

دراسة أثر مقاومات الترسب الناتجة عن المياه المعبأة في المرافئ السورية في المبادلات الحرارية اللوحية على متن السفن

الدكتور محمد شلوف*

(تاريخ الإيداع 10 / 11 / 2014. قُبِلَ للنشر في 16 / 3 / 2015)

□ ملخص □

ناقشنا في هذه الدراسة أثر مقاومة الترسبات المتشكلة في سطوح المبادلات اللوحية المركبة على السفن التجارية، وذلك عند استخدام مياه معبئة في المرافئ السورية من مصادر مختلفة ذات مواصفات مختلفة، وقمنا بالتحقق من صلاحية نموذج لتوصيف سلوك الترسبات للحالة المدروسة، وصولاً إلى مجموعة من الاستنتاجات والتوصيات حول استخدام المياه المناسبة في المبادلات الحرارية اللوحية في السفن. بنتيجة الدراسة تبين أن المياه المعبأة من مياه السن هي الأفضل للاستخدام على السفن، كونها تحوي على أقل نسبة من الشوارد القابلة للترسب على سطوح التبادل الحراري في المبادلات المذكورة.

الكلمات المفتاحية: مقاومة الترسبات، المبادلات الحرارية اللوحية، تحليل المياه، الفرق الحراري اللوغاريتمي الوسطي، القيم النموذجية لمقاومة الترسبات، القيم الوسطية لنسب المقاومات للعينات.

*أستاذ مساعد - قسم الهندسة البحرية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

A Study of The Impact of Fouling Resistance Caused By Bottled Water in Syrian Ports on Marine Plate Heat Exchangers

Dr. Mohammad Shallouf*

(Received 10 / 11 / 2014. Accepted 16 / 3 / 2015)

□ ABSTRACT □

In this study we have discussed the effect of fouling resistance in marine plate heat exchangers in commercial ships, when using bottled water in Syrian ports from different courses with different specifications. We have also verified the validity of a model for describing behavior of fouling in the studied case, reaching a number of conclusions and recommendations concerning the use of the appropriate water for marine plate heat exchangers.

Key word: Fouling Resistance, Plate Heat Exchangers, Water Analysis, Logarithmic Mean Temperature Difference, Standard Values of Fouling Resistance, Mean Values of Resistance rates of Samples.

*Associate Professor, Department of Marine Engineering, Faculty of Mech. & Elec. Engineering - Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تعد المبادلات الحرارية عسبا رئيسا في الصناعة البحرية، حيث تتم بواسطتها معظم عمليات تبادل الطاقة، كالتخلص من الحرارة الزائدة للمحركات، وتأمين بعض الحاجات العامة للسفينة، وأحد المشاكل التي تعترض استثمار المبادلات الحرارية مشكلة الترسبات، التي ينجم عنها خسارات اقتصادية كبيرة (كلفة التصميم الأولية برفع هوامش التصميم، تكاليف الاستثمار بارتفاع تكاليف الضخ وانخفاض الفعالية، تكاليف مخفضات الترسبات، وتكاليف التنظيف)[1]، يعطي الجدول (1) فكرة عن أهمية الترسبات اقتصادياً.

الجدول (1): تكلفة الترسبات السنوية في بعض بلدان العالم[1].

Country	Fouling costs US \$ million
USA	3860-7000
Japan	8000-10000
West Germany	1533
Australia	700-930
UK	700-930
New Zealand	260
Total Industrial World	26850

يتعلق تشكل الترسبات بشكل رئيسي بنوع المائع الذي يتم بواسطته تبادل الطاقة الحرارية (زيوت، وقود، مياه، هواء، غازات احتراق...الخ) وبنوع المبادل الحراري (صفائحي، انبوبي، صفائح وانابيب...الخ)[2]، وبعض المؤثرات الأخرى (السرعة، درجة الحرارة، التركيز...الخ) [3]. تؤدي الترسبات الى انخفاض فعالية التبادل الحراري، وتشكل ضغط خلفي زائد يتطلب زيادة في الطاقة المصروفة على ضخ الموائع[3].

