الجمهورية العربية السورية
جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية
قسم هندسة التصميم الميكانيكي

دراسة معدل التآكل الداخلي للأنابيب النفطية باستخدام طريقتي الوزن المفقود والأمواج فوق الصوتية

" دراسة أُعدت لنيل درجة الماجستير في علم المواد وهندستها "

إعداد الطالب المهندس

أحمد عبد الله حمدان

المشرف العلمي
الدكتور المهندس
مُهلّب الداوّد

المشرف المشارك
الدكتور المهندس
محمد فتحي غنمه

العام الدراسي 2011 / 2012

كلمة الشكر

==========

كلماتي وقَفت عاجزةً عن بالغِ التعبير

حاولتُ وحاولت البحثَ لإيجاد كلمةٍ تفي بالقدر اليسير

للاحتضان..... المساعدة..... والدعم

كانت كل الكلمات أقلَّ من عميق التقدير

فلكم كل الشكر

أسرتي الثانية بكامل طاقمها

" **شركة دير الزور للنفط** "

==========

إلى صرحٍ سيبقى ناراً على علم

ما بخلَّ علينا بالعلمِ وأراد أنْ يصل بنا العوالي من القمم

بكل الأفراد المشيدين

مدرسين ومهندسين

بيتي الثاني

" **كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق** "

==========

الإهداء

==========

سنديانٌ جَولانيٌّ صامدٌ

جذوره ضاربةٌ في الأعماق

رأسهُ يعانق الآفاق

أنشأنا على الشموخ والأخلاق

علّمنا أنّه بالحب تُفتح كل الأغلاق

" **أمي .. أبي** "

==========

ساندوني بحلو الحياة ومرِّها

ربيع الفصول وفي الدنيا زهرها

وإذا ما أتيتُهم ظمئاناً

وكنت أنا الصحراء وجدتهم نهرها

" **أخوتي .. أصدقائي** "

==========

م. أحمد حمدان

أعضاء لجنة الحكم والقرار الناظم بذلك

تمَّ تشكيل لجنة الحكم على رسالة الماجستير لطالب الدراسات العليا م. أحمد حمدان بقرار مجلس البحث العلمي رقم ..... بتاريخ .....

والمؤلفة من السادة:

د.م مُهلب الداوّد أ.د.م عصام موسى أ.د.م محمد علي سلامة

قائمة المحتويات

المحتوى الصفحة

الفهارس..... 5

الملخص..... 15

المقدمة..... 16

الفصل الأول: مفهوم التآكل وآلياته..... 20

1.1 تعريف التآكل..... 21

2.1 مفهوم سرعة التآكل..... 22

3.1 العوامل المؤثرة على التآكل..... 24

1.3.1 موقع المعدن في السلسلة الكهروكيميائية..... 24

2.3.1 درجة حموضة المحلول..... 24

3.3.1 درجة الحرارة..... 25

4.3.1 وجود غشاء الأكسيد..... 26

5.3.1 تجانس المعدن..... 27

6.3.1 مكونات الوسط أو وجود عوامل مسرعة أو مثبطة 27

7.3.1 تأثير سرعة حركة الوسط..... 28

4.1 تصنيف عمليات التآكل..... 28

1.4.1 أنواع التآكل بحسب المسبب..... 28

2.4.1 أنواع التآكل على أساس شكل التأثير..... 31

3.4.1 أنواع التآكل بحسب المواد المعدنية..... 34

5.1 آلية التآكل الكهر كيميائي..... 36

6.1 التأثير التآكلي للنفط..... 37

1.6.1 مقدمة..... 37

2.6.1 التآكل الداخلي في الأنابيب النفطية..... 38

1.2.6.1 التآكل نتيجة تأثير ثاني أكسيد الكربون (Co_2) 41
2.2.6.1 التآكل نتيجة لوجود كبريت الهيدروجين (H_2S) 45
3.2.6.1 التآكل نتيجة البكتريا..... 48
7.1 مثبطات التآكل..... 49
1.7.1 مقدمة..... 49
2.7.1 تصنيف المثبطات..... 50
1.2.7.1 المثبطات الأنودية..... 50
2.2.7.1 المثبطات الكاثودية..... 51
3.2.7.1 المثبطات المختلطة..... 52
4.2.7.1 مثبطات الامتزاز..... 52
5.2.7.1 مثبطات الطور البخاري..... 53
3.7.1 متطلبات مثبطات التآكل..... 54
8.1 أضرار التآكل..... 55
الفصل الثاني: تقنيات مراقبة التآكل..... 57
1.2 مقدمة..... 58
2.2 بعض تقنيات الكشف عن التآكل الداخلي..... 59
1.2.2 التحليل الكيميائي..... 59
2.2.2 الفحص بتيارات إيدي الإعصارية (Eddy Current)..... 60
3.2.2 المجسات القطبية الخطية..... 61
4.2.2 التصوير الشعاعي بالأمواج الإلكترو مغناطيسية..... 61
5.2.2 تقنية التدفق المغناطيسي..... 63
6.2.2 تقنية المقاومة الكهربائية..... 63
7.2.2 تقنية تسرب التدفق الكهرو مغناطيسي..... 64
8.2.2 الفحص عن طريق الوزن المفقود من شرائح الاختبار..... 66
9.2.2 الفحص بالأمواج فوق الصوتية..... 69

الفصل الثالث: العمل التجريبي..... 74
1.3 المواد المستخدمة..... 75
1.1.3 اختبار التحليل الكيميائي..... 75
2.1.3 اختبار القساوة..... 75
3.1.3 اختبار الشد..... 75
2.3 حساب معدل التآكل الداخلي بطريقة الوزن المفقود..... 76
1.2.3 اختبار الوزن المفقود على خطوط الحقل العاملة..... 76
2.2.3 اختبار الوزن المفقود على جهاز التآكل الكيميائي..... 83
1.2.2.3 مقدمة..... 83
2.2.2.3 أجزاء الجهاز..... 84
3.2.2.3 طريقة الاختبار..... 89
2.3 حساب معدل التآكل بطريقة الأمواج فوق الصوتية..... 90
1.2.3 مقدمة..... 90
2.2.3 المواصفات الفنية لجهاز الأمواج فوق الصوتية..... 91
3.2.3 طريقة الاختبار بجهاز الأمواج فوق الصوتية..... 92
الفصل الرابع: النتائج والمناقشة..... 95
1.4 اختبار التحليل الكيميائي..... 96
2.4 اختبار القساوة..... 96
3.4 اختبار الشد..... 96
4.4 دراسة متغيرات الحقل المؤثرة على التآكل الداخلي للأنابيب المدروسة... 98
1.4.4 الضغط..... 98
2.4.4 تغيرات درجة الحرارة..... 101
3.4.4 تغيرات كمية النفط الخام الصافي المستخرج..... 103
4.4.4 تغيرات كمية الماء المرافق للنفط..... 105
5.4.4 تغيرات كمية الغاز المرافق للنفط..... 108

6.4.4 تغيرات كمية ملح كلور الصوديوم المنحل في الماء المرافق للنفط..... 110
7.4.4 تغير قيم الحموضة..... 112
8.4.4 كمية حقن مضاد التآكل الكيميائي..... 114
5.4 حساب معدل التآكل الداخلي بطريقة الوزن المفقود..... 119
1.5.4 اختبار الوزن المفقود لأنابيب النفط في الحقل..... 119
2.5.4 اختبار الوزن المفقود باستخدام جهاز التآكل الكيميائي..... 124
1.2.5.4 تأثير وجود الجريان على معدل التآكل..... 124
2.2.5.4 تأثير تغير كمية حمض كلور الماء على معدل التآكل..... 126
3.2.5.4 تأثير وجود مثبط التآكل مع الملح على معدل التآكل..... 127
6.4 حساب معدل التآكل الداخلي بطريقة الأمواج فوق الصوتية..... 129
النتائج..... 135
التوصيات..... 136
المراجع..... 137
ملحق: الاستخدام الآمن لمثبط التآكل..... 140

