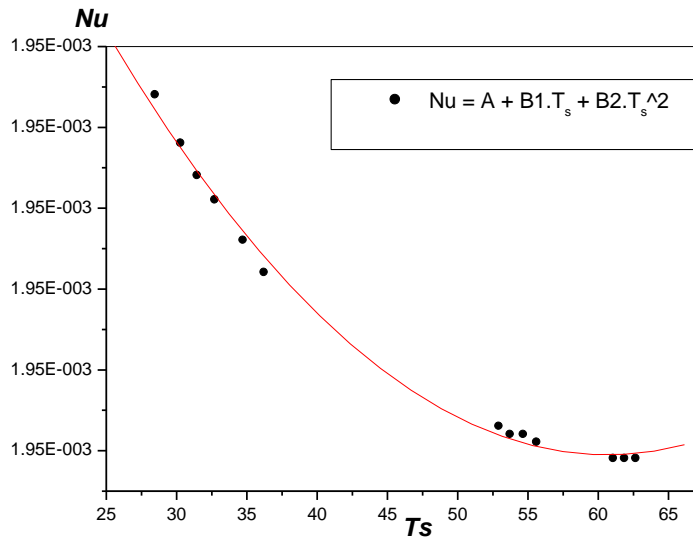


الشكل (11-IV): تغيرات Nusselt بدلالة درجة الحرارة  $T_s$  الخاص بالذهب

$$Nu = A + B_1 \cdot T_s + B_2 \cdot T_s^2$$

Parameter	Value	Error
$A$	0.00195	$6.46991 \cdot 10^{-9}$
$B_1$	$-5.89682 \cdot 10^{-9}$	$3.09463 \cdot 10^{-10}$
$B_2$	$5.13217 \cdot 10^{-11}$	$3.46274 \cdot 10^{-12}$

R-Square(COD)	SD	N	P
0.99661	$1.1084 \cdot 10^{-9}$	13	$< 0.0001$



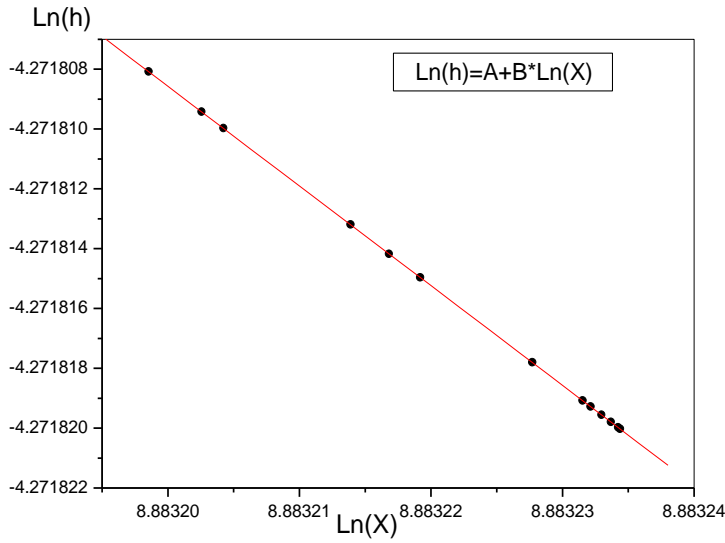
الشكل (12-IV): تغيرات Nusselt بدلالة درجة الحرارة  $T_s$  الخاص بالنحاس

$$Nu = A + B_1 \cdot T_s + B_2 \cdot T_s^2$$

Parameter	Value	Error
$A$	0.00195	$7.3286 \cdot 10^{-9}$
$B1$	$-5.01007 \cdot 10^{-9}$	$3.47146 \cdot 10^{-10}$
$B2$	$4.13465 \cdot 10^{-11}$	$3.80613 \cdot 10^{-12}$

R-Square(COD)	SD	N	P
0.99618	$1.17257 \cdot 10^{-9}$	13	$< 0.0001$





الشكل (13-IV): تغيرات Ln(h) بدلالة Ln(X) الخاص بالذهب

$$X = \frac{k^3 \rho^2 g}{\mu^2} \frac{1}{Re} \text{ حيث}$$

تفسير المنحني: لفهم تغيرات معامل الانتقال الحراري h بدلالة المقدار  $X = \left( \frac{k^3 \rho^2 g}{\mu^2} \right) \frac{1}{Re}$  ، يجب إيجاد تغيرات Ln(h) بدلالة Ln(X) ، وحسب المنحني في الشكل (4-13) فإن التغير كان خطياً وذو ميل سالب والنتائج كما يلي:

$$\text{Ln}(h) = A + B \cdot \text{Ln}(X)$$

Parameter	Value	Error
A	-1.31068	$7.25139 \cdot 10^{-5}$
B	-0.33334	$8.16302 \cdot 10^{-6}$

ومنه يمكن استنتاج النموذج كما يلي:

$$\text{Ln}(h) = \text{Ln}(c) + B \cdot \text{Ln}(X)$$

$$h = c \cdot X^B \quad ; \quad c = e^A = 0.27$$

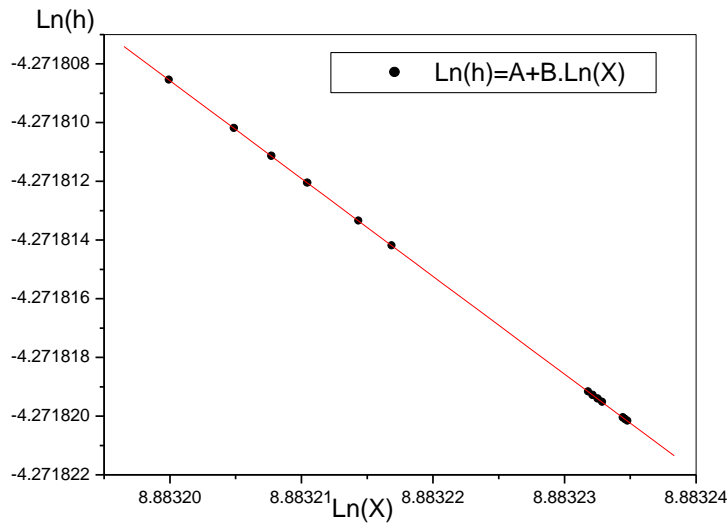
وبعد تطبيق القيم العددية، لنموذج النهائي لعملية التكتيف على سطح مطلي بالذهب:

$$h = c \cdot X^B = 0.27 \left( \frac{\mu^2}{k^3 \rho^2 g} \cdot \text{Re} \right)^{0.33}$$

