

A study of Corrosion of Impellers Drinking Water Pumps in Al-Sin Spring

Dr. Ali Hatra*

Dr. Izzat Hasan**

Humam Mahmoud Mossallam***

(Received 13 / 6 / 2023. Accepted 2 / 10 / 2023)

□ ABSTRACT □

This research aims to describe the corrosion occurring in the bronze impellers of the water pumps of Al-Sin Spring of the classification (Cu SN10-C-GC) according to the DIN system, where the form of corrosion occurred and the factors causing it were studied, including the chemical factor resulting from the water sterilization material, and the mechanical factor resulting from the friction of filter sand atoms with the blades, and the most harmful areas in the body of the impellers were identified, and when calculating the corrosion rates, whether the rate of decrease in thickness, decrease in weight, or the coefficient of pitting corrosion.

It was observed that corrosion records dangerous values, which significantly affected the pumps' yields in terms of the amount of water produced.

In the corrosion study, actual samples of out-of-service pump impellers were relied upon, and the results were compared with samples of new impellers

The recommendations of the manufacturer of the pumps, OMEGA/KSB, were also used to find out the life span of the impeller, and compare them with the actual age, as a significant deviation was noticed in the actual result from the assumed one, which entails large financial and technical burdens on the work of the pumping group.

Keywords : impellers , general corrosion ,pitting corrosion, corrosion rate.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Associate Professor – Faculty of Mechanical and Electrical Engineering – Tishreen University – Lattakia – Syria.

** Professor – Faculty of Faculty of Mechanical and Electrical Engineering – Tishreen University – Lattakia – Syria.

*** Postgraduate (PhD) student –Faculty of Mechanical and Electrical Engineering – Tishreen University – Lattakia – Syria – email: humammossallam@gmail..com

دراسة تآكل شفرات مضخات مياه الشرب في نبع السن

د. علي هترة*

د. عزت حسن**

همام محمود مسلم***

(تاريخ الإيداع 13 / 6 / 2023. قُبِلَ للنشر في 2 / 10 / 2023)

□ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى توصيف التآكل الحاصل في الشفرات البرونزية لمضخات مياه نبع السن ذات التصنيف (Cu) (SN10-C-GC) وفق نظام التصنيف العالمي DIN، حيث تم دراسة شكل التآكل الحاصل، والعوامل المسببة له، فقد كان التآكل الحاصل تآكل مركب بسبب اجتماع عدة عوامل، كان منها العامل الكيميائي الناتج عن مادة تعقيم المياه، والعامل الميكانيكي الناتج عن احتكاك ذرات رمال التصفية بالشفرات، كما تم تحديد المناطق الأكثر ضرراً في جسم الشفرات، وعند القيام بحساب معدلات التآكل سواءً معدل النقصان في السماكة، أو النقصان في الوزن، أو معامل التآكل التقريبي، لوحظ أن التآكل يسجل قيم خطيرة، أثرت بشكل ملحوظ على مردود المضخات من حيث كمية المياه المنتجة. تم الاعتماد في دراسة التآكل على عينات مأخوذة من شفرات مراوح مضخات خارجة عن الخدمة ومقارنة النتائج مع عينات من شفرات سليمة.

كما تم الاستئناس بتوصيات الشركة المصنعة للمضخات، وهي شركة OMEGA/KSB، لمعرفة العمر الافتراضي للشفرات، ومقارنتها بالعمر الفعلي، حيث لوحظ انحراف كبير في النتيجة الفعلية عن المفترضة، مما يرتب أعباءً ماديةً و فنيةً كبيرة على عمل مجموعة الضخ.

الكلمات المفتاحية: شفرات المضخات، تآكل عام، تآكل تقريبي، معدل التآكل

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين - سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* أستاذ مساعد - كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** أستاذ - كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

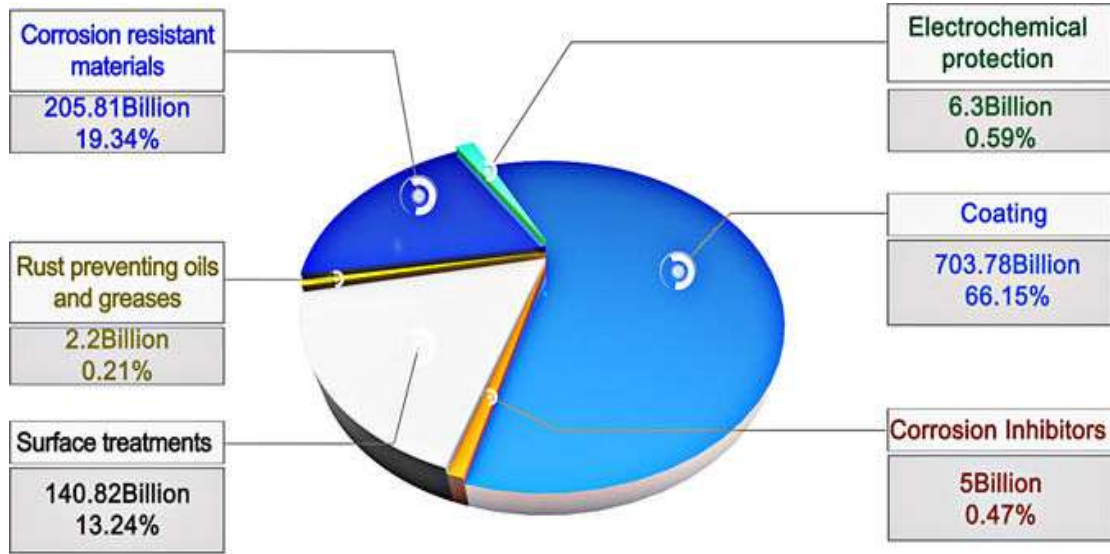
*** طالب دراسات عليا - دكتوراه - كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

humammossallam@gmail.com

مقدمة:

يعتبر التآكل من أكثر المشاكل التي تصيب المنشآت الصناعية خطورة، وتؤدي لتلف جزئي أو كلي للمعدات، مما يجعل العمليات الإنتاجية في حالة عدم انتظام بسبب الإيقافات الناتجة عن صيانة أو استبدال القطع المتآكلة. [1] ومما سبق يمكن القول أن التآكل يستهلك مبالغ كبيرة لو وضعت في تطوير العمليات الإنتاجية لزادت كمية الانتاج وتحسنت جودة المنتجات.

فعلى سبيل المثال وبالاعتماد على دراسة مرجعية [2] درست قيمة ما انفق على عملية الحماية من التآكل في الصين لعام 2014 يتبين أنه قد أنفق مايزيد عن 5% من الناتج المحلي الإجمالي الصيني كما هو مبين في الشكل (1).



الشكل (1) قيمة الانفاق السنوي لمقاومة التآكل في الصين

وليس في الصين وحدها التي تتكبد مبالغ مالية طائلة لمقاومة التآكل بل يمكن القول أن جميع الدول الصناعية المتقدمة تعاني من ذات الأمر، فمراجعة دراسة تناولت الخسائر السنوية الناتجة عن التآكل في المنشآت الصناعية في استراليا فقد بلغت نسبة الخسائر السنوية في الناتج المحلي مايقرب 4% أي ما قيمته \$8b ، وكذلك في الولايات المتحدة الأمريكية فقد بلغت قيمة المدفوعات السنوية ما يقارب \$250b ، وهذه الأرقام تشكل عبأ دائماً على سير العمليات الإنتاجية. [3]. ومما سبق يتبين مدى تأثير التآكل على المجالات الصناعية والإنتاجية والخدمية بشكل جلي، وسنوضح في هذه المقالة تأثير التآكل الحاصل في شفرات مضخات مياه الشرب التي تغذي محافظة اللاذقية، ودوره السلبي في عمل منظومات الضخ. حيث يوجد في مجموعة الضخ والتصفية لنبع السن /محطة مياه اللاذقية / ثلاث عشرة مجموعة ضخ تعمل على مدار الساعة تؤمن مياه الشرب لمدينة جبلة واللاذقية بشكل رئيسي، علماً أن هذه المجموعة تتبع لمديرية الموارد المائية في اللاذقية.

أهمية البحث وأهدافه:**1- هدف البحث :**

يهدف هذا البحث إلى دراسة تآكل شفرات مضخات المياه في نبع السن وفق أسس علمية ودقيقة مستمدة من دراسات عالمية، بهدف تكوين صورة متكاملة عن آلية نشوء وتطور التآكل الحاصل، وجمع بيانات من خلال الكشف الدوري

على المضخات الموضوعة في الخدمة وفق خطة زمنية تساعد على التنبؤ بحدوث التآكل في المضخات قبل وقوعه، كما يهدف هذا البحث إلى تقييم عمر عمل الشفرات من خلال مجموعة معادلات رياضية، ويعد ذلك حساب معدلات التآكل سواءً كانت على أساس النقصان في الوزن أو على أساس النخر الحاصل.