قائمة الأشكال

الشكل الصفحة

الشكل (1–1) المحاكاة الميكانيكية لتغير الطاقة الحرة..... 22

الشكل (1–2) أثر مسار الارتداد (رد الفعل) على سرعة التفاعل..... 23

الشكل(1–3) دورة تصنيع المعادن وتآكلها..... 23

الشكل (1-4) ازدياد التآكل مع نقصان درجة الـ PH..... 25

الشكل (1–5) زيادة معدل التآكل مع زيادة درجة الحرارة..... 26

الشكل (1–6) خلية كهروكيماوية..... 29

الشكل (1–7) التآكل المنتظم..... 31

الشكل (1–8) تآكل الصدوع أو الشقوق..... 32

الشكل (1–9) التآكل النقري..... 32

الشكل (1–10) تآكل بين الحبيبات..... 32

الشكل (1–11) هجوم الرواسب..... 32

الشكل (1–12) مخطط التآكل الكهربائي و الكيميائي للحديد..... 35

الشكل (1–13) العوامل المؤثرة على معدل التآكل الداخلي في النفط المستخرج..... 40

الشكل (1–14) ازدياد ضغط جزيئات CO_2 بنقصان PH..... 41

الشكل (1–15) ازدياد معدل التآكل بازدياد ضغط جزيئات CO_2..... 42

الشكل (1–16) تماس شوارد الأملاح مع شوارد الحديد..... 42

الشكل (1–17) تفاعل شوارد الحديد المنحلة مع شوارد حمض الكربون..... 43

الشكل (1–18) مضاد التآكل..... 43

الشكل (1–19) عمل مضاد التآكل..... 43

الشكل (1–20) تآكل بسبب CO_2 حيث معدل التآكل للجزء السفلي 7 mm/y..... 45

الشكل (1–21) تآكل نتيجة CO_2 في الجزء العلوي من الأنبوب..... 45

الشكل (1–22) تأكل نتيجة البكتريا..... 48

الشكل (1-23) مستعمرات البكتريا النامية داخل الأنبوب..... 48
الشكل (1-24) التآكل البكتيري بشكل المستعمرات..... 49
الشكل (1-25) تآكل بكتيري مركز..... 49
الشكل (2-1) شكل توضيحي لتقنية إيدي الإعصارية..... 60
الشكل (2-2) استخدام تقنية إيدي الإعصارية..... 60
الشكل(2-3) أقطاب طريقة الفحص بالمجسات القطبية..... 61
الشكل (2-4) آلية الفحص بأشعة عالية الطاقة..... 62
الشكل (2-5) التصوير بالأمواج الإلكترو مغناطيسية..... 62
الشكل (2-6) الفحص بالتدفق المغناطيسي..... 63
الشكل (2-7) بعض أنواع مجسات طريقة المقاومة الكهربائية..... 64
الشكل (2-8) مولد التيار الكهربائي المستمر..... 65
الشكل (2-9) تقنية الفحص بالحقل المتسرب..... 65
الشكل (2-10) أشكال شرائح الاختبار..... 66
الشكل (2-11) حامل شريحة الاختبار..... 67
الشكل (2-12) تركيب شرائح الاختبار..... 67
الشكل (2-13) توضع الشرائح المعدنية ضمن الأنبوب..... 68
الشكل (2-14) أداة نزع الشريحة المعدنية..... 69
الشكل (2-15) مبدأ الأمواج فوق الصوتية..... 70
الشكل (2-16) إرسال واستقبال الأمواج فوق الصوتية..... 70
الشكل (2-17) المخطط الصندوقي لتجهيزات الأمواج فوق الصوتية..... 71
الشكل (2-18) الجريان خلال الكوع..... 72
الشكل (2-19) التآكل الحتي في مناطق التصادم..... 73
الشكل (2-20) منطقة الخطر المفترضة..... 73
الشكل (1.3) جهاز التحليل الطيفي..... 75
الشكل (2.3) غطاء حامي الصامولة..... 77