تستخدم المبادلات اللوحية على نطاق واسع في المجال البحري لتبريد المحركات الرئيسية في الدارات نصف المغلقة (مياه عذبة-مياه بحر) [4]، وتتعرض لأنواع المختلفة من الترسبات، و تأخذ فلسفة تصميم هذه المبادلات مقارنة بالمبادلات ذات الأنابيب والصفائح هوامش أصغر لمقاومة الترسبات [5]، حيث يزيد معامل انتقال الحرارة الكلي للمبادلات اللوحية (ماء-ماء) في حده الأقصى حوالي (15%). ويحسب هامش التصميم [6] بإحدى العلاقتين (1) أو (2):

$$(1) M = \frac{k_c - k_f}{k_f}$$

$$(2) M = k_c \cdot R_f$$

حيث: M - هامش التصميم الذي يأخذ بالاعتبار المقومات الناتجة عن الاستثمار في المبادلات الحرارية.

k_c - معامل النفوذية الحرارية. لسطوح التبادل الحراري النظيفة.

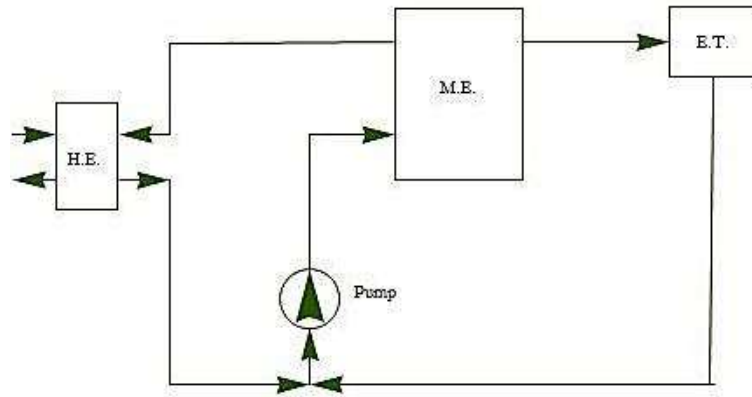
k_f - معامل النفوذية الحرارية عند تشكل الترسبات على سطوح التبادل الحراري.

R_f - المقاومة الحرارية لجدران المبادل الحراري.

يتمثل هامش التصميم في المبادلات اللوحية في إضافة قنوات موازية (إضافة صفائح)، وبالتالي استخدام هوامش تصميم مرتفعة، مما يخفض من سرعة الجريان في القنوات الفرعية ويخفض من فعالية التبادل الحراري ويرفع

معدلات الترسيب، كما أن استخدام هوامش تصميم منخفضة يجعل المدة الفاصلة بين زمني تنظيف متتاليين قصيرة. تبلغ قيمة مقاومة الترسبات المستخدمة في عملية التصميم الحراري للمبادلات اللوحية حوالي $(0.33 \times 10^{-4} m^2 C/W)$ [6]، وهذا يجعل المبادلات اللوحية أكثر حساسية للترسبات.

تتعرض المبادلات الحرارية (ماء - ماء) للترسبات البلورية، التي تمتاز بمقاومة حرارية عالية للطبقة المترسبة، وخصوصاً ترسبات أملاح الكالسيوم [7]، ويكون تأثير هذه الطبقة أعلى في المائع ذي السعة الحرارية الأقل [8]. أجريت الدراسة على ثلاث سفن تابعة للمؤسسة العامة السورية للنقل البحري، منها سفينتان متماثلتان (*Sister ships*) هما "سوريا" و"لاواديسيا" اللتان تسيّران بواسطة محرك رئيسي ماركة ["MAK" 9 و 10 و 12]، وسفينة أخرى "قينيقيبا" تسيّر بواسطة محرك رئيسي ماركة ["M.A.N" 11 و 13] وتستخدم في السفن الثلاثة مبردات لوحية لتبريد المحركات الرئيسية. وقد تمت الدراسة التجريبية في الفترة الواقعة بين تموز \ 2013 وأذار \ 2014. تستخدم الشركات التي تركّب هذا النوع من المحركات دارات تبريد للمحركات البحرية من النوع (*EXPANSION TANK-CONTROLLED INLET THERMOSTATS*)، التي تحوي منظم درجة حرارة وخزان تمدد لمائع التبريد (الشكل 1)، وتفرض معايير على خصائص المياه المعبأة ضمن الدارة للتحكم بمستويات التآكل والترسبات وجعلها ضمن الحدود الطبيعية [12] كما هو موضح بالجدول (2):



الشكل (1) مخطط توضيحي لتبريد المحركات الرئيسية المدروسة.