2- أهمية البحث :

تكمن أهمية هذا البحث في تحديد وتوصيف مشكلة تؤثر بشكل كبير على كمية المياه المنتجة، وهي تآكل شفرات مضخات المياه، وبالتالي انخفاض في قيمة الخدمة المتوقعة من محطات الضخ، وما ينجم عن هذا الانخفاض من أثر مباشر على واقع الخدمة المائية في محافظة اللاذقية.

3- منهجية البحث:

يتبع هذا البحث المنهجية التحليلية، حيث يعتمد على دراسة تفاصيل المشكلة الكلية وهي تآكل شفرات المضخات، وتحديد الأسباب المختلفة التي أدت لحدوثها بحيث تتمكن في نهاية البحث من ربط العوامل المؤدية لحدوث التآكل بنقصان الغزارة مع وجود ثوابت لا تؤثر في صحة الدراسة مثل التجهيزات الأنبوبية (مجموع الضياعات)، استطاعة المحركات الكهربائية، وثبات التغذية الكهربائية.

طرائق البحث ومواده :

كون البحث يعتمد المنهجية التحليلية، سنعتمد في دراستنا على مبدأ التعميم بعد التوصيف الدقيق، حيث سندرس عينة من الشفرات ونخضعها لدراسة مفصلة بهدف فهم آلية حدوث التآكل ونوعه وطريقة انتشاره، ويعد استيضاح أسباب التآكل يمكن أن نعمم على كامل الشفرات المستخدمة في مجموعات الضخ كونها تخضع لنفس ظروف العمل وهي أصلاً من ذات المعدن.

وسيتم العمل وفق التالي:

- 1- توصيف معدن شفرات المضخات المستخدمة في مجموعة الضخ والتصفية بنوع السن لمعرفة التركيب الكيميائي الخاص بها.
- 2- إجراء القياسات البعدية اللازمة لشفرات خارج الخدمة (متآكلة) و شفرات جديدة.
- 3- إجراء المقارنة الوزنية لعينات متطابقة من شفرات متآكلة وشفرات جديدة، بهدف تحديد الفاقد الوزني الناتج عن التآكل.
- 4- توضيح شكل التآكل في عينات من الشفرات باستخدام مجهر ضوئي بنسب تكبير مختلفة .
- 5- تحديد العوامل المؤدية لحدوث التآكل سواء كان تآكل كيميائي (CORROSION) أو ميكانيكي (EROSION).

6- حساب معدل التآكل بشكله العام والنقري وتحديد مدى خطورة هذا التآكل على عمر الشفرات.

4- تعريف مجموعة الضخ والتصفية لنوع السن .

4-1 أهمية نوع السن كمصدر مائي:

يعتبر نوع السن من أكثر الينابيع المائية الصالحة للشرب غزارة في الجمهورية العربية السورية، يقع في القسم الشمالي من مدينة بانياس على الحدود الإدارية بين بانياس وجبله، ويقع على ارتفاع 11م عن سطح البحر مشكلاً مسطحاً مائياً تبلغ مساحته ما يقارب 72000m^2 ، حيث يؤمن مصدراً مائياً دائماً للشرب لمحافظة اللاذقية وطرطوس، كما يساهم في توفير مياه الري لحوض الساحل.

يتألف الموقع من ثلاث محطات ضخ وهي:

- 1- محطة ضخ مياه اللاذقية: تتألف من ثلاث عشرة مجموعة ضخ أفقية موزعة على اربعة خطوط دفع تغذي محافظة اللاذقية بمياه الشرب، تستهلك ما يقارب $3.5 \text{ m}^3/\text{sec}$.
- 2- محطة ضخ مياه طرطوس: تتألف من أربع مجموعات ضخ عمودية تغذي محافظة طرطوس بمياه الشرب، تستهلك ما يقارب $0.75 \text{ m}^3/\text{sec}$.
- 3- محطة ري السن: تتألف من أربع مجموعات ضخ أفقية توفر مياه الري للأراضي الزراعية، تستهلك ما يقارب $1.2 \text{ m}^3/\text{sec}$.



الشكل (2) يظهر المسطح المائي الناتج عن نبع السن

تكمن المشكلة المدروسة في محطة ضخ اللاذقية الموضوع في الاستثمار من عام 2001، حيث لوحظ حدوث تآكل بشفرات المضخات الطاردة المركزية المستخدمة، وكانت حلول الصيانة حتى عام 2012 هي استبدال الشفرات بشفرات جديدة بهدف الإبقاء على كمية المياه المنتجة ضمن الحدود المطلوبة. بعد عام 2012 أصبح من الصعب تأمين شفرات جديدة بسبب العقوبات الاقتصادية المفروضة على سورية حتى وصلنا لعدم إمكانية تأمينها بعام 2019. وكون هذه المحطة تشكل المصدر الوحيد لمياه الشرب لمحافظة اللاذقية حالياً كان لابد من البحث عن حلول للحد من مشكلة تآكل الشفرات.

4-2 مضخات محطة مياه اللاذقية:

كما ذكرنا سابقاً تتألف محطة مياه اللاذقية من ثلاث عشرة مجموعة ضخ تعمل على مدار الساعة لتوفير المياه اللازمة لمحافظة اللاذقية.

وتعتمد عملية الضخ على مضخات من صنع شركة (OMEGA) الألمانية وهي من طراز KSB، هذه المضخات هي مضخات طاردة مركزية أفقية وحيدة المرحلة غزارتها $1332 \text{ m}^3/\text{h}$

عند ضاغط مقداره 92m ،حيث هذه القيمة تعتبر نقطة العمل المثالية لهذه المضخة،وعلى مجموعة من المحركات الكهربائية من صنع شركات عالمية مثل (سيمنس وشورج و ABB وسيفر باستطاعات) تتراوح من 400kw حتى 710kw. وتنقسم مجموعات الضخ إلى أربعة خطوط ضخ موجودة ضمن صالنتين منفصلتين ،وذلك حسب الحاجة التصميمية لتوزيع المياه على خطوط تغذية محافظة اللاذقية.



الشكل (3) يظهر صالة ضخ خط الجر الاول والثاني.



الشكل (4) يظهر خط الجر الثالث والرابع.

والشكل التالي يبين اللوحة الاسمية لمضخة عاملة في مجموعة الضخ والتصفية لنبع السن



الشكل (5) يبين مواصفات مضخة مياه

تقوم المضخات بسحب المياه من بيارات (خزانات) مياه تنتج عن عملية تصفية، حيث تصفى المياه الخامية القادمة من البحيرة في أحواض رملية، تحتوي على رمل ارتفاعه يقارب 1.5M . يقوم بتصفية المياه من العوالق كالأعشاب .

ثم يتم إضافة الكلور بهدف التعقيم ضمن البيارات بحيث تكون نسبة الكلور موافقة للمواصفة القياسية السورية وهي [4]. 0.001mg/L

يوجد في المحطة 24 حوض تصفية موزعة هذه الأحواض على صالتين، حيث يعطي كل حوض مايقارب 520 M³/h. تقوم المضخات برفع المياه إلى خزان توزيع رئيسي يقع في منطقة قرفيص على ارتفاع 92m عن سطح البحر. لتذهب المياه بعد الخزان بالإسالة عبر خطوط التغذية إلى محافظة اللاذقية. والشكل التالي يبين حوض تصفية رملي .



الشكل (6) يظهر حوض تصفية رملي.

والشكل التالي يوضح مجموعة ضخ تعمل على خط الجر الرابع.



الشكل(7) يظهر مجموعة ضخ (مضخة ومحرك)

كما يتم تزويد خطوط الدفع بعد المضخات بصمام فراشة، وصمام عدم رجوع كما يربط مع خطوط الدفع مطارق مائية مهمتها تلقي الصدمة المائية عند حدوث توقف مفاجئ للمضخات مما يحمي مجموعات الضخ من ضرر إرتداد المياه المفاجئ، كما هو موضح في الشكل.



الشكل (8) يظهر خزانات المطرقة المائية على خط الجر الأول والثاني.