الشكل (3.3) نزع غطاء حامي الصامولة..... 77
الشكل (4.3) نزع سدادة الصامولة..... 78
الشكل (5.3) صمام الإقفال..... 78
الشكل (6.3) تركيب صمام الإقفال على خط النفط..... 79
الشكل (7.3) الصامولة الحاملة لحامل الكوبون..... 80
الشكل (8.3) تركيب الجهاز على خط النفط وفك الصامولة..... 80
الشكل (9.3) الأداة بعد فكها عن الصمام وبداخلها الصامولة..... 81
الشكل (10.3) صمام الاقفال يقفل خط النفط..... 81
الشكل (11.3) نزع الشريحة المعدنية..... 82
الشكل (12.3) حمام التسخين لتنظيف الشرائح المعدنية..... 82
الشكل (13.3) رسم تخطيطي لجهاز التآكل الكيميائي..... 83
الشكل (14.3) جهاز التآكل الكيميائي..... 84
الشكل (15.3) المجرى الأنبوبي الرئيسي و المجرى الحامل للصامولة..... 85
الشكل (16.3) صامولة تثبيت حامل الكوبون..... 85
الشكل (17.3) حامل الكوبون..... 86
الشكل (18.3) توضع الكوبون داخل المجرى الرئيسي. 86
الشكل (19.3) موجهات الجريان البلاستيكية. 87
الشكل (20.3) المانعة البلاستيكية..... 87
الشكل (21.3) خزان المواد المسببة للتآكل..... 88
الشكل (22.3) ربط المضخة على الجهاز..... 88
الشكل (23.3) صمام التحكم بالتدفق..... 89
الشكل (24.3) تصميم الأنبوب النفطي..... 90
الشكل (25.3) مناطق الفحص بالأمواج فوق الصوتية على الكوع..... 91
الشكل (26.3) معايرة جهاز القياس بالأمواج فوق الصوتية..... 92
الشكل (27.3) وضع المادة القارنة في أماكن القياس بالأمواج فوق الصوتية..... 93

الشكل (28.3) قياس السماكة بجهاز الأمواج فوق الصوتية..... 94
الشكل (29.3) قياس السماكة بالأماكن الصعبة..... 94
الشكل (1.4) مخطط الشد للعينة الأولى من الأنابيب..... 97
الشكل (2.4) مخطط الشد للعينة الثانية من الأنابيب..... 97
الشكل (3.4) تغير قيم الضغط لخط النفط (JAF 101) 99
الشكل (4.4) تغير قيم الضغط لخط النفط (JAF 112) 99
الشكل (5.4) تغير قيم الضغط لخط النفط (JAF 114) 100
الشكل (6.4) تغير قيم الضغط لخط النفط (JAF 115) 100
الشكل (7.4) تغير قيم حرارة النفط المستخرج للخط (JAF 101) 101
الشكل (8.4) تغير قيم حرارة النفط المستخرج للخط (JAF 112) 102
الشكل (9.4) تغير قيم حرارة النفط المستخرج للخط (JAF 114) 102
الشكل (10.4) تغير قيم حرارة النفط المستخرج للخط (JAF 115) 102
الشكل (11.4) تغير كمية النفط الخام المستخرج للخط (JAF 101) 103
الشكل (12.4) تغير كمية النفط الخام المستخرج للخط (JAF 112) 104
الشكل (13.4) تغير كمية النفط الخام المستخرج للخط (JAF 114) 104
الشكل (14.4) تغير كمية النفط الخام المستخرج للخط (JAF 115) 105
الشكل (15.4) تغير كمية الماء المرافق للنفط للخط (JAF 101) 106
الشكل (16.4) تغير كمية الماء المرافق للنفط للخط (JAF 112) 106
الشكل (17.4) تغير كمية الماء المرافق للنفط للخط (JAF 114) 107
الشكل (18.4) تغير كمية الماء المرافق للنفط للخط (JAF 115) 107
الشكل (19.4) تغير كمية الغاز المرافق للنفط للخط (JAF 101) 108
الشكل (20.4) تغير كمية الغاز المرافق للنفط للخط (JAF 112) 108
الشكل (21.4) تغير كمية الغاز المرافق للنفط للخط (JAF 114) 109
الشكل (22.4) تغير كمية الغاز المرافق للنفط للخط (JAF 115) 109
الشكل (23.4) تغير كمية الملح المنحل في الماء المرافق للنفط للخط (JAF 101)..... 110