ME - محرك رئيسي HE - مبادل حراري Pump - مضخة ET - خزان تعويض

الجدول (2): المواصفات النموذجية لمياه تبريد كتلة الأسطوانات [12].

pH	9-5.5
chlorides	Less than 40 ppm
Total dissolved solids	Less than 340 ppm
Total sulfates	Less than 100 ppm
Total Hardness	Less than 170 ppm

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى تحسين استثمار المبادلات اللوحية المستخدمة على السفن السورية في ظروف العمل الواقعي للسفينة، وتحديد أثر الترسبات المتشكلة على سطوح المبادل في تبريد محرك الديزل المستخدم، وخصوصاً عندما يطلب من المبادل تخليص المحرك من الكمية القصوى من الطاقة الحرارية الأعظمية اللازمة لعمل المحرك ضمن الحدود

الطبيعية، تفادياً للإجهادات الحرارية، ولاسيما أن معدلات الترسب في المبادلات يمكن أن تعد مؤشراً على الترسبات ضمن فراغات تبريد المحرك، والترسبات على المنظم الحراري (الترموستات) وعلى المقاييس الحرارية المختلفة (إنذار درجة حرارة مدخل ومخرج المحرك، حساس الفصل الحراري عند زيادة الحمل)، والتي تؤثر في وثوقه دارة تبريد المحرك ككل، وفي انحراف ظروف عمل المحرك عن الشروط المعيارية ومن هنا تأتي أهمية البحث.

طرائق البحث ومواده:

لتحقيق الأهداف المذكورة أعلاه قمنا بقياس وتسجيل قيم درجات الحرارة على مداخل ومخارج المبادلات الحرارية اللوحية ماركة (GEA) المركبة على السفن الثلاث المذكورة أعلاه، ويبين الشكل (2) صورة فوتوغرافية للمبادل السابق ذكره، كما يبين الجدول (9) مواصفات هذا المبادل. حيث تمت وبطلب منّا تعبئة خزانات السفينة "سوريا" بمياه السن. بينما تمت تعبئة خزانات السفينة "لاواديسيا" بمياه بئر العجمي، والسفينة "فينيقيا" بمياه بئر مرفأ طرطوس، حيث تم أخذ عينات من كل من المصادر الثلاثة وتحليلها في مخابر المؤسسة العامة لمياه الشرب في طرطوس، ونورد نتائج التحليل في الجداول (3) و(4) و(5):

الجدول (3): مواصفات مياه التبريد للسفينة "سوريا" (السن).

total - alkaline mg / l	244
Total Hardness	340
Chloride ion content mg / l	4.99
Total chloride + sulphate ions mg / l	19.59
Total dissolved solids mg / l	206

الجدول (4): مواصفات مياه التبريد للسفينة "لاواديسيا" (بئر العجمي).

total - alkaline mg / l	276
Total Hardness	350
Chloride ion content mg / l	89.21
Total chloride + sulphate ions mg / l	130
Total dissolved solids mg / l	412

الجدول (5): مواصفات مياه التبريد للسفينة "فينيقيا" (بئر المرفأ).

total - alkaline mg / l	280
Total Hardness	390
Chloride ion content mg / l	96.67
Total chloride + sulphate ions mg / l	141.66
Total dissolved solids mg / l	429



الشكل (2) صورة فوتوغرافية لنموذج من المبادلات المدروسة.

تم تسجيل بيانات السفن (درجات الحرارة المقاسة على مداخل ومخارج المبادلات) أثناء عملها الطبيعي بعد شهرين من عملية التنظيف ولمدة شهرين (الجدول 6 و 7 و 8):

الجدول (6): درجات الحرارة المقاسة على مداخل ومخارج المبادلات في السفينة "سوريا".