5- دراسة تآكل شفرات مضخات المياه:

تعتمد شركة ksb- omega المعروفة عالمياً على شفرات مصنوعة من البرونز المعرف وفق التصنيف العالمي DIN بالرمز (Cu SN10-C-GC) ووفقاً لمعطيات الشركة فهذه السبيكة البرونزية التركيب الكيميائي والخواص المبينة في الجدول (1) التالي: [5]

/Chemical composition /

Weight%	cu	sn	pb	zn	fe	ni	p	AL	mn	si	sb	s
	88	8.2	0.5	0.5	0.2	2	0.2	0.03	0.1	0.02	0.2	0.05

ومن أهم الخواص الفيزيائية لهذه السبيكة:

/Physical properties/

DENSITY	Melting rang	Shrinkage	Electr.cond	Therm.cond	Liner.exp.coe
8.7 G/CM ³	1020 c ^o	1.5	7	59	9

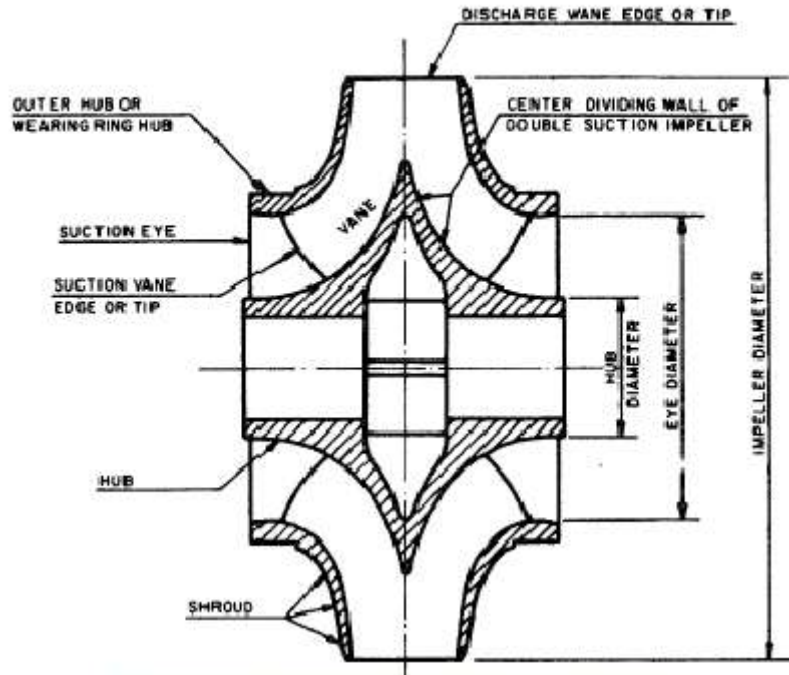
ومن أهم الخواص الميكانيكية لهذه السبيكة:

/Mechanical properties/

Tensil strength	Yield strength	Ultimate ten.str	Brinell hardness
250 Mpa	130 MPa	%18	70 HB

وحسب المواصفة التصميمية للمضخات العاملة في المحطة تقع نقطة العمل عند (1332m³/h,92m)، ويكون قطر الشفرة البرونزية الخارجي عند هذه القيمة ما يقارب 520mm، بحيث تتيح حيز داخلي ضمن المضخة يسمح بمرور الغزارة المطلوبة، والقطر الداخلي لتركيب المحور يبلغ 92mm.

الشكل التالي يظهر شفرة مضخة وقطاع أمامي كامل لتوضيح التفاصيل الداخلية لها.



الشكل (9) شفرة برونزية للمضخة.

ومن خلال الفحص البصري تعتبر منطقة vane (الريشة) من أكثر المناطق حساسية وتعرضاً للتآكل، كونها تكون على تماس مباشر مع تيار الماء الداخل وتصطدم معه بقوة لإكسابه السرعة الخطية اللازمة لبلوغ نقطة العمل، لذا عند دراسة تآكل الشفرات سنجد أكثر المناطق المتضررة هي هذه المناطق على جسم الشفرة.

سنعتمد في دراسة وتوصيف التآكل على النقاط التالية:

- تحديد وسط التآكل.
- تحديد نوع التآكل.
- تحديد مدى خطورة التآكل على عمر الشفرات البرونزية.

5-1 تحديد وسط التآكل:

أثناء تحليل المياه الناتجة عن عملية التصفية و الداخلة إلى خطوط سحب المضخات وذلك بالاستعانة بمخبر التحليل الكيميائي الخاص بمجموعة ضخ السن تبين أنه يحتوي إضافة إلى العناصر المعدنية وغير المعدنية الداخلة في تركيب المياه على التالي:

- 1- كلور حر متبقي ناتج عن عملية التعقيم باستخدام الكلور السائل المصنع محلياً في مصنع الكلور التابع لمجموعة الضخ والتصفية، حيث بلغت نسبة الكلور في الماء ما يقارب 0.59mg/l وذلك حسب المواصفة السورية.
- 2- كما لوحظ بعد اجراء عملية الترقيد والترسيب وجود حبيبات رملية كربونية مصدرها رمل أحواض التصفية. من خلال السابق يمكن أن نقول أن التآكل ناتج عن عوامل كيميائية سببها كلور التعقيم وأخرى ميكانيكية سببها حبيبات رمل التصفية.

الأجهزة المستخدمة في التحليل هي :

- 1- جهاز التحليل الكيميائي للماء من نوع Palintest.
 - 2- جهاز قياس نسبة الكلور الحر المتبقي في الماء من نوع Hach.
 - 3- جهاز الزرع الجرثومي من نوع Caution.
- وهي أجهزة حقلية معتمدة لدى مديرية الموارد المائية في اللاذقية، والشكل التالي يبين هذه الأجهزة:



الشكل (7-1) أجهزة تحليل المياه المستخدمة

الجدول (2) يبين نتائج التحليل الكيميائي للمياه المنتجة والخامية .

اليوم	التاريخ	طبيعة العينة	العكارة NTU	الكلور Mg/l	الكبريتات Mg/l	النترات Mg/l	النترات Mg/l	الأمونيا Mg/l	الفوسفات Mg/l
الثلاثاء	2022/3/1	خامية	1.13	/	8	3.0	0.011	0	0.05
		مقمة	1.5	0.59					
الاربعاء	2022/3/2	خامية	1.89	/	9	2.1	0.01	0	0.43
		مقمة	2.11	0.45					
الخميس	2022/3/3	خامية	1.85	/	11	2.3	0.01	0	0.12
		مقمة	1.95	0.51					
السبت	2022/3/5	خامية	3.2	/	12	1.5	0.008	0	0.25
		مقمة	1.43	0.58					
الأحد	2022/3/6	خامية	4.52	/	13	3.3	0.01	0	0.11
		مقمة	1.29	0.46					
الاثنين	2022/3/7	خامية	1.54	/	10	3.4	0.02	0.01	0.15
		مقمة	1.25	0.46					
الثلاثاء	2022/3/8	خامية	0.65	/	9	3	0.009	0	0.13
		مقمة	0.74	0.4					
الاربعاء	2022/3/9	خامية	1.93	/	12	2.5	0.01	0	0.24
		مقمة	1.90	0.38					
الخميس	2022/3/10	خامية	1.46	/	14	3.25	0.03	0	0.12
		مقمة	0.74	0.5					
السبت	2022/3/12	خامية	1.95	/	15	2.31	0.045	0	0.21
		مقمة	0.9	0.45					
الأحد	2022/3/13	خامية	1.6	/	13	4.1	0.02	0	0.11
		مقمة	0.81	0.49					

اليوم	التاريخ	الناقلية الكهربائية us/cm							
		البحيرة	خزان 700	خزان 1000	خزان 5000	البحيرة	خط الجرا أول (خزان 700)	خط الجرا أول والثاني (خزان 1000)	خط الجرا الثالث (خزان 5000)
الثلاثاء	2022/3/1	482	487	485	483	7.75	7.78	7.7	7.65
الاربعاء	2022/3/2	483	495	486	487	7.96	8.1	7.9	7.99
الخميس	2022/3/3	482	481	493	490	7.9	7.8	8.1	7.7
السبت	2022/3/5	488	487	486	487	7.87	7.76	7.8	7.84
الأحد	2022/3/6	485	482	494	486	7.9	7.79	7.86	7.9
الاثنين	2022/3/7	475	476	480	474	7.8	7.7	7.9	7.8
الثلاثاء	2022/3/8	482	483	485	486	7.8	7.87	7.76	7.85
الاربعاء	2022/3/9	481	483	478	478	7.9	7.8	7.8	8.1
الخميس	2022/3/10	483	481	473	479	8.05	8.07	7.9	8.1
السبت	2022/3/12	479	478	465	472	7.9	8.1	8	7.95
الأحد	2022/2/13	479	482	477	480	8	7.9	7.8	7.8

من الجدول السابق يمكن توصيف المياه وفق التالي:

- 1- نسبة الكلور الحر المتبقي 0.59 mg/l
- 2- درجة الـ pH تقدر وسطياً 7.7
- 3- الناقلية الكهربائية تقدر وسطياً $480 \mu\text{s/cm}$.