وباستخدام القيم المتوسطة للخصائص نستنتج العبارة البسيطة للنموذج:

$$h = 0.27 \left( \frac{0.258478891^2 * 1.892862975}{0.716516239^3 * 978.866649^2 * 9.81} \right)^{0.33}$$

$$= 37.98102642 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$



الشكل (IV-14): تغيرات Ln(h) بدلالة Ln(X) الخاص بالنحاس

$$X = \left( \frac{k^3 \rho^2 g}{\mu^2} \right) \frac{1}{\text{Re}} \quad \text{حيث}$$

تفسير المنحني: لفهم تغيرات معامل الانتقال الحراري h بدلالة المقدار  $X = \left( \frac{k^3 \rho^2 g}{\mu^2} \right) \frac{1}{\text{Re}}$  ، يجب إيجاد تغيرات

Ln(h) بدلالة Ln(X) ، وحسب المنحني في الشكل (4-14) فإن التغير كان خطياً وذو ميل سالب والنتائج كما

يلي:

$$\text{Ln}(h) = A + B \cdot \text{Ln}(X)$$

Parameter	Value	Error
A	-1.31073	$6.94557.10^{-5}$
B	-0.33333	$7.81875.10^{-6}$

ومنه يمكن استنتاج النموذج كما يلي:

$$\ln(h) = \ln(c) + B. \ln(X)$$

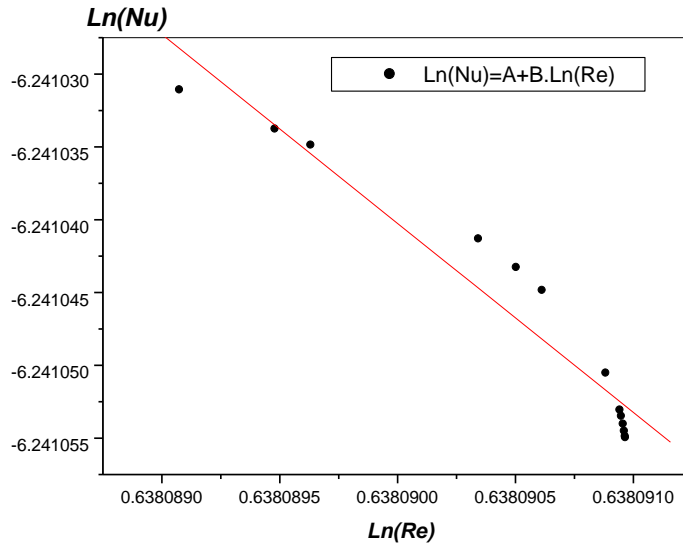
$$h = c. X^B \quad ; \quad c = e^A = 0.27$$

وبعد تطبيق القيم العددية، لنموذج النهائي لعملية التكتيف على سطح مطلي بالذهب:

$$h = c. X^B = 0.27 \left( \frac{\mu^2}{k^3 \rho^2 g} \cdot \text{Re} \right)^{0.33}$$

وباستخدام القيم المتوسطة للخصائص نستنتج العبارة البسيطة للنموذج:

$$h = 0.27 \left( \frac{0.258567753^2 * 1.892863013}{0.716516339^3 * 978.530262^2 * 9.81} \right)^{0.33} = 37.96379298 \text{ W/m}^2. \text{ K}$$



الشكل (4-15): تغيرات  $\ln(\text{Nu})$  بدلالة  $\ln(\text{Re})$  الخاص بالذهب

ومنه يمكن استنتاج النموذج كما يلي:

$$\text{Nu} = c. \text{Re}^n. \text{Pr}^m$$

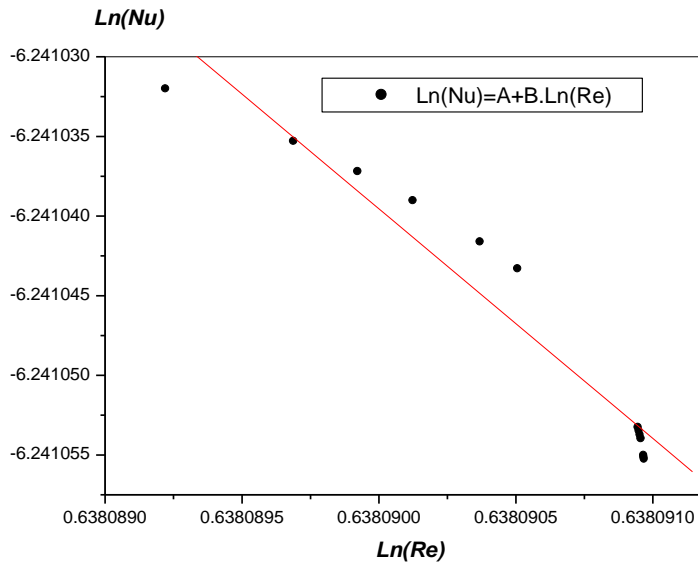
$$\ln(\text{Nu}) = \ln(c. \text{Pr}^m) + n. \ln(\text{Re})$$

$$\ln(\text{Nu}) = A + B \cdot \ln(\text{Re})$$

$$n = B ; \quad \ln(c \cdot \text{Pr}^m) = A \quad \Rightarrow \quad c = \frac{\exp(A)}{\overline{\text{Pr}}^m} ; \quad \overline{\text{Pr}} = 1.9273$$

Parameter	Value	Error
A	2.04194	0.65162
B	-12.9809	1.02121

M	C
1/2 = 0.5	5.550455354
1/3 = 0.33	6.2054031
1/4 = 0.25	6.539822243
1/5 = 0.2	6.757925661
1/6 = 0.17	6.89226377
1/7 = 0.14	7.029272333
1/8 = 0.13	7.075544433
1/9 = 0.11	7.169004434