التاريخ	t_{hi}	t_{ho}	t_{co}	t_{ci}
من 8 كانون الثاني حتى 12 آذار 2014	$78 \div 81$	$71 \div 76$	$37.5 \div 40.5$	$30 \div 34$

الجدول (7): درجات الحرارة المقاسة على مداخل ومخارج المبادلات في السفينة "لاوديسيا".

التاريخ	t_{hi}	t_{ho}	t_{co}	t_{ci}
من 3 تموز حتى 3 أيلول 2013	$78 \div 81$	$70 \div 76$	$37 \div 41$	$30 \div 34$

الجدول (8): درجات الحرارة المقاسة على مداخل ومخارج المبادلات في السفينة "فينيقيا".

التاريخ	t_{hi}	t_{ho}	t_{co}	t_{ci}
من 20 أيلول حتى 21 تشرين الثاني 2013	$78 \div 81$	$70 \div 76$	$37 \div 40$	$30 \div 33.5$

حيث: $(t_{co} \text{ و } t_{ci})$ - درجة حرارة مياه التبريد على مدخل ومخرج المبادل الحراري.

$(t_{hi} \text{ و } t_{ho})$ - درجة حرارة مياه تبريد المحرك (المياه الحارة) على مخرج ومدخل المبادل الحراري.

الجدول (9): المعلومات الخاصة بالمبادلات المدروسة [4].

NT150S-CD10			النوع
56			عدد الصفائح
28.08			المساحة الكلية لسطوح التبادل الحراري m^2
2416.994			معامل انتقال الحرارة الكلي $W/m^2 \cdot ^\circ C$
خروج	دخول		درجات الحرارة $^\circ C$
46.4	38.9	للماء	
69	90.4	للزيت	
المائع الساخن	المائع البارد		التدفقات m^3/h
100	280		

تم حساب كمية الطاقة الحرارية المتبادلة اعتماداً على معادلة مصونيه الطاقة في المبادل [14]:

$$(3) Q = \dot{m}_c \cdot C_{p_c} \cdot (t_{co} - t_{ci}) = \dot{m}_h \cdot C_{p_h} \cdot (t_{hi} - t_{ho})$$

حيث: \dot{m}_c - تدفق مياه التبريد في المبادل الحراري m^3/h .

وحساب المقاومة الحرارية اعتماداً على طريقة فرق درجات الحرارة اللوغاريتمي [6 و 14]:

$$(4) R_f = \frac{1}{k_f} - \frac{1}{k_c}$$

$$(5) Q = k \cdot S \cdot \Delta T_{im} = \frac{S \cdot \Delta T_{im}}{R}$$

حيث: S - مساحة سطح التبادل الحراري m^2 .

ΔT_{im} - فرق درجات الحرارة اللوغاريتمي $^\circ C$.

يجدر بالذكر أن فرق درجات الحرارة اللوغاريتمي للمبادلات اللوحية ذات التدفقات المتعكسة يعطى

بالعلاقة (6) [11 و 14]:

$$(6) \Delta T_{im} = \frac{(t_{hi} - t_{co}) - (t_{ho} - t_{ci})}{\ln \left(\frac{t_{hi} - t_{co}}{t_{ho} - t_{ci}} \right)}$$

يبين الجدول (10) الخصائص المعيارية لمياه تبريد المحركات المدروسة عند استخدام إضافات للمياه.

الجدول (10): الخصائص النموذجية لمياه تبريد المحركات المدروسة [4].

	corrosion-inhibiting oil	Chemicals
total - alkaline earths mg / l	50.05 – 220.22	0. – 180.18
Total Hardness	53.55 – 214.2	0-178.5
Chloride ion content mg / l		Max. 100
chloride + sulphate ions mg / l		Max. 200
pH		6,5 - 8