الشكل (24.4) تغير كمية الملح المنحل في الماء المرافق للنفط للخط (JAF 112)..... 111
الشكل (25.4) تغير كمية الملح المنحل في الماء المرافق للنفط للخط (JAF 114)..... 111
الشكل (26.4) تغير كمية الملح المنحل في الماء المرافق للنفط للخط (JAF 115)..... 112
الشكل (27.4) تغير قيمة الحموضة للخط (JAF 101) 112
الشكل (28.4) تغير قيمة الحموضة للخط (JAF 112) 113
الشكل (29.4) تغير قيمة الحموضة للخط (JAF 114) 113
الشكل (30.4) تغير قيمة الحموضة للخط (JAF 115) 114
الشكل (31.4) تجهيزات حقن مضاد التآكل..... 115
الشكل (32.4) موضع الحقن على خط النفط..... 115
الشكل (33.4) تغير كمية حقن مضاد التآكل للخطين (JAF101)..... 117
الشكل (34.4) تغير كمية حقن مضاد التآكل للخطين (JAF 112)..... 117
الشكل (35.4) تغير كمية حقن مضاد التآكل للخطين (JAF114)..... 118
الشكل (36.4) تغير كمية حقن مضاد التآكل للخطين (JAF 115)..... 118
الشكل (37.4) معدل التآكل الداخلي لخط (JAF 101) 120
الشكل (38.4) معدل التآكل الداخلي لخط (JAF 112) 121
الشكل (39.4) معدل التآكل الداخلي لخط (JAF 114) 122
الشكل (40.4) معدل التآكل الداخلي لخط (JAF 115) 123
الشكل (41.4) تأثير الجريان ومثبط التآكل على معدل التآكل..... 125
الشكل (42.4) تأثير الجريان على معدل التآكل..... 128
الشكل (43.4) أماكن القياس بالأمواج فوق الصوتية على الكوع..... 129

قائمة الجداول

الجدول الصفحة

الجدول(1-1) السلسلة الكهروكيماوية..... 30

الجدول (1-2) تقديرات معدل التآكل..... 44

الجدول (1.4) نتائج التحليل الطيفي للعينات..... 96

الجدول (2.4) القيم الناتجة عن اختبار القساوة..... 96

الجدول (3.4) نتائج اختبار الشد..... 98

الجدول (4.4) حساب معدل التآكل لخط (jaf 101) 119

الجدول (5.4) حساب معدل التآكل لخط (jaf 112) 120

الجدول (6.4) حساب معدل التآكل لخط (jaf 114) 121

الجدول (7.4) حساب معدل التآكل الداخلي للخط (JAF 115) 122

الجدول (8.4) نتائج تغير معدل التآكل الداخلي مع تغير العوامل المسببة لهذا التآكل.... 123

الجدول (9.4) نتائج معدل التآكل بطريقة الغمر بسائل التآكل بدون جريان..... 124

الجدول (10.4) نتائج معدل التآكل بطريقة الغمر بسائل التآكل مع وجود جريان..... 125

الجدول (11.4) نتائج معدل التآكل بطريقة الغمر بسائل التآكل مع وجود جريان..... 126

الجدول (12.4) نتائج معدل التآكل بطريقة الغمر بسائل التآكل مع وجود جريان..... 127

الجدول (13.4) اختبار الأمواج فوق الصوتية للخط (JAF 101) 130

الجدول (14.4) اختبار الأمواج فوق الصوتية للخط (JAF 112) 131

الجدول (15.4) اختبار الأمواج فوق الصوتية للخط (JAF 114) 132

الجدول (16.4) اختبار الأمواج فوق الصوتية للخط (JAF 115) 133

الملخص

يعدُّ التآكل من أهم المشكلات في عملية إنتاج النفط حيث ينتج عنه تصدع مفاجئ وخسائر مرتفعة التكلفة الاقتصادية في المنشآت النفطية، وقد تمَّ اقتراح حلول مناسبة تُمكِّن من إطالة عمر المنشآت وتحدّ من ظاهرة التآكل التي قد تؤدي إلى خروج المنشأة من الخدمة، لكن يبقى البحث عن أسباب هذه الظاهرة ودراسة العوامل التي تساهم في الزيادة أو الحد من انتشار التآكل أمراً ملحاً يتطلب مزيداً من الاهتمام.

إنَّ الهدف من هذا البحث هو دراسة العوامل المؤثرة على التآكل الداخلي لمعرفة تأثيرها مجتمعة على تغير معدل التآكل الداخلي، بالإضافة لتقييم عمر الأكواع على خط النفط عن طريق معرفة النقص في السماكة وذلك بطريقة الأمواج فوق الصوتية ليُصار بعدها لاقتراح وسائل وطرق لتلافي التآكل الداخلي.