الشكل (4-16): تغيرات  $\ln(\text{Nu})$  بدلالة  $\ln(\text{Re})$  الخاص بالنحاس

ومنه يمكن استنتاج النموذج كما يلي:

$$Nu = c. Re^n. Pr^m$$

$$\ln(Nu) = \ln(c. Pr^m) + n. \ln(Re)$$

$$\ln(Nu) = A + B. \ln(Re)$$

$$n = B ; \quad \ln(c. Pr^m) = A \quad \Rightarrow \quad c = \frac{\exp(A)}{\overline{Pr}^m} ; \quad \overline{Pr} = 1.9198$$

Parameter	Value	Error
A	2.95786	0.67523
B	-14.41631	1.05821

M	C
1/2 = 0.5	13.89806321
1/3 = 0.33	15.52772391
1/4 = 0.25	16.3594342
1/5 = 0.2	16.90172685
1/6 = 0.17	17.23569334
1/7 = 0.14	17.57625877
1/8 = 0.13	17.69126948
1/9 = 0.11	17.92355355

#### (7-IV) النتائج:

من أجل تسهيل دراسة ظاهرة التكتيف نظريا، وذلك من أجل تطبيق الظاهرة ميدانيا في أجهزة تكتيف المرتبطة بأجهزة أخرى في محطات توليد الطاقة بالبخار، كان لا بد من معرفة العلاقات النظرية للمقادير الفيزيائية الداخلة في ظاهرة التكتيف، وهذه العلاقات تسمى نماذج شبه تجريبية للمقادير الفيزيائية، ومن أهم المقادير نجد الأرقام اللابعدية مثل Nusselt بدلالة Reynolds أو بدلالة درجات الحرارة  $T_{film}$  أو  $T_s$ ، وكذلك يمكن استنباط نماذج لمعامل الانتقال الحراري  $h$  بدلالة Reynolds أو بدلالة درجات الحرارة  $T_{film}$  أو  $T_s$ .

وفي دراسة موازية للدراسة السابقة تم استنباط نماذج للمقادير الفيزيائية الخاصة بالماء عند درجات الحرارة  $T_{film}$ ، من أجل ملأ النتائج في الجداول.

والنماذج كما يلي :

النموذج الأول: *Nusselt*: بدلالة درجة الحرارة  $T_{film}$  الخاص بالذهب

$$Nu = 0.00195 - 3.23223 \cdot 10^{-8} \cdot T_f + 2.05287 \cdot 10^{-10} \cdot T_f^2$$

النموذج الثاني: *Nusselt*: بدلالة درجة الحرارة  $T_{film}$  الخاص بالنحاس

$$Nu = 0.00195 - 3.23223 \cdot 10^{-8} \cdot T_f + 2.05287 \cdot 10^{-10} \cdot T_f^2$$

النموذج الثالث: *Nusselt*: بدلالة درجة الحرارة  $T_s$  الخاص بالذهب

$$Nu = 0.00195 - 5.89682 \cdot 10^{-9} \cdot T_s + 5.13217 \cdot 10^{-11} \cdot T_s^2$$

النموذج الرابع: *Nusselt*: بدلالة درجة الحرارة  $T_s$  الخاص بالنحاس

$$Nu = 0.00195 - 5.01007 \cdot 10^{-9} \cdot T_s + 4.13465 \cdot 10^{-11} \cdot T_s^2$$

النموذج الخامس : معامل الانتقال الحراري  $h$  بدلالة  $Re$  الخاص بالتجربة التي تمت على سطح الذهب

$$\ln(h) = -1.31073 - 0.33333 \cdot \ln(X)$$

$$\ln(h) = \ln(c) - 0.33333 \cdot \ln(X)$$

$$h = c \cdot X^B \quad ; \quad c = e^A = 0.27$$

$$h = c \cdot X^B = 0.27 \left( \frac{\mu^2}{k^3 \rho^2 g} \cdot Re \right)^{0.33}$$

وباستخدام القيم المتوسطة للخصائص نستنتج العبارة البسيطة للنموذج:

$$h = 0.27 \left( \frac{(0.258567753)^2 (1.892863013)}{(0.716516339)^3 (978.530262)^2 (9.81)} \right)^{0.33}$$

النموذج السادس: معامل الانتقال الحراري  $h$  بدلالة  $Re$  الخاص بالتجربة التي تمت على سطح النحاس

$$\ln(h) = -1.31073 - 0.33333 \cdot \ln(X)$$

$$\ln(h) = \ln(c) - 0.33333 \cdot \ln(X)$$

$$h = c \cdot X^B \quad ; \quad c = e^A = 0.27$$

$$h = c \cdot X^B = 0.27 \left( \frac{\mu^2}{k^3 \rho^2 g} \cdot Re \right)^{0.33}$$

وباستخدام القيم المتوسطة للخصائص نستنتج العبارة البسيطة للنموذج:

$$h = 0.27 \left( \frac{0.258567753^2 * 1.892863013}{0.716516339^3 978.530262^2 * 9.81} \right)^{0.33}$$

النموذج السابع:  $\ln(Nu)$  بدلالة  $\ln(Re)$  الخاص بالذهب

ومنه يمكن استنتاج النموذج كما يلي:

$$Nu = 6.21 \cdot Re^{-12.98} \cdot Pr^{0.33}$$

النموذج الثامن:  $\ln(Nu)$  بدلالة  $\ln(Re)$  الخاص بالنحاس

ومنه يمكن استنتاج النموذج كما يلي:

$$Nu = 15.53 \cdot Re^{-14.42} \cdot Pr^{0.33}$$

الخلاصة العامة



## الخاتمة

هذه الدراسة تركز في الأساس على محاولة فهم ظاهرة التكتيف وإبراز أهميتها في إنتاج الطاقة الكهربائية باستخدام دورة رانكن والمتمثلة في إنتاج السائل في المكثف، بحيث يفقد البخار حرارة في المكثف إلى الوسط الخارجي ومن خلال هذه الحركة للمائع تُنتج الكهرباء حيث يقوم المنوب الموصول بالتوربين بتحويل الطاقة الحركية الدورانية إلى طاقة كهربائية. ومن المعلوم أن المكثف يحتاج لمياه التبريد من بحيرة أو مسطح مائي بقرب محطة توليد الطاقة الكهربائية.

وعلى ضوء النتائج المحصل عليها من خلال الدراسة في المراجع والدراسة التجريبية، يمكننا أن نستخلص عدة نتائج تكون في المستقبل مرجعا مُهمًا لدراسات المستقبلية.