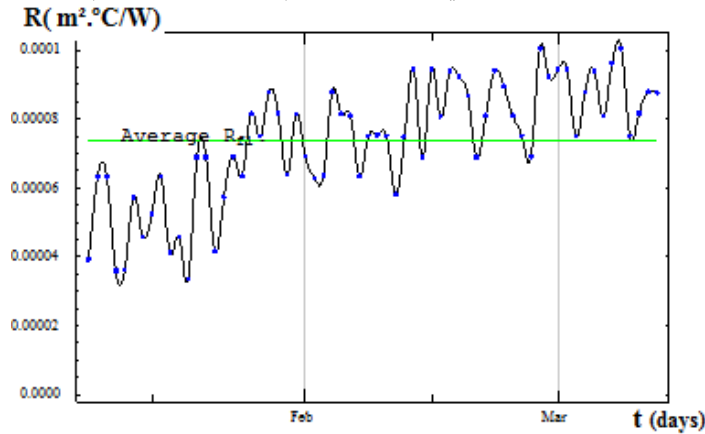
قمنا بعد إجراء الحسابات المطلوبة بمقارنة النتائج بالقيم النموذجية لمقاومة الترسبات للمبادلات اللوحية، ودونت النتائج في الجدول (11):

الجدول (11): مقارنة قيم مقاومة الترسبات لمبادلات الحرارة الحسابية (TEMA) مع النموذجية (PHEs) [2].

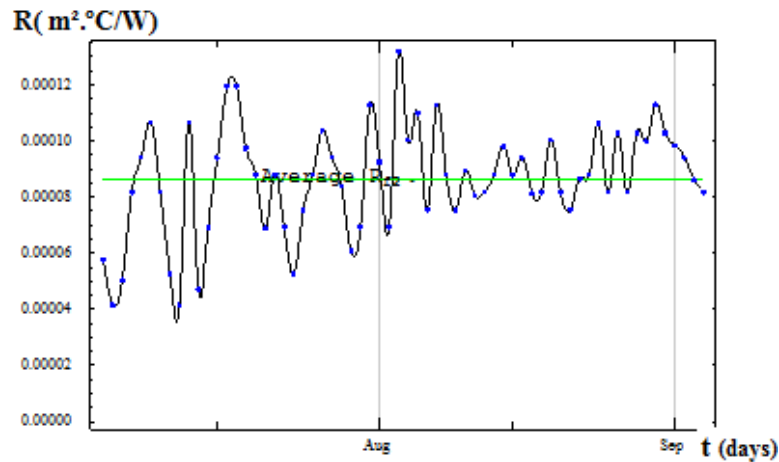
Water type	Fouling resistance ($10^4 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$)	
	PHEs	TEMA
Soft water	0.018	0.18-0.35
Cooling tower water	0.044	0.18-0.35
Seawater	0.026	0.18-0.35
River water	0.044	0.35-0.53

النتائج والمناقشة:

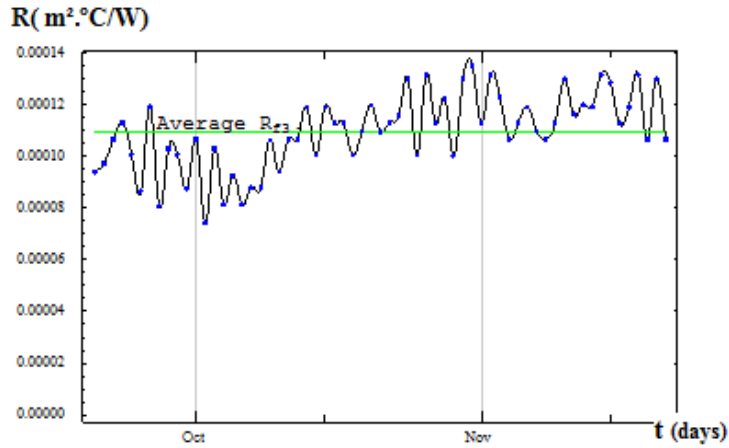
تبين الاشكال (3) و(4) و(5) القيم المحسوبة للمقاومة الحرارية الناتجة عن الترسبات في المبادلات الحرارية "الخط المستمر" (اعتماداً على المعلومات الواردة في الجداول 6÷8) باعتبار أنه للماء $Cp_c = 4011 \text{ (J/kg.}^\circ\text{C)}$.



الشكل (3): مقاومة الترسبات في السفينة "سوريا" (مياه نبع السن).



الشكل (4): مقاومة الترسبات في السفينة "لاوديسيا" (مياه بئر العجمي).



الشكل (5): مقاومة الترسبات في السفينة "فينيقيا" (مياه بحر المرفأ).