تمّ في هذا البحث تحليل المعطيات الحقلية لقيم الضغط، الحرارة، كميات النفط الخام والماء المرافق والغاز، كمية الملح المنحل في الماء المرافق، تغير درجة الحموضة و تغير كمية مثبط التآكل وذلك لأربعةٍ من أنابيب النفط الخام والتركيز بالأخص على القيم في الأيام التي شهدت تغيراً غير منتظم، وتمت خلال الفترة نفسها دراسة معدل التآكل الداخلي لأنابيب النفط بطريقة الوزن المفقود والأكواع بطريقة الأمواج فوق الصوتية، حيث وُجد أنّ معدل التآكل الداخلي يزداد بزيادة ضغط النفط الخام، بتوقف حقن مثبط التآكل، بزيادة ملح كلور الصوديوم وبوجود الجريان مقارنة مع حالة الغمس بدون جريان، بينما يكون تأثير درجة الحرارة بمجال تراوح 60–80 درجة مئوية على معدل التآكل الداخلي طفيف، كما ساعد مثبط التآكل على الحماية من التآكل عند زيادة كمية حمض كلور الماء، وعند فحص الأكواع بالقرب من رأس البئر النفطي وُجد أنّه غالباً تكون نقطة الصدم عند دخول النفط الخام إلى الكوع هي الأكثر عرضة للتآكل.

المقدمة:

تتأثر المواد المختلفة مع المحيط الذي يكون في حالة تلامس مباشر معها، وقد يكون هذا التأثير بسيطاً جداً لا يؤثر بشكل محسوس على متانة هذه المادة أو يكون شديداً بحيث يؤدي إلى انهيارها وتلفها. وبناءً على ذلك فإن اختيار المادة المناسبة لتأدية مهمة معينة يجب أن يتم وفقاً لاعتبارات معينة، فبعد أن تدرس الخواص الميكانيكية والحرارية وغيرها من الخواص المتعلقة بالمادة يجب أن تدرس هذه المادة من جهة أخرى تتعلق بالوسط الذي سوف تتعرض له، أي أنّه يجب أن يؤخذ بالحسبان خواصه التآكلية ثم تجرى عملية المراقبة الدورية لمراقبة المتغيرات.

ينقل النفط والغاز في القطاع النفطي غالباً من خلال شبكة من الأنابيب لمسافات مختلفة حيث تُعد هذه الطريقة من الطرق الشائعة بالنقل لأنَّها رخيصة التكلفة، ولكن في الجانب السلبي لهذه الطريقة نواجه عدة مخاطر كخطر التسرب والانفجار وغيرها من الأخطار الأمر الذي يؤدي إلى تخفيض الإنتاج والمجازفة بالسلامة البيئية، من هنا يعتبر التآكل في خطوط نقل النفط من أهم المشكلات التي تؤرق المهندسين والعاملين في حقل إنتاج ونقل وتخزين النفط، حيث إن هذه المشكلة هي مشكلة عالمية ملحة تتطلب البحث عن حلول جذرية لخفض نسبة الخسائر في المنشآت مرتفعة القيمة الاقتصادية والتي تتعرض لمختلف المؤثرات الداخلية والخارجية على حدٍ سواء، هذا ورغم البحث عن الحلول المناسبة لتجنب حدوث التآكل والذي بدأ متأخراً نسبياً، إلا أن نتائج الأبحاث التي تمت في هذا الحقل أدت إلى نتائج ايجابية تمكنت من إطالة عمر المنشآت إلى حدٍ ما، وتحسين أدائها وتشغيلها وحمايتها بصورة دائمة ومن ثم الانتفاع بأقصى قدر منها وتجنب تلف أجزائها أو حدوث أخطار مفاجئة تلغي الدور الرئيسي للمنشأة. **[1]**

لكن يبقى البحث عن الأسباب الرئيسة المسببة لهذه الظاهرة ودراسة العوامل التي تساهم في الزيادة أو الحد من انتشار نار التآكل في هشيم المعدن أمراً ملحاً بذات القدر بل ربما بشكل أكثر من البحث عن الحلول لهذه المشكلة، حيث لعملية تحليل المعطيات العملية وطرق تقدير التآكل وإجراء الفحوصات الدورية الأهمية البالغة في هذا المجال، فتشخيص المرض بمكانه الصحيح وبالأداة السليمة خير طريق وسُلم النجاة لعلاجه، وبالتالي يؤدي هذا التحليل