من أجل تسهيل دراسة ظاهرة التكتيف نظرياً، وذلك من أجل تطبيق الظاهرة ميدانياً في أجهزة تكتيف المرتبطة بأجهزة أخرى في محطات توليد الطاقة بالبخار، كان لا بد من معرفة العلاقات النظرية للمقادير الفيزيائية الداخلة في ظاهرة التكتيف، وهذه العلاقات تسمى نماذج شبه تجريبية للمقادير الفيزيائية، ومن أهم المقادير نجد الأرقام اللابعدية مثل Nusselt بدلالة Reynolds أو بدلالة درجات الحرارة  $T_{film}$  أو  $T_s$ ، وكذلك يمكن استنباط نماذج لمعامل الانتقال الحراري  $h$  بدلالة Reynolds أو بدلالة درجات الحرارة  $T_{film}$  أو  $T_s$ .

وفي دراسة موازية للدراسة السابقة تم استنباط نماذج للمقادير الفيزيائية الخاصة بالماء عند درجات الحرارة  $T_{film}$ .

الدراسة النظرية والتجريبية للتكتيف بينت النتائج التالية:

- **نتيجة 1:** من التحليل النظري لـ Nusselt، يعتمد حجم السائل المكثف على الفرق بين درجة حرارة التكتيف والمدى المؤثر لمياه التبريد، وإذا ما قاربت درجة حرارة التكتيف المدى المؤثر لدرجة حرارة التبريد عند الضغط الجوي فلا بد من رفع ضغط التقطير ومن ثم يزداد الفرق في درجات الحرارة وصولاً إلى قيمة الفرق المطلوب في درجة الحرارة. وهذا ما وجدناه تجريبياً.
- **نتيجة 2:** نزول الغشاء المتكثف من أعلى السطح إلى أسفله يتم على شكل انسياب رقائقي، ويؤثر سُمْك هذا الغشاء تأثيراً كبيراً في معدل التكتيف حيث معامل تكتيف البخار فوق سطح شاقولي يتناقص من القمة إلى القاع. وهذا ما لاحظناه في تجربة التكتيف حول العينتين (العينة 1: مطلية بالذهب، عينة 2: مطلية بالنحاس).

- **نتيجة 3:** وأثبتت التجارب السابقة أن بخار الماء النقي هو البخار الوحيد الذي يمكنه أن يتكثف تكثيف نقطي. ومن مفهوم المقاومة الحرارية التي يشكلها السائل المقطر يكون معامل انتقال الحرارة في عملية التكثيف النقطي من أربعة إلى ثمانية أمثال مثيله في عملية التكثيف الغشائي.
- **نتيجة 4:** التحليل النظري المقارن بين التكثيف الداخلي والخارجي أكد أن معامل التكثيف ثابتا على طول الأنبوب في حالة التكثيف على سطحه الخارجي، وتتغير قيمته في حالة التكثيف داخل الأنبوب.
- **نتيجة 5:** من مفهوم الضغط الثقالي للسائل، فإن قوة التدفق تكون تحت تأثير قوة الجاذبية الأرضية بالدرجة الأولى.
- **نتيجة 6:** واستنتج نظريا وبتدعيم من نظرية Nusselt، و في حالة كون السطح البارد شاقولي، فإن سُمك الغشاء يزداد من أعلى السطح البارد إلى أسفله، و لهذا السبب فإن معامل تكثيف البخار فوق سطح شاقولي يتناقص من القمة إلى القاع.
- **نتيجة 7:** أثبتت التجارب السابقة أن الحصول على معامل عال للتكثيف يجب أنلا يكون ارتفاع السطح كبيراً جداً. وأن لزوجة السوائل تقل قيمتها بزيادة درجة الحرارة، كما أن معامل التكثيف يزداد بزيادة درجة حرارة التكثيف.
- **نتيجة 8:** من خلال التجربة الخاصة بالتكثيف نستنتج وجود علاقة طردية بين Nusselt والتدفق الحجمي بالنسبة لعينة الذهب حيث تشكل عليها تكثيف نقطي وهذا يرجع لطبيعة العينة(ملساء).
- **نتيجة 9:** من خلال التجربة الخاصة بالتكثيف نستنتج وجود علاقة بين Nusselt والتدفق الحجمي بالنسبة لعينة النحاس حيث تشكل عليها تكثيف غشائي وهذا يرجع لطبيعة العينة(خشنة).
- **نتيجة 10:** نستنتج من تجربتنا أن الطبقة الذهبية تشكل عليها تكثيف نقطي كان له رقم  $Nu$  يتزايد مع الفاقد في درجة الحرارة.
- **نتيجة 11:** نستنتج من تجربتنا أن الطبقة النحاسية تشكل عليها تكثيف غشائي كان له رقم  $Nu$  يتناقص مع الفاقد في درجة الحرارة.

الملاحق

الماء خصائص :

**Table 4.** Li2quid film condensation (*l*) and brine water (*w*) properties average.

Properties	Symbol	As function : $T_{film}$ or $T_w(^{\circ}C)$	Unite
Coefficient of expansion	$\beta_l, \beta_w$	$= 0.00136 - 0.00141\exp(-T/107.38407)$	1/K
Density	$\rho_l, \rho_w$	$= 1002.6 - 0,505 \times 10^{-1}T - 0.38 \times 10^{-2}T^2$	kg/m <sup>2</sup>
Dynamic viscosity	$\mu_l, \mu_w$	$= 2.4952 \times 10^{-4} + 0.0022\exp(-T/.96771)$	kg/m. s
Kinematicviscosity	$\nu_l, \nu_w$	$= 2.6415 \times 10^{-7} + 1.5169\exp(-T/29.3238)$	m <sup>2</sup> /s
Prandtl Number	$Pr_l, Pr_w$	$= 12.501 - 0.261 T + 1.577 \times 10^{-3}T^2$	-
Specifichat	$C_{p.l}, C_{p.w}$	$= 3958 - 52.3 T + 0.837 T^2$	J/kg. K
Thermal conductivity	$k_l, k_w$	$= 0.71652 - 0,1910\exp(-T/6.44589)$	W/m. K
Thermal diffusivity	$a_l, a_w$	$= \nu/Pr$	m <sup>2</sup> /s