5-2 تحديد نوع التآكل:

لتحديد نوع التآكل الحاصل في الشفرات سنقوم بفحص شفرة خارجة من الخدمة عملت لمدة ثلاث سنوات وأخذ عينات منها ومن شفرة جديدة وذلك لإجراء المقارنة الوزنية ومعاينة السطح الخارجي للعينات .

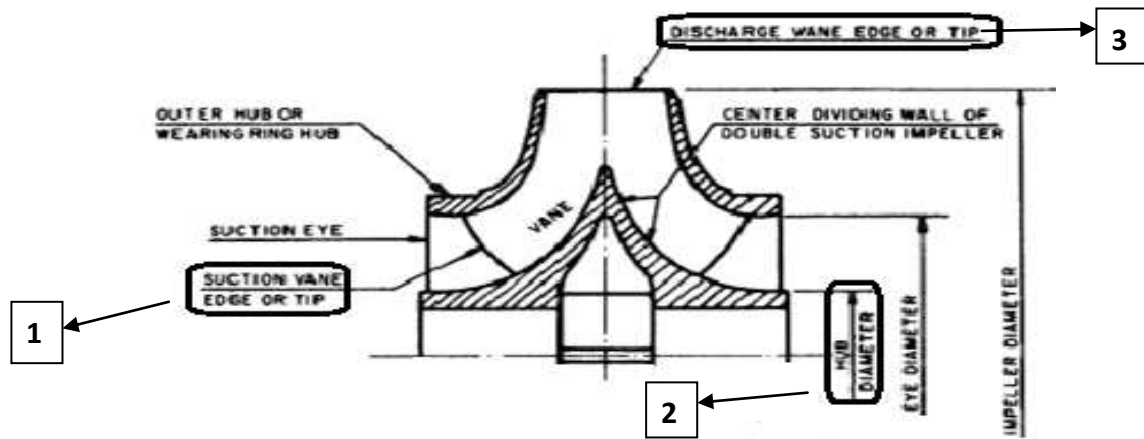


الشكل (7-2-1) يبين شفرة مضخة متآكلة

تم قياس السماكة لشفرة خارج الخدمة من مناطق مختلفة ومقارنتها مع شفرة أخرى جديدة، حيث تم اخذ القراءة على عدة مرات لضبط دقة القياس، وكانت النتائج كما هو موضح في الجدول (3):

سماكة طرف واحد	سماكة الأسورة الخارجية	سماكة طرف الشفرة	
4.16mm	22.08mm	3.50mm	شفرة خارج الخدمة
4.20mm	22.06mm	3.52mm	
4.22mm	22.05mm	3.45mm	
4.35mm	22.36mm	8.50mm	شفرة جديدة
4.30mm	22.35mm	8.45mm	
4.32mm	22.40mm	8.55mm	

والشكل التالي يبين المناطق المدروسة من الشفرة و هي بالترتيب VANE ,HUB,TIP.



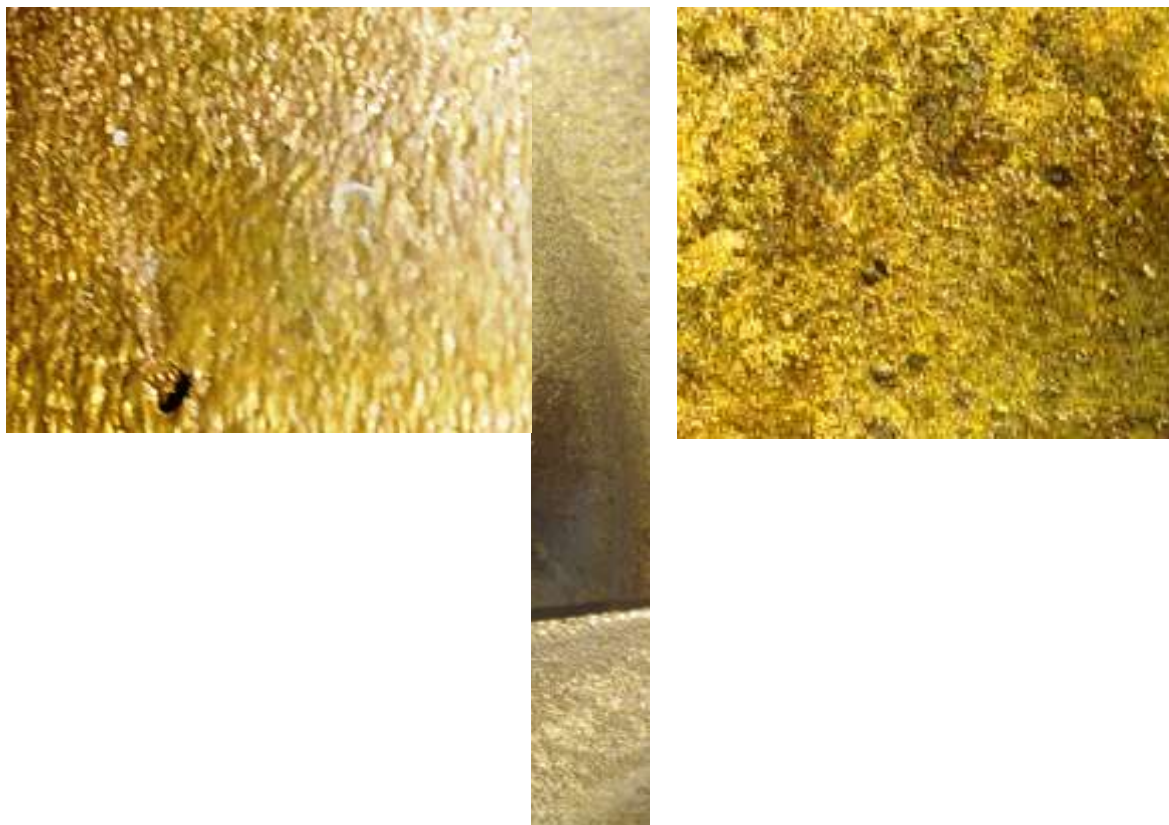
الشكل (7-2-2) قطاع نصفى لشفرة مضخة يبين مناطق الدراسة.

تم أخذ القياسات باستخدام بياكوليس رقمي بدقة قياس 0.02 mm ، على الرغم من اعتماد أجهزة قياس متطورة أكثر من البياكوليس في أبحاث مشابهة، قمنا باستخدام هذه الأداة في نقاط محددة وموحدة لجميع العينات، مع تكرار أخذ القراءات عدة مرات لتقليل نسبة الخطأ الناتجة عن كون الأسطح منحنية وليست مستقيمة، وكون الاختلاف في السماكات كان كبيراً بين الشفرات الجديدة والشفرات الخارجة من الخدمة في منطقة الدراسة (طرف الشفرة)، اعتمدنا نتائج القياسات باستخدام البياكوليس ولم نلجأ لأداة أخرى.

وكون النقصان في السماكة كان واضحاً على كامل مساحة طرف الشفرة، قمنا بقياس نقاط ثابتة مثلت أكبر قيم للسماكة في حالة الشفرات الجديدة والخارجة عن الخدمة، وقمنا بإجراء المقارنة بينها.

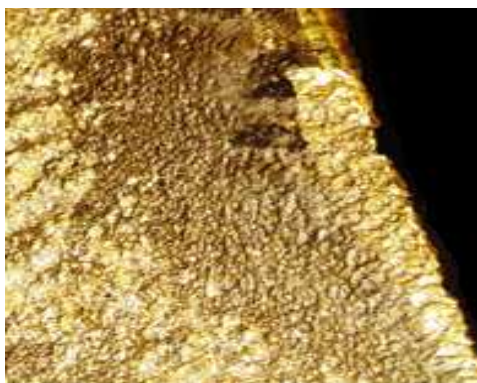
ومن الجدير بالذكر أنه تم اختيار هذه المناطق الثلاثة من الشفرة كونها الأكثر تعرضاً لتيار الماء أثناء عملية السحب لداخل تجويف المضخة والضخ نحو خط الدفع. من خلال هذا التوصيف البسيط تم تحديد المنطقة المستهدفة التي سنركز عليها دراستنا وهي منطقة طرف الشفرة المسؤولة عن كمية المياه الداخلة لمنطقة الضخ الفعلية ضمن شفرة المضخة، ومن خلال السابق والفحص البصري يتبين التالي:

- 1- التآكل من النوع الرطب .
- 2- التآكل في درجات حرارة منخفضة.
- 3- وجود تآكل منتظم ظهر واضحاً من خلال الترقق الحاصل في الشفرات على كامل طولها.
- 4- وجود تآكل تقري ظهر على سطح طرف الشفرة وكان يشكل بؤرة تآكل مركزة أنتشر في بعض المناطق ليحدث ثقب في الشفرة كما هو موضح في الشكل التالي.