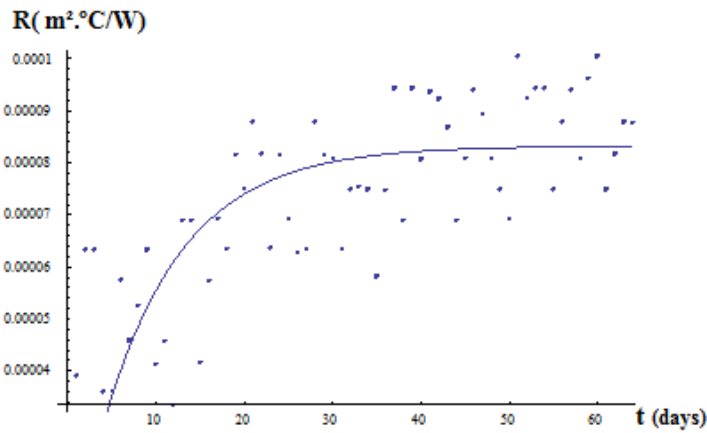
تم بعد ذلك التحقق من صلاحية استخدام نموذج (Seaton&Kern) وهي طريقة لتوصيف سلوك مقاومة الترسبات كتابع للزمن، اقترحها الباحثان سيتون وكيرن، وفي حالتنا ستبين هل تنطبق أو تتوافق النتائج المبينة من خلال الأشكال 6 و7 و8 مع النتائج الواردة هنا من خلال الحسابات المباشرة (حيث يمثل الخط المستمر نتائج التوصيف باستخدام الطريقة المذكورة أعلاه، أما النقاط فهي قيم القياسات الفعلية، حيث يبين الشكل صلاحية استخدام نموذج (Seaton&Kern)). في المبادلات اللوحية المستخدمة لتوقع قيمة مقاومة الترسبات والمساعدة في تحديد أزمئة التنظيف [8] و [3] بمساعدة العلاقة:

$$(7) R_f = R_{f\infty} (1 - e^{-\beta t})$$

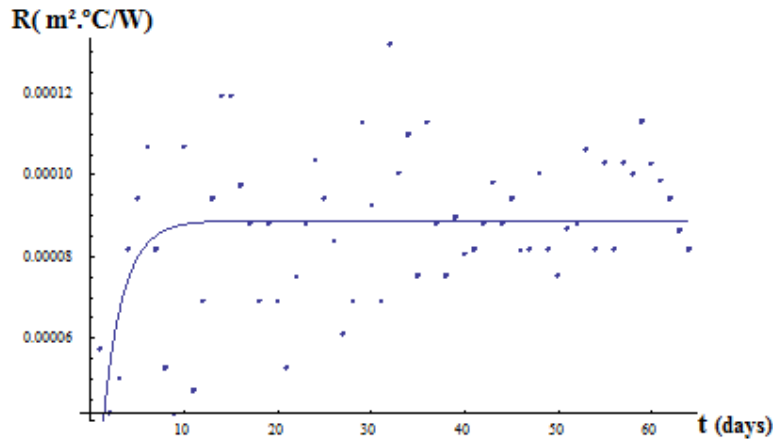
حيث: β - معامل الزمن المتوقع للترسبات (Time constant).

$R_{f\infty}$ - القيمة الأعظمية الممكنة للترسبات $m^2 \cdot ^\circ C/W$.

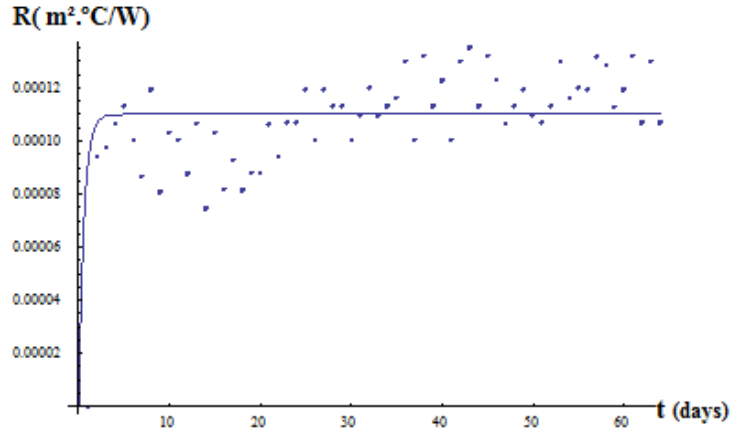
أنتجت العلاقة (7) الأشكال (6) و (7) و (8) والجدول (12). حيث تبين النقاط المختلفة قيم القياسات الفعلية، بينما يبين الخط المستمر التوسيط وفقاً لنموذج (Seaton&Kern).