Type	T <sub>in</sub>	T <sub>out</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>sat</sub>	T <sub>sat</sub> -T <sub>s</sub>	T <sub>film</sub>
condensation	°C	°C	°C	°C	°C	°C
ذهب	27.58	28.48	28.03	100	71.97	64.015
	28.92	29.96	29.44	100	70.56	64.72
	29.42	30.72	30.07	100	69.93	65.035
	32.2	36.8	34.5	100	65.5	67.25
	35.28	37.16	36.22	100	63.78	68.11
	37.54	38.04	37.79	100	62.21	68.895
	45.54	46.26	45.9	100	54.1	72.95
	51.48	53.22	52.35	100	47.65	76.175
	52.52	55	53.76	100	46.24	76.88
	54.42	57.48	55.95	100	44.05	77.975
	56.52	59.92	58.22	100	41.78	79.11
	58.46	61.96	60.21	100	39.79	80.105
	59.04	62.58	60.81	100	39.19	80.405

type	Coefficient of expansion	Kinematic viscosity	Dynamic viscosity	Density	Specific heat	Thermal conductivity	Thermal diffusivity
condensation	1/K	m <sup>2</sup> /s	kg/m.s	kg/m <sup>3</sup>	J/kg.K	W/m.K	m <sup>2</sup> /s
ذهب	0.000583176	0.000264151	0.259869981	983.795146	4039.974728	0.71651071	0.000117114
	0.000588259	0.00026415	0.259769371	983.414662	4079.067821	0.716511673	0.000119275
	0.00059052	0.00026415	0.259724102	983.243438	4096.803875	0.71651207	0.00012024
	0.000606229	0.00026415	0.259400254	982.018138	4226.209813	0.716514376	0.000126945
	0.000612242	0.00026415	0.259271892	981.532351	4278.666648	0.716515079	0.000129489
	0.000617688	0.00026415	0.259153438	981.084023	4327.629598	0.716515643	0.000131767
	0.000645196	0.00026415	0.258521926	978.693556	4596.979993	0.716517677	0.000142524
	0.000666345	0.00026415	0.257996149	976.703166	4830.849333	0.716518592	0.000149231
	0.000670884	0.00026415	0.257878432	976.257529	4884.293293	0.716518738	0.000150407
	0.000677875	0.00026415	0.257693618	975.55788	4968.951723	0.716518935	0.000151999
	0.000685047	0.00026415	0.257499513	974.823055	5058.821188	0.716519107	0.000153328
	0.000691272	0.00026415	0.257327223	974.170816	5139.379328	0.716519235	0.000154212
	0.000693137	0.00026415	0.257274886	973.972684	5163.993389	0.716519269	0.000154425

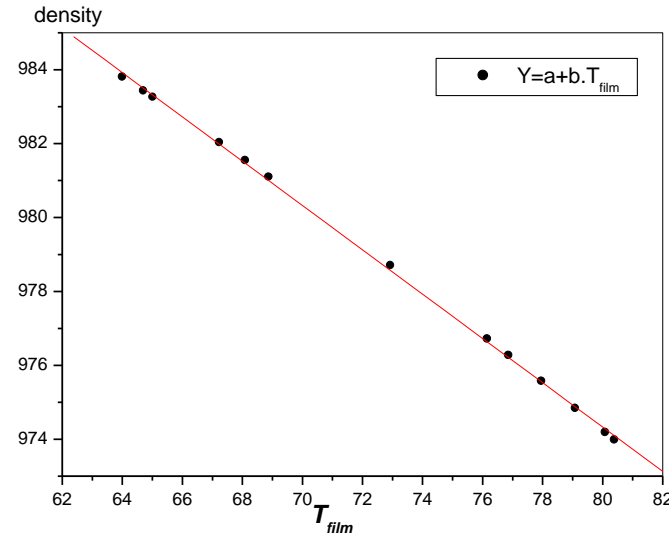
type	Pr	Re	X	H	Ln(X)	Ln(h)	Nu	Ln(Nu)
condensation	addimentional	Addimentional	SI	W/m.K				
ذهب	2.255505195	1.892860311	7209.815168	0.013956525	8.883198594	-4.271808102	0.001947846	-6.241031112
	2.214625837	1.892861078	7209.844221	0.013956507	8.883202624	-4.271809446	0.001947841	-6.241033798
	2.196867282	1.892861366	7209.85621	0.013956499	8.883204287	-4.27181	0.001947839	-6.241034907
	2.080831063	1.892862711	7209.925826	0.013956454	8.883213943	-4.271813218	0.001947826	-6.241041344
	2.039949002	1.892863014	7209.94703	0.01395644	8.883216884	-4.271814199	0.001947822	-6.241043305
	2.004668656	1.892863223	7209.964065	0.013956429	8.883219246	-4.271814986	0.001947819	-6.24104488
	1.853374843	1.892863732	7210.02548	0.01395639	8.883227764	-4.271817826	0.001947808	-6.241050558
	1.770073496	1.892863846	7210.053083	0.013956372	8.883231593	-4.271819102	0.001947803	-6.241053111
	1.756232749	1.892863858	7210.057488	0.013956369	8.883232204	-4.271819305	0.001947802	-6.241053518
	1.737843686	1.892863872	7210.063442	0.013956365	8.883233029	-4.271819581	0.001947801	-6.241054068
	1.722774342	1.892863882	7210.068633	0.013956362	8.883233749	-4.271819821	0.0019478	-6.241054548
	1.712905986	1.892863888	7210.07249	0.013956359	8.883234284	-4.271819999	0.0019478	-6.241054905
	1.710543267	1.89286389	7210.073541	0.013956359	8.88323443	-4.271820048	0.0019478	-6.241055002

type	T <sub>in</sub>	T <sub>out</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>sat</sub>	T <sub>sat</sub> -T <sub>s</sub>	T <sub>film</sub>
Condensation	°C	°C	°C	°C	°C	°C
نحاس	27.9	29.1	28.5	100	71.5	64.25
	29.54	31.1	30.32	100	69.68	65.16
	30.7	32.3	31.5	100	68.5	65.75
	31.8	33.7	32.75	100	67.25	66.375
	33.5	36	34.75	100	65.25	67.375
	34.8	37.7	36.25	100	63.75	68.125
	50.6	55.3	52.95	100	47.05	76.475
	51.3	56.2	53.75	100	46.25	76.875
	52.2	57.2	54.7	100	45.3	77.35
	53.1	58.2	55.65	100	44.35	77.825
	57.5	64.7	61.1	100	38.9	80.55
	58.2	65.6	61.9	100	38.1	80.95
	59.2	66.2	62.7	100	37.3	81.35