الشكل (7-2-3). يبين تفاعل التآكل النقري وثقب في طرف الشفرة .

كما تم دراسة العينات المتآكلة باستخدام مجهر ضوئي لتوضيح مناطق وشكل التآكل وكانت النتائج كما يلي:



الشكل (7-2-4) يظهر شكل التآكل الحاصل باستخدام مجهر ضوئي بنسبة تكبير 20 مرة

3-5 العوامل المسببة لحدوث التآكل.

بعد التعرف على شكل التآكل الحاصل، يمكن بالاستفادة من الدراسات المرجعية ومعرفة ظروف العمل أن نحدد بدقة العوامل التي أدت لحدوث التآكل، وكون التآكل الحاصل يعتبر تآكل مركب (بسبب عدة عوامل) سندرس تأثير كل عامل على حدا.

5-3-1 تأثير وجود مواد صلبة في المياه:

يحتوي الماء الداخل إلى جوف المضخة كمية من رمل التصفية الذي يتحرك بنفس سرعة تيار الماء، ويؤدي اصطدامه بالشفرات الدوارة حدوث حث يقلل من سماكة الشفرات مع مرور الزمن.

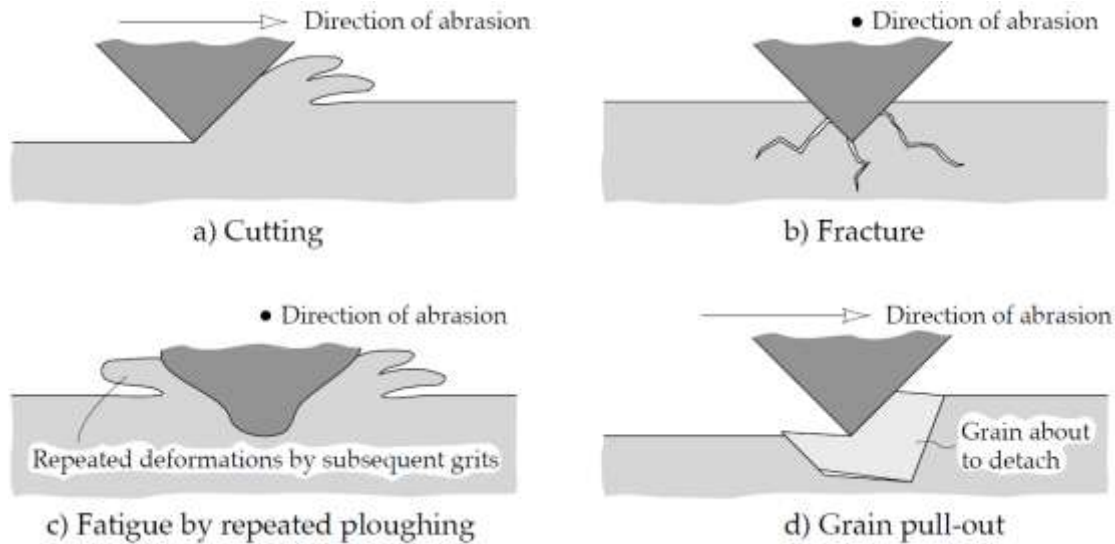
يكون الضرر الحاصل في هذه الحالة مرتبط بعدة عوامل نذكر منها:

- 1- حجم حبيبات الرمل : حيث تفيد دراسة مرجعية أنه كلما كانت الحبيبات كبيرة الحجم كلما كان الضرر أكبر، وقامت الدراسة بتصنيف حجم الحبيبات وفق الجدول (4) التالي: [6]

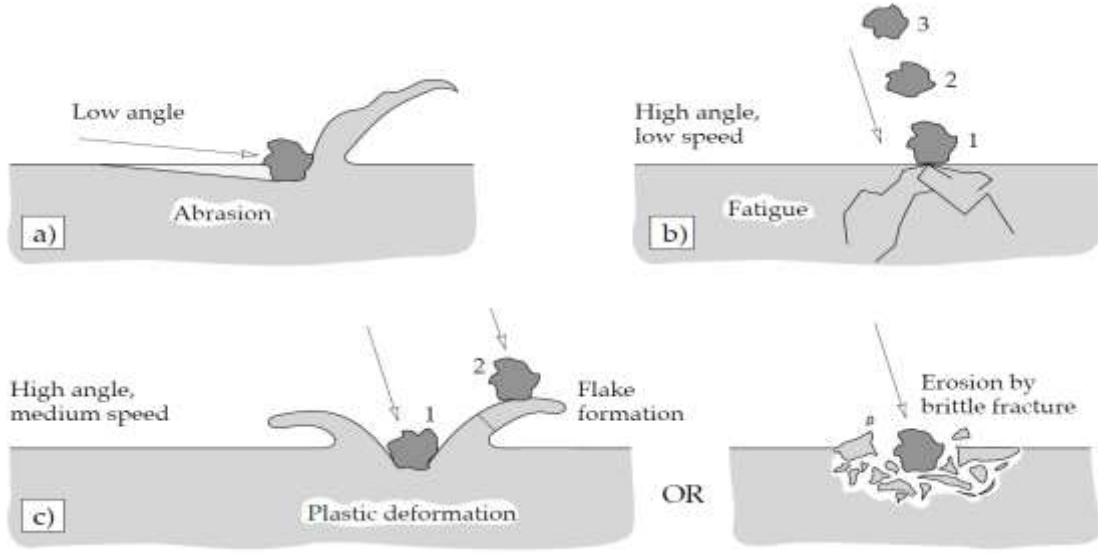
Main type of soil		Particle size	
		Identification	size in [mm]
Sand		Coarse	2 – 0.6
		Medium	0.6 – 0.2
		Fine	0.2 – 0.06
Silt	Cohesive	Coarse	0.06 – 0.02
		Medium	0.02 – 0.006
		Fine	0.006 – 0.002

ومع مقارنة حجم الحبيبات المستخدمة في التصفية والتي تبلغ تقريباً 1.3mm مع الجدول السابقة، فهي تعد حبيبات كبيرة الحجم.

- 2- انزلاق حبيبات الرمل على سطح الشفرات: يختلف الضرر الناتج حسب طريقة انزلاق حبيبات الرمل ويمكن أن نميز الحالات الثلاث التالية: [7]



- 3- سرعة وزاوية اصطدام حبيبات الرمل بالشفرات: كون حركة حبيبات الرمل داخل جوف المضخة مع تيار الماء غير منضبطة بشكل ثابت، فإن اصطدامها مع الشفرات يأخذ عدة احتمالات نبينها بالشكل التالي:



تعتبر هذه العوامل هي العوامل الرئيسية التي تؤدي لحدوث الحث في شفرات المضخة، وينتج عنها بشكل رئيسي تناقص في السماكة الذي يمكن توصيفه بالتآكل المنتظم، كما يمكن أن تحدث حفرات صغيرة على سطح الشفرات تشكل يور لتآكل نقري (pitting corrosion)، وكما يلاحظ حدوث تخريش واضح على سطح الشفرات.

5-3-1 تأثير مادة التعقيم:

يوجد في مجموعة الضخ والتصفية لنبع السن معمل لإنتاج مادة التعقيم، وهي مادة الكلور السائل (هيبو كلوريد الصوديوم)، التي يتم إضافتها باستخدام أجهزة حقن و معايرة تصب في بيارة السحب (خزان التجميع بعد التصفية) لكل خط دفع من الخطوط الأربعة.

تدخل المياه إلى المضخات وهي تحمل مادة التعقيم، تتفاعل المياه كيميائياً مع أجزاء المضخة المختلفة، مما يساهم في زيادة تآكل الشفرات وذلك بسبب كبر سطح التلامس مع المياه الكلورة.