للتقليل والحد من المشاكل المرتبطة بالتسرب والحصول على أعلى استفادة من الأنابيب بأقل كلفة وبدون التقليل من عوامل الأمان والموثوقية من خلال اخضاع الأنابيب لفحوصات دورية على التآكل واجراء التحليل المنطقي للبيانات عبر دمج المعلومات الموثوقة مع التخطيط، الإدارة والجدول الزمني للفحص. يتجسد التحليل المنطقي من خلال تحديد إمكانية حصول الفشل وخطورته والذي يمكن أن ينجز وفق شكلين نوعي وكمي.

- التحليل النوعي: في هذا التحليل يؤخذ بالاعتبار الآراء الشخصية الخبيرة ورصيدها الذاتي من المعلومات مع الاعتماد على الحسابات البسيطة، عندها يمكن أن يقدر مستوى الفشل والأخطار المحتملة، هذه المنهجية ذاتية جداً وتكون غالباً أقل دقة.
- التحليل الكمي: في هذا التحليل تتعلق احتمالية الفشل بدراسة نتائج فحوصات صارمة دقيقة تجرى بشكل دوري ومقارنتها بالنتائج الموثوقة القياسية.

حيث ينتج في التحليل الكمي نتائج أكثر دقة إلا أنَّ تكاليف هذه الطريقة من الجهد والوقت كبيرة جداً، لذلك يكون جمع هذين التحليلين هو الحل للمقاربة بين الدقة والسرعة في اتخاذ قرار حدوث الفشل المرتبط بمعدل التآكل الحرج والذي يكون: إما على شكل تآكل مستفحل للأنبوب بسبب التآكل السطحي الناتج عن تركيب النفط الخام، أو على شكل تآكل مركز في مناطق تشكل قاعدة الخطر الناتج عن تغير اتجاه التدفق أو رفع لدرجة حرارة النفط.**[1-2-3-4-5-6]**

هناك العديد من الأبحاث التي أجريت في مجال تقييم التآكل الداخلي في أنابيب النفط الخام، وأكثر الأبحاث هي تلك المتعلقة بالتآكل الناجم عن ثاني أكسيد الكربون (CO_2) عند وجوده بكميات كافية في النفط الخام لإحداث التآكل في محطات تكرير النفط **[1-7-8]**. وهناك أبحاث أخرى درست أيضاً تأثير الحموض بشكل عام أو ما يدعى التأثير الإجمالي الحمضي **[9-10-11]** ، بينما وجه آخرون اهتمامهم نحو تأثير النفط الخام في زيادة نسبة التآكل عند احتوائه على الأملاح وذلك بقياس محتوى الأملاح الكلي مثل أملاح كلور المغنيزيوم وكلور الكالسيوم **[12-13]** ،وذهب بعض الباحثون إلى دراسة التحليل المنطقي لمناطق تواجد خطر التآكل وقاموا بعمل احصائيات تاريخية للبيانات لوضع معاملات يستند عليها لبيان فترات الفحص **[1-14]**، واتجه آخرون إلى دراسة الحالات الخاصة كدراسة سلوك التآكل للأنابيب الفولاذية عند اختلاف التدفق ووضعوا مخططات لحساب معدل التآكل باختلاف نسبة الماء المتدفق **[15]**، حيث في الوسط النفطي الحمضي شديد العدائية ذي نسبة الكبريت المرتفعة

اتضح تأثير محتوى الكروم والموليبدنيوم في خفض معدلات التآكل العام **[16]** ،وفي دراسات أخرى استنتجت معدلات التآكل مع ازدياد درجات الحرارة ونسبة الكبريت ولعدة أنواع من الفولاذ بنسب مختلفة من الكروم. **[17]**

وقد طُرح العديد من الحلول للتغلب على مشاكل التآكل التي تمت دراستها إلا إنَّ أغلب الدراسات التي قام بها العاملين في هذه البحوث سلطت الضوء على عامل واحد من العوامل التي تسبب التآكل في النفط الخام وأغفلت تأثير العوامل الأخرى.