type	Coefficient of expansion	Kinematic viscosity	Dynamic viscosity	Density	Specific heat	Thermal conductivity	Thermal diffusivity
Condensation	1/K	m <sup>2</sup> /s	kg/m.s	kg/m <sup>3</sup>	J/kg.K	W/m.K	m <sup>2</sup> /s
نحاس	0.000584874	0.00026415	0.259836552	983.668738	4052.913313	0.716511043	0.000117835
	0.000591415	0.00026415	0.259706085	983.175283	4103.888027	0.716512222	0.000120622
	0.000595626	0.00026415	0.259620625	982.851988	4137.678313	0.716512903	0.000122421
	0.000600062	0.00026415	0.259529346	982.506628	4174.108703	0.716513558	0.000124317
	0.000607106	0.00026415	0.259381689	981.947878	4233.757453	0.716514484	0.000127317
	0.000612346	0.00026415	0.25926964	981.523828	4279.592578	0.71651509	0.000129533
	0.00066828	0.00026415	0.257946179	976.513995	4853.489748	0.716518656	0.000149746
	0.000670852	0.00026415	0.257879271	976.260703	4883.911328	0.716518737	0.000150399
	0.000673893	0.00026415	0.257799401	975.95834	4920.384833	0.716518826	0.000151126
	0.000676921	0.00026415	0.257719077	975.654261	4957.236033	0.71651891	0.000151798
	0.000694037	0.00026415	0.257249526	973.876676	5175.944193	0.716519286	0.000154519
	0.000696513	0.00026415	0.257179346	973.610996	5209.094393	0.716519329	0.000154747
	0.00069898	0.00026415	0.257108845	973.3441	5242.512433	0.716519369	0.000154931

type	Pr	Re	X	H	Ln(X)	Ln(h)	Nu	Ln(Nu)
condensation	addimentional	Addimentional	SI	W/m.K				
نحاس	2.241704563	1.892860587	7209.825208	0.013956519	8.883199987	-4.271808567	0.001947844	-6.24103204
	2.189906971	1.892861472	7209.860808	0.013956496	8.883204925	-4.271810212	0.001947838	-6.241035332
	2.157719563	1.892861915	7209.881344	0.013956483	8.883207773	-4.271811162	0.001947834	-6.241037231
	2.124820266	1.892862297	7209.901143	0.01395647	8.883210519	-4.271812077	0.001947831	-6.241039062
	2.074744016	1.892862761	7209.929086	0.013956452	8.883214395	-4.271813369	0.001947826	-6.241041645
	2.039256641	1.892863019	7209.947376	0.01395644	8.883216931	-4.271814215	0.001947822	-6.241043336
	1.763992211	1.892863852	7210.055016	0.013956371	8.883231861	-4.271819191	0.001947803	-6.241053289
	1.756325391	1.892863858	7210.057458	0.013956369	8.883232199	-4.271819304	0.001947802	-6.241053515
	1.747876483	1.892863865	7210.060168	0.013956367	8.883232575	-4.271819429	0.001947802	-6.241053766
	1.740139196	1.892863871	7210.062685	0.013956366	8.883232924	-4.271819546	0.001947801	-6.241053998
	1.709503043	1.89286389	7210.074032	0.013956358	8.883234498	-4.27182007	0.001947799	-6.241055048
	1.706977243	1.892863892	7210.075329	0.013956358	8.883234678	-4.27182013	0.001947799	-6.241055168
	1.704956083	1.892863893	7210.076549	0.013956357	8.883234847	-4.271820187	0.001947799	-6.24105528

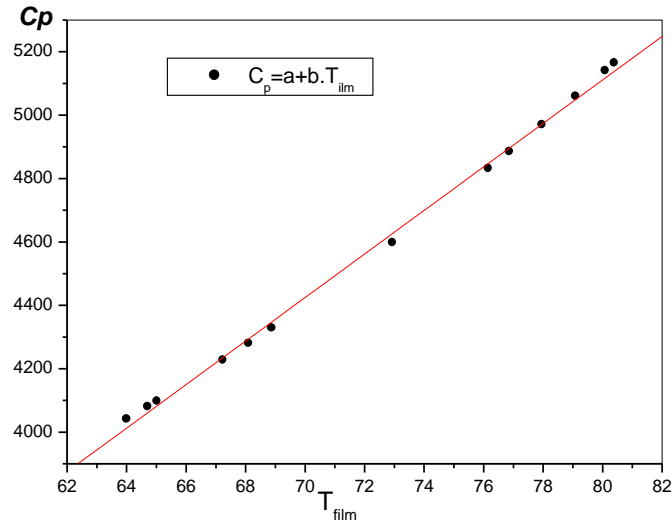


الشكل (17-IV): تغيرات الكتلة الحجمية  $\rho$  للماء بدلالة  $T_{film}$  الخاص بتجربة الذهب

ومنه يمكن استنتاج النموذج كما يلي:

$$\rho = A + B \cdot T_{film}$$

Parameter	Value	Error
A	1022.30655	0.3058
B	-0.59973	0.00421

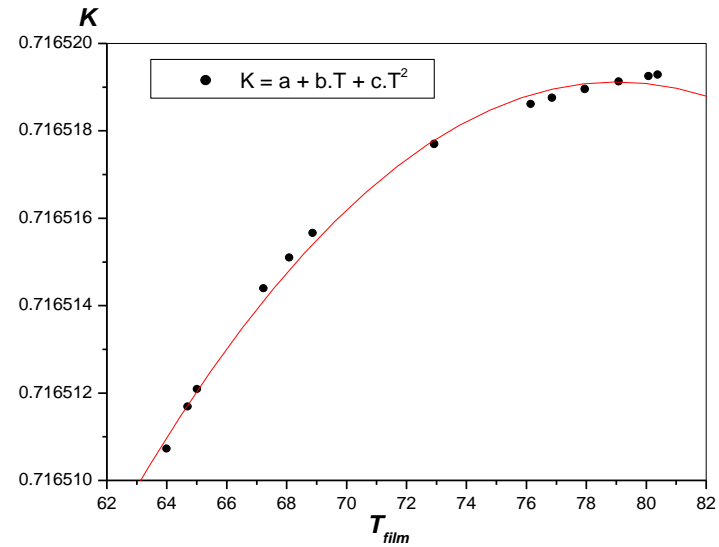


الشكل (18-IV): تغيرات السعة الحرارية  $c_p$  للماء بدلالة  $T_{film}$  الخاصة بتجربة الذهب