والشكل التالي يبين معمل التعقيم بالكلور السائل :



الشكل (7-3-1) معمل انتاج مادة التعقيم (الكلور السائل)

بما أن المضخات تعمل في وسط متحرك (هيدروديناميكي)، والشفرات تغمر بشكل كامل بالمياه المعقمة، لا يمكن دراسة مدى تأثير مادة التعقيم على معدن الشفرات بشكل مفرد وتتبع آلية نمو التآكل وشكله الناتج عن هذه المادة، بسبب ظروف عمل المنشأة، حيث سيؤدي إيقاف المضخات لأخذ القراءات إلى نقص في تغذية محافظة اللاذقية بمياه الشرب، لذا سنقوم بإجراء مقارنة عملية تهدف لفهم آلية تأثير الكلور السائل على شفرات المضخة البرونزية من خلال اختبار الغمر لأربع عينات من معدن الشفرات، ثم سنقدم لاحقاً في هذا البحث دراسة حسابية لمعدلات التآكل لشفرات عملت في ظروف طبيعية وخرجت عن الخدمة، وسنجري مقارنة بين تلك النتائج ونتائج الغمر ونوضح سبب الاختلاف في معدلات التآكل الذي أولها الفرق في سرعة التآكل بين حالة عينة مغمورة في وسط ساكن وعينة تتعرض لوسط مائي متحرك، وسنجري اختبار الغمر كما يلي:

- 1- تم تحضير العينات وفق الأبعاد التالية (5*15*70) mm، كما تم تنعيم وشحذ العينات باستخدام أوراق الصنفرة، وتم تنظيف سطح العينات باستخدام مذيب عضوي (كحول ايتيلي) والماء المقطر.
- 2- تم ترميز العينات ووزنها باستخدام ميزان الكتروني ووضعها في أوساط مختلفة في عبوات مغلقة، كما هو مبين في الجدول التالي (5):

العيينة	الوزن/g	وسط الغمر/تركيز الكلور *
A	48.85 g	مياه معقمة/0.59mg
B	49.56 g	مياه معقمة/0.46 mg/L
C	52.12 g	مياه معقمة 0.3mg/L
D	50.33 g	مياه خامية/0 mg/L

* تم مراعاة نسب التركيز المختلفة الموثقة بمختبر التحليل الكيميائي.

3- كانت مدة الإبقاء 90 يوم، تم خلالها اخراج العينات وإعادة وزنها كل خمسة عشر يوم وتسجيل الوزن، ثم اعادتها إلى وسط التآكل.

4- عند كل عملية وزن كان يتم غسل العينات وتنظيف سطحها لإزالة طبقة الأكسدة المتشكلة. كما تم تحليل وسط التآكل لمعرفة الرواسب المتشكلة، والجدول التالي يبين النتائج عند كل عملية وزن للعينات الأربعة.

الجدول (6): نتائج وزن العينات خلال فترة الغمر.

الوزن (6)	الوزن (5)	الوزن (4)	الوزن (3)	الوزن (2)	الوزن (1)	العينة
47.94 g	48.13 g	48.25 g	48.38 g	48.52 g	48.77 g	A
49.08 g	49.18 g	49.29 g	49.37 g	49.42g	49.52 g	B
51.87 g	51.92 g	51.96 g	51.98 g	52.03 g	52.08 g	C
50.28 g	50.28 g	50.28 g	50.29g	50.31 g	50.31 g	D

* الوزن (1) اجراء عملية الوزن بعد مضي 15 يوم من الغمر، الوزن (2) الوزن بعد 30 يوم من الغمر،الوزن (3) الوزن بعد 45 يوم من الغمر،الوزن (4) الوزن بعد 60 يوم من الغمر،الوزن (5) الوزن بعد 75 يوم من الغمر،الوزن (6) الوزن بعد 90 يوم من الغمر.

نلاحظ من الجدول السابق :

1- حدوث نقصان في الوزن للعينات الثلاثة المغمورة في المياه المعقمة بالكلور بنسب مختلفة تتعلق بشكل رئيسي بتركيز الكلور في كل حالة.

2- كان معدل نقصان الوزن للعينة الأولى مايقارب 1.9%، وللعينة الثانية 0.96%، وللعينة الثالثة 0.48%، أما العينة الرابعة التي لا يحتوي وسط التآكل الخاص بها على مادة التعقيم كان معدل نقصان الوزن فيه مايقارب 0.01%.

3- سيتم اعتماد أكبر قيمة نقصان وزن كحالة تآكل خطير، وهو ما حدث في العينة الأولى:

$$\text{معدل التآكل الناتج عن النقصان في الوزن} = \frac{\Delta W}{A.T} \quad [7]$$

حيث ΔW : مقدار النقصان في الوزن وهو يساوي في حالة العينة A = 0.91g

A: مساحة السطح المعرض للوسط الآكال (أكبر مساحة تعرض) ويساوي 1050 mm^2

T: زمن الاختبار وهو 90 يوم.

وعليه يكون معدل التآكل = $9.6 \times 10^{-3} \text{ mg/mm.day}$

ويمكن حساب معدل التآكل مقدراً بمقدار النقصان في السماكة من العلاقة التالية

$$CR = K \times R \times G \text{ MPy (mm/year)} \quad [8]$$

حيث CR معدل التآكل مقدراً mpy

K: ثابت التحويل ويساوي 1.44

R: معدل التآكل الناتج عن النقصان في الوزن

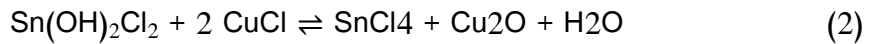
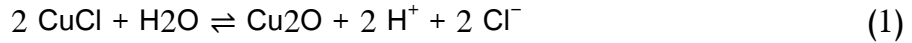
G: كثافة المعدن المدروس ويساوي إلى 8.7 g/cm^2 من الخواص الفيزيائية للسبيكة

[5]. cu sn 10

وعليه يكون **CR=0.12 MPY**

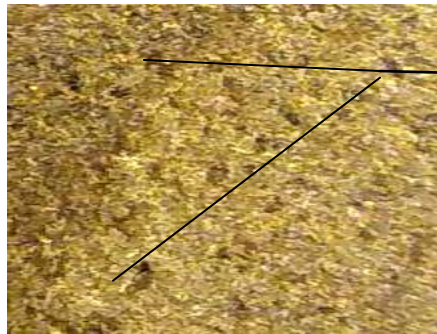
بعد الانتهاء من دراسة التآكل العام الحاصل في العينات ،سنقوم بتحليل الرواسب المتشكلة في وسط التآكل تم استخدام جهاز التحليل الكيميائي للماء من نوع Palintest الموجود في مخبر التحليل الكيميائي في مجموعة الضخ والتصفية لنبع السن.بينت النتائج تشكل أكاسد النحاس والقصدير التي كانت تغطي سطح العينات خلال فترة الغمر، كما وجد كلوريدات في الماء وهي كلوريد النحاس وكلوريد القصدير .

ويمكن التعبير عن آلية حدوث التفاعل الكيميائي لسبيكة 10 cu sn وفق المعادلتين التاليتين: [9]



قدمت لنا هذه التجربة فهماً لأشكال التآكل الناتج عن مادة التعقيم.حيث كان التآكل المنتظم واضحاً في نهاية التجربة،كما لوحظ تشكل بؤر تآكل نقري ساعدت المعادلات السابقة في فهم أسبابه،حيث يعد الهيدروجين المتشكل من التفاعل هو السبب الرئيسي لتشكل بؤر التآكل النقري.

تم فحص العينة تحت المجهر الضوئي بنسبة تكبير 30 مرة لإظهار بؤر التآكل النقري المتشكلة كما في الشكل (2-3-7)



الشكل (2-3-7) يظهر بؤر التآكل النقري للعينة تحت مجهر ضوئي بنسبة تكبير 40 مرة

3-3-5 عوامل أخرى تؤدي للتآكل:

إن ماتم دراسته من عوامل تآكل سواءاً اصطدام ذرات الرمل مع سطح معدن الشفرات ، أوالتأثير المركب لمادة التعقيم حيث أدى لحدوث تآكل منتظم وتآكل نقري، تعد عوامل تآكل ثابتة على مدى عمل مجموعات الضخ،ولكن بالمقابل لوحظ خلال أشهر الصيف وانخفاض الوارد المائي لبيارات السحب حدوث ظاهرة التكيف،وذلك بسبب السحب السالب كون مستوى المياه في بيارة السحب ينخفض لمستوى شراقات خطوط السحب الخاصة بالمضخات مما يؤدي لدخول فقاعات هوائية مع تيار الماء إلى جوف المضخة.

قمنا بتتبع هذه الظاهرة خلال فترة انخفاض منسوب البحيرة وكان ذلك من منتصف الشهر الثامن حتى نهاية الشهر التاسع،حيث تعد هذه الفترة الزمنية أكثر فترة ينخفض فيها الوارد المائي.

من خلال هذا التتبع لوحظ أن أكبر فرق في المناسيب بين مستوى خط سحب المضخة ومستوى الماء في بيارة السحب كان +1.5M ، وعند هذا المستوى بدأ ظهور أصوات صفع وضجيج من جوف المضخات.

ولكن بالمجمل فإن منظومة الضخ في المجموعة مزودة بمضخات مساعدة تقوم بتغذية بيارة السحب بشكل مباشر لترفع من مستوى الماء فيها مما يحقق السحب الموجب ويوقف حدوث ظاهرة التكيف.