الشكل (6): نتائج تطبيق نموذج (Seaton&Kern) في السفينة "سوريا".



الشكل (7): نتائج تطبيق نموذج (Seaton&Kern) في السفينة "لاواديسيا".



الشكل (8): نتائج تطبيق نموذج (Seaton&Kern) في السفينة "فينيفيا".

الجدول (12): نتائج تطبيق نموذج (Seaton&Kern) على عينات المياه الثلاث.

العينة	$R_{f\infty} (m^2 \cdot ^\circ C/W)$	β
السن	0.0000834	0.1104
بئر العجمي	0.00008882	0.4583
بئر المرفأ	0.00011	1.7356

تم بعد ذلك حساب القيم الوسطية للعينات ونسب المقاومة الوسطية لكل من المقاومة التصميمية للمبادل والمقاومة الفعلية اللازمة لتبادل كمية الحرارة الأعظمية عند العمل الحرج للمحرك ونظمت في الجدول (13):

الجدول (13): القيم الوسطية لنسب المقاومات للعينات.

العينة	القيمة الوسطية (m^2C/W)	نسبة من المقاومة التصميمية %	نسبة من المقاومة اللازمة لتبادل كمية الحرارة الاعظمية %
السن	0.00007352	17.77	19.744
بئر العجمي	0.00008658	20.93	23.25
بئر المرفأ	0.00010964	26.5	29.446

ختاماً، تبين الدراسة مايلي:

- أن مقاومة الترسبات تتذبذب بشدة في المراحل الأولى لتشكل طبقة الترسبات ومن ثم تقل حدة التذبذبات مع ازدياد الزمن وتشكل الملامح المستقرة للطبقة، وبالتالي يمكن اعتماد نموذج (Seaton&Kern) لتوصيف سلوك مقاومة الترسبات.

- تختلف قيم المقاومة الوسطية المحسوبة للعينات الثلاث عن بعضها بعضاً، عند زيادة قلوية المياه بنسبة (13.11%) وقساوتها الكلية بنسبة (2.9%) ومحتوى من شوارد الكلور والكبريتات بنسبة (563.6%)، كما أن زيادة محتوى المواد الصلبة المنحلة بنسبة (100%) أدت الى زيادة في مقدار المقاومة الحرارية بمقدار (3.16%)، وعند زيادة قلوية المياه بنسبة (14.75%) وقساوتها الكلية بنسبة (14.7%) ومحتوى من شوارد الكلور والكبريتات بنسبة (619.7%) و المواد الصلبة المنحلة بنسبة (108.25%) أدت الى زيادة في مقدار المقاومة الحرارية بمقدار (8.73%).

- تقترب خواص العينة المأخوذة من مياه السن بالمقارنة بالجدول (10) من معايير استخدام المواد الكيميائية والزيوت المانعة للصدأ والتآكل، بينما يؤدي استخدام هذه الإضافات لمياه العينات المأخوذة من بئري العجمي والمرفأ إلى ازدياد الترسبات.

- أن قيمة مقاومة الترسبات المحسوبة تفوق القيم النموذجية الموضحة في الجدول (12)، ويعزى ذلك إلى العدد الكبير للممرات الجزئية في المبادلات المستخدمة وانخفاض السرعة ضمن هذه الممرات، ويمكن ملاحظة أن قيمة معامل انتقال الحرارة للمبادلات المدروسة صغير نسبياً.