ومنه يمكن استنتاج النموذج كما يلي:

$$c_p = A + B \cdot T_{film}$$

Parameter	Value	Error
A	-382.06263	67.35715
B	68.67465	0.92671

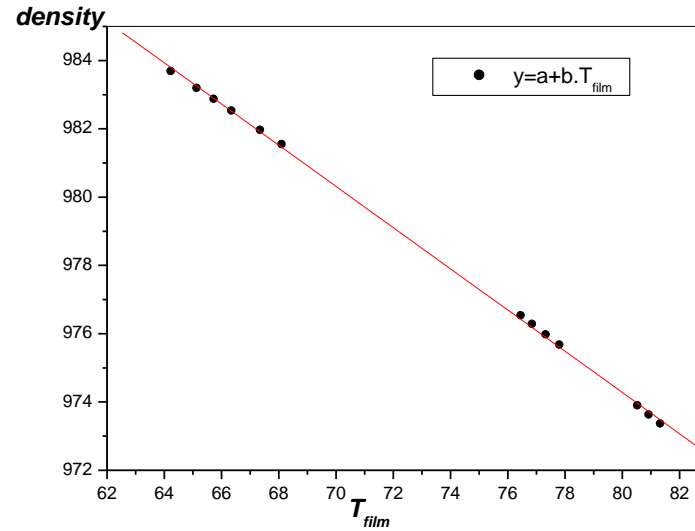


الشكل (19-IV): تغيرات التوصيلية الحرارية  $K$  بدلالة للماء بدلالة  $T_{film}$  الخاصة بتجربة الذهب

ومنه يمكن استنتاج النموذج كما يلي:

$$K = A + BT_{film} + C. T_{film}^2$$

Parameter	Value	Error
$A$	0.71629	$1.41315.10^{-5}$
$B$	$5.7116.10^{-6}$	$3.93454.10^{-7}$
$C$	$-3.61481.10^{-8}$	$2.72136.10^{-9}$

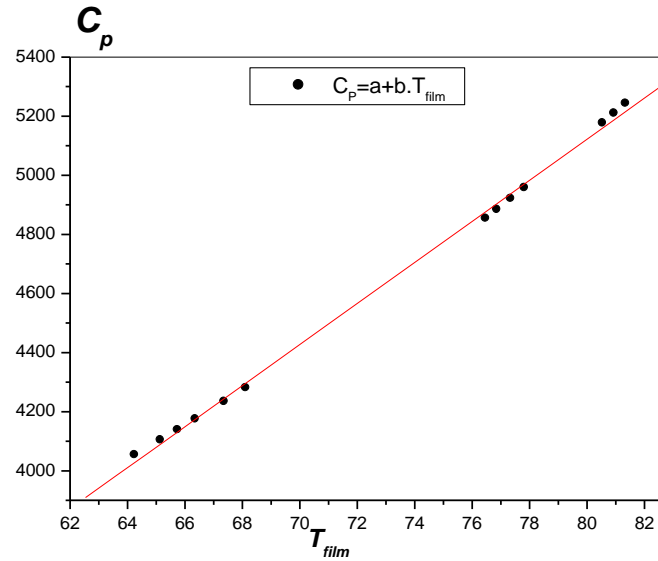


الشكل (20-IV): تغيرات الكتلة الحجمية  $\rho$  للماء بدلالة  $T_{film}$  الخاص بتجربة النحاس

ومنه يمكن استنتاج النموذج كما يلي:

$$\rho = A + B \cdot T_{film}$$

Parameter	Value	Error
A	1022.54692	0.27582
B	-0.60334	0.00377

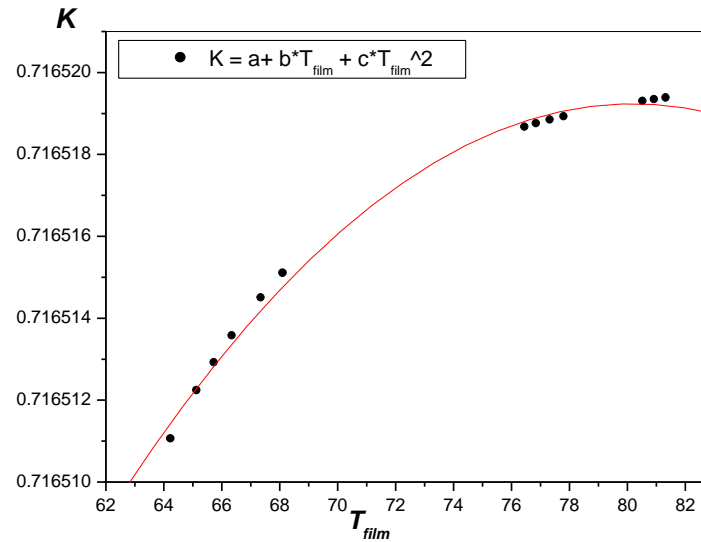


الشكل (21-IV): تغيرات السعة الحرارية  $C_p$  للماء بدلالة  $T_{film}$  الخاص بتجربة النحاس

ومنه يمكن استنتاج النموذج كما يلي:

$$c_p = A + B \cdot T_{film}$$

Parameter	Value	Error
A	-435.57123	60.7538
B	69.47094	0.82948



الشكل (IV-22): تغيرات التوصيلية الحرارية  $K$  للماء بدلالة  $T_{film}$  الخاصة بتجربة النحاس

ومنه يمكن استنتاج النموذج كما يلي:

$$K = A + B \cdot T_{film} + C \cdot T_{film}^2$$

Parameter	Value	Error
$A$	0.71632	1.57167E - 5
$B$	$4.91392 \cdot 10^{-6}$	4.35254E - 7
$C$	$-3.0642 \cdot 10^{-8}$	2.99098E - 9