6- حساب معدل التآكل و العمر التشغيلي للشفرات:

سيتم حساب معدل التآكل في حالة التآكل المنتظم، والتآكل النقري، وتحديد مدى خطورة هذه المعدلات عند حساب العمر التشغيلي للشفرات ومقارنته مع العمر التصميمي، وبالتالي تحديد مدى خطورة التآكل الحاصل ودوره السلبي في خفض غزارة المضخات.

6-1 حساب معدل التآكل:

عند دراسة تأثير مادة التعقيم كعامل منفصل من عوامل التآكل كان معدل التآكل المنتظم 0.12 MPY ولم يتمكن من تحديد قيمة معامل التآكل النقري نظراً لصغر البؤر المشككة خلال فترة الاختبار. سنعمل على حساب معدلات التآكل بالاستفادة من شفرات خارجة عن الخدمة عملت لمدة 3 سنوات وفق مرحلتين الأولى حساب معدل التآكل المنتظم، والثانية حساب معامل التآكل النقري.

6-1-1 حساب معدل التآكل المنتظم:

تم دراسة مقدار النقصان في سماكة الشفرة الخارجة من الخدمة بالمقارنة مع شفرة جديدة في الفقرة (7-2) وكانت النتائج كما في الجدول (7) التالي:

سماكة طرف الشفرة	سماكة الأسورة الخارجية	سماكة الدولاب من طرف واحد
3.50mm	22.08mm	4.16mm
3.52mm	22.06mm	4.20mm
3.45mm	22.05mm	4.22mm
8.50mm	22.36mm	4.35mm
8.45mm	22.35mm	4.30mm
8.55mm	22.40mm	4.32mm

يمكن حساب مقدار النقصان في السماكة الوسطي في المناطق الثلاثة المدروسة كما في الجدول (8):

منطقة طرف الشفرة	منطقة الأسورة الخارجية	منطقة دولاب الشفرة من طرف واحد
5.01	0.3	0.39

ولحساب معدل التآكل المنتظم في المناطق الثلاثة نستخدم العلاقة الرياضية التالية:

$$CR = T/t \quad [10]$$

حيث أن :

CR: معدل التآكل مقدراً بـ MPY (mm/year)

T: متوسط فرق السماكة لعينات متآكل وأخرى سليمة

t: عمر الشفرة مقدراً بالسنوات وهو 3 سنوات.

وعليه يكون معدل التآكل لكل منطقة كما يلي:

1- منطقة طرف الشفرة: CR=1.67 MPY

2- منطقة الأسورة الخارجية: CR=0.1 MPY

3- منطقة الدولاب: CR=0.13 MPY

-6-1-2: حساب معامل التآكل التقري:

يحسب معامل التآكل التقري من المعادلة التالية: [11]

$$\text{Pitting factor} = \frac{\text{Deepest metal penetration}}{\text{Average metal penetration}}$$

حيث أن:

Pitting factor: عامل التآكل التقري.

Deepest metal penetration: أعمق اختراق للمعدن مقدراً ب mm

Average metal penetration: معدل التغلغل أو نقصان السماكة مقدراً ب mm

تم قياس مقدار الاختراق في المناطق الثلاثة السابقة ونقصان السماكة ومعامل التآكل التقري وكانت النتائج كما في

الجدول (9) التالي:

منطقة طرف الشفرة	منطقة الأسورة الخارجية	منطقة دولاب الشفرة من طرف واحد	مقدار نقصان السماكة الوسطي (mm)
5.01	0.3	0.39	
4.3	10.3	اختراق كامل: 4.3	أعمق اختراق (mm)
0.86	34.3	11	معامل التآكل التقري

ووفقاً للتصنيف ASTM G48 [12]، فهو يحدد قيمة خطورة التآكل التقري بناءً على مقدار معامل التآكل، حيث يعتبر التآكل التقري خطر عند قيمة معامل فوق 5، وعليه يعتبر التآكل التقري في منطقتي الأسورة والدولاب أكثر خطورة عما هو عليه في منطقة طرف الشفرة.

6-1 حساب العمر التشغيلي للشفرات:

بعد مراجعة سجل عمل محطة مياه اللاذقية وتتبع عمليات استبدال شفرات المضخات، حيث تم اختيار ثلاث مضخات بشكل عشوائي كون آلية العمل واحدة لجميع المضخات و كانت النتائج كما في الجدول (10):

م	المضخة	سنة تركيب الشفرة	سنة الاستبدال
1	المضخة الثانية / خط الدفع الأول	2012/5/13	2015/10/17
2	المضخة الأولى/خط الدفع الثاني	2010/8/11	2013/9/3
3	المضخة الثانية /خط الدفع الثالث	2011/7/24	2014/9/5

نلاحظ أن المضخة الأولى عملت لمدة 3.5 سنة تقريباً، والمضخة الثانية عملت لمدة 3 سنوات و 23 يوم تقريباً، وعملت المضخة الثالثة لمدة 3 سنوات و 41 يوم تقريباً.

مما سبق يمكن حساب العمر التشغيلي للشفرات من المعادلة التالية:

$$Y = t * \sum_{n=1}^n \left(\frac{y_n}{n}\right) \quad [13]$$

حيث أن:

Y: المعدل الوسطي لعمر الشفرات مقدراً بالساعة.

t: عدد ساعات التشغيل الفعلية خلال سنة كاملة وهي 8760 ساعة عمل .

n: عدد الشفرات المدروسة ويساوي ثلاثة شفرات.

y_n : عمر كل شفرة مقدراً بالسنة.

وعليه يكون العمر التشغيلي للشفرات :

$$Y = 8760 * [(3.5 + 3.063 + 3.11) / 3] = 28245.16 \text{ hours}$$

وعند مراجعة توصيات الشركة المصنعة omega KSB يتبين أن العمر التصميمي للشفرات يجب ألا يقل عن 5 سنوات أي ما يعادل 43800 ساعة عمل.

وعليه فإن العمر التشغيلي للشفرات لا يحقق سوى 64.5 % من العمر التصميمي .

النتائج والمناقشة:

مما سبق من دراسة تجريبية وحسابية يتبين التالي:

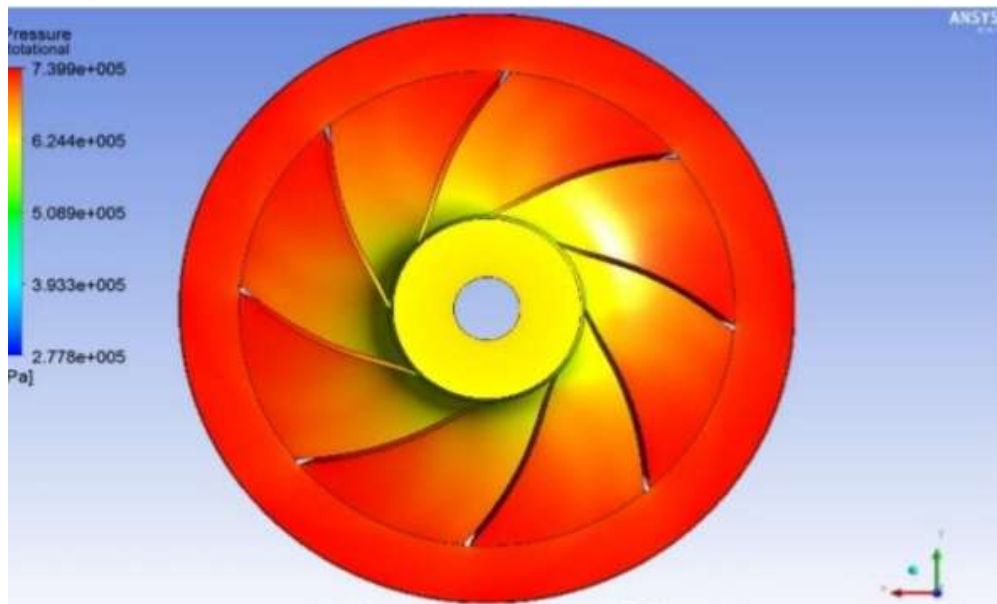
- 1- معدن شفرات المضخات مصنوعة من البرونز المعرف وفق التصنيف العالمي DIN بالرمز (Cu SN10-C-GC)، من تصنيع شركة OMEGA/KSB.
- 2- التآكل الحاصل في الشفرات البرونزية هو تآكل رطب في درجات حرارة منخفضة .
- 3- لوحظ وجود تآكل منتظم وتآكل نقري في نقاط مختلفة من الشفرات.
- 4- كان التآكل المنتظم حاداً في منطقة طرف الشفرة حيث كانت قيمته 1.67MPY، ويعود ذلك لتأثير مادة التعقيم (هيبو كلوريد الصوديوم) واحتكاك ذرات رمل التصفية بطرف الشفرة.
- 5- عندما قمنا بدراسة تأثير مادة التعقيم كعامل تآكل منفصل، كان معدل التآكل على عينة تجريبية ماقيمته 0.12MPY، أي ما نسبته 7% من قيمة التآكل المنتظم الحاصل، ويعود ذلك لتشكيل طبقة من الأكاسيد على سطح

العينة عملت على عزل العينة عن وسط التآكل وبالتالي خفضت من خطورته، وهذا الأمر لا يحدث ضمن تجويف المضخة، حيث جريان الماء يمنع تشكل هذه الطبقة مما يزيد من تأثير مادة الكلور على الشفرات.