- ازدياد قيمة مقاومة الترسبات عن الهامش المسموح به (بحدود 10%) لتبادل الكمية الأعظمية للطاقة الحرارية اللازمة لتبريد المحرك في العينات الثلاث، ويعزى سبب الزيادة الى ازدياد المقاومة الناتج عن ترسبات مياه البحر، وبالتالي، جميع المبادلات تحتاج للتنظيف لضمان وثوقه دارة تبريد المحرك عند الحالات الحرجة.

- أن معظم المقاومة المحسوبة للترسبات هي بسبب الترسبات الناتجة عن مياه البحر، ولكن الترسبات المتشكلة من جهة المياه العذبة لا تقل خطورة عن سابقتها لأنها تهدد أمان ووثوقه عمل الحساسات الحرارية، وفعالية فراغات تبريد المحرك عند درجات الحرارة المرتفعة لسطوحها، فهي تقدم تصوراً عن مقدار الترسبات على الحساسات الحرارية وفراغات تبريد المحرك، كما أنها تضعف تأثير الإضافات المانعة للصدأ والتآكل.

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- تشكل مقاومة الترسبات الناتجة عن مياه البحر نسبة كبيرة من المقاومة الحرارية الكلية للترسبات.
- 2- المقاومة الحرارية الناتجة عن ترسبات المياه العذبة في دارات التبريد، ترتفع بازدياد قساوة المياه ومحتواها من الشوارد.
- 3- استخدام مبادلات لوحية ذات معاملات انتقال حرارة منخفضة، يفاقم مشاكل الترسبات ويهدد وثوقيه دارات التبريد.
- 4- يمكن استخدام نموذج (*Seaton&Kern*) في توصيف سلوك مقاومة الترسبات في المبادلات اللوحية المستخدمة على السفن عند مواصفات معلومة للمياه العذبة المستخدمة.
- 5- مع الأخذ بالاعتبار كل ما ورد أعلاه، نوصي باستخدام مياه السن لتعبئة خزانات ودارات التبريد في السفن، كون تعديل أو تبديل المبادلات الموجودة فعلاً على السفن أمر غير وارد من الناحيتين الاستثمارية والاقتصادية.

المراجع:

- 1.S. N. Kazi, "Fouling and Fouling Mitigation on Heat Exchanger Surfaces," in Heat Exchangers - Basics Design Applications, D. J. Mitrovic, Ed., InTech, March, 2012, pp. 507-531.
2. Shah, R. K. and D. P. Sekulic, FUNDAMENTALS OF HEAT EXCHANGER DESIGN, Hoboken, New Jersey: JOHN WILEY & SONS, INC, 2003.
3. Dr. R. Habib, "Particulate Fouling Effect on Heat Exchanger Performance," Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies, pp. 179-197, 16 6 2008..
4. C. M. G. & C. KG, Engine operating instructions, Caterpillar Motoren GmbH & Co. KG, 2004.
5. H. Müller-Steinhagen, M. R. Malayer and A. P. Watkinson, "A SURVEY OF ALFA LAVAL'S EXPERIENCE OF FOULING PREVENTION IN PLATE HEAT EXCHANGER SYSTEMS," ECI Symposium Series, pp. 344-345, 1 July 2007.
6. A. Laval, Heating and cooling solutions from Alfa Laval, www.alfalaval.com, 2012-2013.
7. N. Andritsos and A. Karabelas, "Calcium carbonate scaling in a plate heat exchanger in the presence of particles," International Journal of Heat and Mass Transfe, p. 4613-4627, 2003.
8. T. R. Bott, Fouling of Heat Exchangers, Elsevier Science & Technology Books, April 1995.
9. M/V "Souria", Technical information.
10. M/V "Lawadicia", Technical information.
11. M/V "Phiniqia", Technical information.
12. Caterpillar (MAK), Marine Engines Application and Installation Guide, USA: Caterpillar Inc, 2000.
13. M.A.N Marine Diesel Engines VF/4, VF5 Service Manual, Vetus N.V. Schiedam, Holland 2009.
14. T.kuppan and L. L. Faulkner, HEAT EXCHANGER DESIGN HANDBOOK, Marcel Dekker.Inc, 2000.
15. R. H. Perry, Perry's Chemical Engineers' Handbook, McGraw-Hill, 1999.
16. R. W. SERTH, Process Heat Transfer, Elsevier Science & Technology Books, April 2007.