النموذج التاسع: الكتلة الحجمية  $\rho$  للماء بدلالة  $T_{\text{film}}$  الخاص بتجربة الذهب

$$\rho = 1022.30655 - 0.59973 \cdot T_{\text{film}}$$

النموذج العاشر: السعة الحرارية  $c_p$  للماء بدلالة  $T_{\text{film}}$  الخاصة بتجربة الذهب

$$c_p = -382.06263 + 68.67465 \cdot T_{\text{film}}$$

النموذج الحادي عشر: التوصيلية الحرارية  $K$  بدلالة للماء بدلالة  $T_{\text{film}}$  الخاصة بتجربة الذهب

$$K = 0.71629 + 5.7116 \cdot 10^{-6} \cdot T_{\text{film}} - 3.61481 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{film}}^2$$

النموذج الثاني عشر: الكتلة الحجمية  $\rho$  للماء بدلالة  $T_{\text{film}}$  الخاص بتجربة النحاس

$$\rho = 1022.54692 - 0.60334 \cdot T_{\text{film}}$$

النموذج الثالث عشر: السعة الحرارية  $C_p$  للماء بدلالة  $T_{\text{film}}$  الخاص بتجربة النحاس

$$c_p = -435.57123 + 69.47094 \cdot T_{\text{film}}$$

النموذج الرابع عشر: التوصيلية الحرارية  $K$  للماء بدلالة  $T_{\text{film}}$  الخاصة بتجربة النحاس

$$K = 0.71632 + 4.91392 \cdot 10^{-6} \cdot T_{\text{film}} - 3.0642 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{film}}^2$$

المراجع

المراجع باللغة الانجليزية	
[01]	Welly,J.R.,Wicks, C.E and Wilson ,R.E.,Fundamentals of Montentum,Heat and Mass Transfer,5rd. Ed .,John Wiley & Sons,(1984).
[02]	Welty,J., Engineering Heat Transfer SI-version,John Wiley &Sons ,New York(1978).
[03]	KrithF . and Black ,W., Basic Heat Transfer ,Harper and Row Publishers, New York(1980).
[04]	Karn ,D., Process Heat Transfer,McGraw-Hill International Student edition ,New York(1950).
[05]	Holman,J., Heat Transfer,4th ed. McGraw-Hill,New York (1976).
[06]	Integral Reactor Containment Condensation Model and Experintal Validation
[07]	Modelling of Passive Heat Removal Systems : A Review With Reference to the Framatome KERENA BWR Reactor : Part I
[08]	Investigation on Numerical Modeling of Water Vapour Condensation from a Flue Gas with High CO2 Content
[09]	Numerical Modeling of Annular Lamiar Film Condensation in Circuiar in Ciruiar and Non-Circular Micro-Channels under Normal and Mico-g-Gravity

المراجع باللغة الفرنسية	
[10]	J.F. Sacadura "Initiation aux transfert thermique" France -1977.
[11]	J.Taine&J.P.Petit "cours et données de base .Transfert thermiques"France -1995.
[12]	A.Fortier "MDF et transfert de chaleur et de masse par convection"-France -1982.
[13]	C.E.A &E.D.F école d'été de MDF "Techniques de mesures dans les écoulements"-France-1973.

المراجع باللغة العربية	
[14]	انتقال الحرارة لدار العربية للنشر و التوزيع
[15]	مبادئ انتقال الحرارة لمحمد عبد الرضا الشممدي
[16]	أساسيات الديناميكا الحرارية الكلاسيكية الطبعة الثانية
[17]	كتاب انتقال الحرارة المبادئ الأساسية لمحمد تقي كامل
[18]	كتاب انتقال الحرارة بالغلليان والتكنيف أسامة محمد المرضي سليمان جامعة وادي النيل كلية الهندسة والتقنية السودان

**ملخص:** إن ظاهرة التكثيف لها أهمية كبيرة في المجال الصناعي ومساهمة المكثفات في إنتاج الطاقة الكهربائية (القدرة) في المحركات التي تعمل بالبخار، ودورها هو إنتاج السائل، وكما تستعمل هاته الظاهرة في التكثيف الهوائي (التبريد)، وغيرها من الإجراءات الحرارية والهدف من هذه الدراسة هو محاولة فهم آلية هذه الظاهرة، و من أجل ذلك أستخدم تركيب تجريبي، حيث يقوم بتكثيف بخار الماء على مستوى عينتين من الأسطح الأولى مطلية بالذهب و الأخرى مطلية بالنحاس لمقارنة معامل التكثيف الذي يعتمد على نوعية السطح المكثف، و في الأخير يمكن استنتاج انه كلما زاد الفرق في درجة الحرارة بين السطح و البخار، زاد معامل التكثيف ومنه زادت كمية إنتاج السائل .

### الكلمات المفتاحية: التكثيف - الإسالة - التقطير - Reynolds - Nusselet

**Abstract:** The phenomenon of condensation is of great importance in the industrial field and the contribution of capacitors to the production of electrical energy (energy) in steam engines, and its role is to produce liquid, and this phenomenon is also used in air conditioning (refrigeration), and other thermal procedures. The purpose of this study is an attempt to understand the mechanism of this phenomenon , for this I used an experimental setup, condensing water vapor at the level of two samples, one gold-coated and the other copper-coated to compare the condensation coefficient which depends on the quality of the condensed surface, and in the latter it can be concluded that the greater the temperature difference between the surface and the vapor, the higher the condensation coefficient And from it the amount of liquid production increased.

**Key words:** condensation - liquefaction - distillation - nuslite - Reynolds

**Résumé :** Le phénomène de condensation est d'une grande importance dans le domaine industriel et la contribution des condensateurs à la production d'énergie électrique (puissance) dans les moteurs à vapeur, et son rôle est de produire du liquide, et ce phénomène est également utilisé dans l'air conditionnement (réfrigération), et d'autres procédures thermiques et le but de cette étude C'est une tentative de comprendre le mécanisme de ce phénomène, et pour cela j'ai utilisé un montage expérimental, où il condense la vapeur d'eau au niveau de deux échantillons, le premier plaqué or et l'autre cuivré pour comparer le coefficient de condensation qui dépend de la qualité de la surface condensée, et dans le dernier on peut conclure que plus La différence de température entre la surface et la vapeur, plus la condensation coefficient, et à partir de lui la quantité de production de liquide a augmenté.

**Mots clés :** condensation - liquéfaction - distillation - Nusselet- Reynolds