6- كان للتآكل الاحتكاكي دوراً كبيراً في تشكيل بؤر تآكل نقري، سرعت في عملية خرق معدن الشفرات، كما كان له دوراً في ترقيق الشفرة، أي يمكن القول أن ذرات رمل التصفية آثرت بشكل مركب على عملية التآكل.

7- حدوث التآكل النقري كان سببه ذرات الهيدروجين المنطلقة من التفاعل مع العينة البرونزية، حيث تغلغت هذه الذرات ضمن سطح العينة وأدت لحدوث تآكل نقري، وهذا مساعدة اصطدام ذرات رمل التصفية بالشفرة.

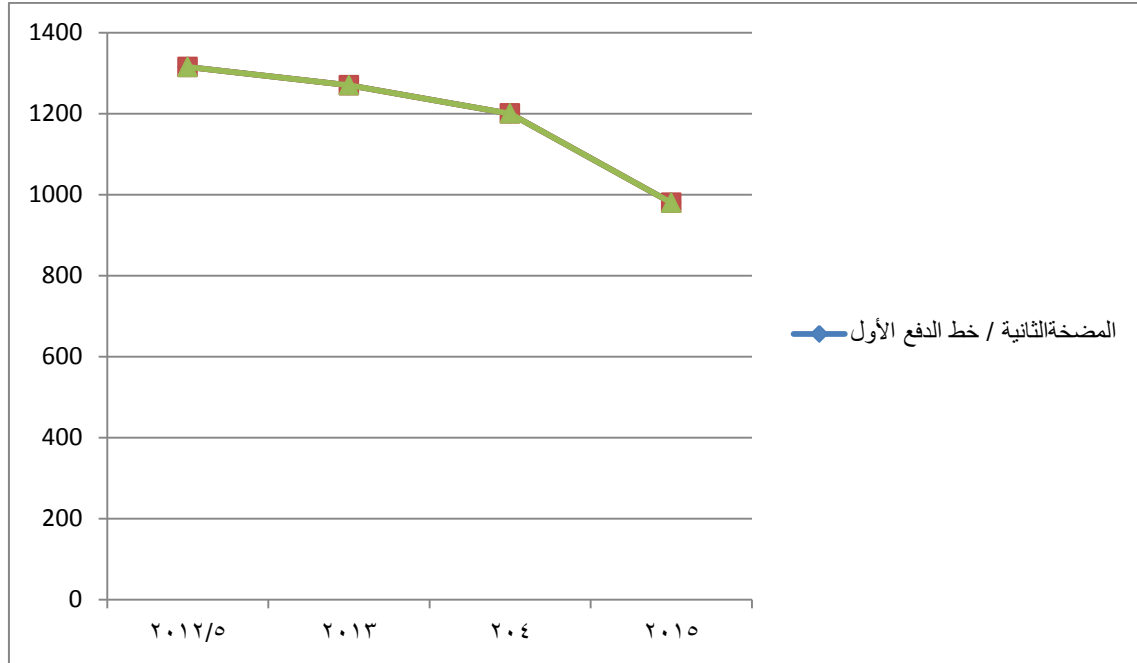
8- كان التآكل النقري حاداً في منطقة الأسوار الخارجية، ومنطقة الدولاب، حيث سجل معامل التآكل النخري هاتين المنطقتين قيم خطيرة جداً، كما تم محاكاة عمل الشفرة لتحديد المناطق الأكثر تعرضاً لقيم ضغط عالية باستخدام برنامج ANSYS، مع مراعات البرامترات الرئيسية مثل سرعة الدوران والأبعاد، وكانت النتيجة كما هو موضح في الشكل التالي:



يتضح من الشكل أن مناطق الدولاب والأسوار تتعرض لقيم ضغط مرتفعة مقارنةً مع منطقة طرف الشفرة ومحور المضخة، مما يجعلها أكثر عرضةً للصدم بذرات الرمل.

9- كان العمر التشغيلي للشفرات منخفضاً عن العمر التصميمي المتوقع من الشركة المنتجة، ويعود ذلك بشكل رئيسي لنوعية مادة التعقيم المستخدمة، حيث توصي الشركة المصنعة استخدام غاز الأوزون أو غاز الكلور للتعقيم.

10- كان لهذا التآكل دوراً سلبياً في عمل مجموعات الضخ، حيث لوحظ انخفاض في مردود المضخات مع تزايد التآكل على الشفرات، وعند العودة لتقارير الضخ التراكمية السنوية للمضخة الثانية / خط الدفع الأول مثلاً لوحظ تراجع في الغزارة كما هو موضح في المخطط البياني (1) التالي:



من المخطط السابق يلاحظ انخفاض غزارة المضخة من $1315 \text{ M}^3/\text{h}$ إلى $980 \text{ M}^3/\text{h}$ ، أي بانخفاض مقداره M^3/h 335، أي بفاقد تراكمي سنوي مقداره ما يقارب $100 \text{ M}^3/\text{h}$ ، مما يؤثر سلباً على كمية المياه المنتجة الخاصة بمياه شرب محافظة اللاذقية.

الاستنتاجات والتوصيات:

من الدراسة السابقة نستنتج التالي:

- 1- معدن الشفرات المستخدم هو معدن جيد وموصى به عالمياً.
- 2- مادة التعقيم مع نوعية الرمل المستخدم أثرت بشكل كبير على عمل المضخات.
- 3- كان الأثر المباشر للتآكل الحاصل انخفاض كمية المياه المنتجة، وبالتالي حرف نقطة عمل المضخة، ولهذا أثر سلبي على كامل مجموعة الضخ من محرك ومضخة.
- 4- نوصي بتعديل آلية التعقيم، بحيث يكون في مرحلة تالية لعملية الضخ، كي لا تؤثر مادة التعقيم على مكونات المضخات.
- 5- كما نوصي باستخدام مواد تعقيم أكثر اعتمادية، مثل غاز الأوزون بناءً على توصيات الشركة المصنعة للمضخات.
- 6- كون غاز الأوزون مكلف ولا يمكن توفيره من قبل الجهات الداعمة كمنظمة الصليب الأحمر، نقترح تطبيق طبقة تغطية على الشفرات بحيث تقلل من أضرار التآكل.

References:

- 1- Talbot, D., and Talbot, J. 2008- Corrosion Science and Technology ,Materials Science and Technology, CRC Pres.
- 2- pez, D.A.; Simison, S.N. 2005- Factors affecting Corrosion. Corros.Sci, 45, 253–266.
- 3- Winston, R.2000 - Uhlig's Corrosion Handbook. John Wiley & Sons, Inc., Canada, pp.100-125.

- 4-www.organic.sy,organic Syria 3866:2017.
- 5-www.omega.ksb.com – KSB,product introduction omega- ksb.
- 6-Agarwal,T.2015-Effect of sand size on erosion in closed impeller of centrifugal pump,international journal,India,pp.10169.
- 7- Cole, I.S. 2008. Definition of Corrosion.COLORADO.85520. USA.
- 8- Bassel,G and Marten,W.2011- Corrosion Tests and StandardsApplication. UK.
- 9-Milan B. Radovanovic , Zaklina Z. Tasic, Marija B. Petrovic Mihajlovic, and Milan M. Antonijevic,2018. Protection of Brass in HCl Solution by L-Cysteine and Cationic Surfactant.
- 10- K.R. Trethewey and J. Chamberlain "Corrosion Engineering" (1988) M.G. Fontana.
- 11- Davydov,A. 2007-Analysis of pitting corrosion rate. Moscow, Russia.
- 12- Bhandari, J., Arzaghi, E., Abbassi, R., Garaniya, V., Khan, F., 2016- corrosion test ASTM 48. maintenance for offshore processing facility.Process Saf. Prog. 35,399e406.
- 13- API.Proceedings, 2016- Reformer and performance and tube life management, Washington, Vol. 43 (III). pp. 78-96.