وعلى الرغم من المحاولات العديدة لوضع تصور متكامل لترجمة مشاكل التآكل الداخلي في أنابيب نقل النفط الخام، إلا أن هذه المحاولات بقيت ناقصة في التعبير عن مشاكل التآكل والتنبؤ بحدوثها ولاسيما في أنظمة نقل النفط وفي محاولة لتشخيص التآكل ودراسة معدل التآكل الداخلي طبقاً لطبيعة البئر ومواصفاته وضِعت هذه الدراسة.

إنَّ الهدف من هذا البحث هو دراسة ظاهرة التآكل الداخلي لبعض خطوط نقل النفط الخام في شركة دير الزور للنفط (حقل الجفرا) وتشمل:

- حساب معدلات التآكل الداخلي للأنابيب النفطية التي تفحص في فترات منتظمة حسب ظروف التشغيل الحالية باستخدام طريقة الوزن المفقود للشرائح المعدنية (coupon).
- دراسة العوامل المؤثرة على التآكل الداخلي لمعرفة تأثيرها مجتمعة على معدل التآكل الداخلي.
- تقييم نقص العمر الأكواع على خط النفط عن طريق النقص في السماكة وذلك بطريقة الأمواج فوق الصوتية.
- اقتراح وسائل وطرق لتلافي التآكل الداخلي.

تتألف هذه الأطروحة من مقدمة وأربعة فصول حيث تَطرق الفصل الأول إلى دراسة مفصلة عن التآكل للتعريف بماهيته وأشكاله بالإضافة إلى آليته، وتناول الفصل الثاني دراسة آليات المراقبة والكشف عن التآكل وتمَّ فيه استعراضاً لهذه الطرق والتطرق بشيء من التفصيل للطريقتين الأكثر شيوعاً وهما طريقة الفحص بالشرائح المعدنية عن طريق الوزن المفقود والفحص بالأمواج فوق الصوتية وبذلك تم وضع تصوراً واضحاً لآلية هذه الطرق. أما في

الفصل الثالث فقد تم التعريف بالأدوات والمواد المستخدمة في التجارب المعملية والاختبارات الحقلية على أنابيب النفط، بينما تناول الفصل الرابع النتائج والتوصيات حيث تم حساب معدل التآكل الداخلي للأنابيب باستخدام طريقتي الوزن المفقود والأمواج فوق الصوتية، ومن ثم ربط تغير معدل التآكل الداخلي بنتائج دراسة العوامل المميزة للبئر النفطي لتحديد أيُّ تلك العوامل الأكثر تأثيراً، ثم جرى إجراء تجارب معملية على جهاز التآكل الكيميائي الذي تمّ تصميمه وتنفيذه في ورش كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق لمعرفة تأثير شاردة الكلور على معدل التآكل الداخلي وربط ذلك مع الدراسة الحقلية، وأخيراً تم وضع بعض القواعد والإجراءات الواجب إتباعها للتقليل من خطر التآكل وليصار إلى الاستفادة منها في شركة دير الزور للنفط مستقبلاً.

الفصل الأول

مفهوم التآكل وآلياته

الفصل الأول

مفهوم التآكل وآلياته

1.1 تعريف التآكل:

تُعرف عملية التآكل بأنّها عملية تلقائية طبيعية يتم وفقها إعادة الفلزات من صورتها الانتقالية الحرة إلى صورتها الثابتة الاتحادية والتي كانت موجودة عليها أصلاً في الطبيعة قبل استخلاصها، حيث أن معظم الفلزات تستخلص من خاماتها عن طريق إمدادها بالطاقة وينتج عن ذلك أنها تصبح وهي في الحالة الانتقالية في مستوى طاقة أعلى مما تكون عليه وهي في صورتها الاتحادية، ووفقاً للقانون الثاني للترموديناميك فإن المآل الأخير هو عودة الفلز المستخلص إلى الصورة التي تملك أدنى مستوى طاقي ممكن، أي العودة من جديد إلى الصورة الاتحادية وهذه العملية هي ما يسمى بالتآكل.**[18]**

كما يعرف التآكل بأنه انهيار للمنشآت نتيجة لتفاعلها مع الجو المحيط، وكلمة المحيط الواردة في هذا التعريف واسعة تشمل الماء ومحاليل الإلكتروليتات المائية وغير المائية وتشمل كذلك بعض الغازات والهواء. **[19]**

وهو أيضاً تخريب المواد والمعادن خاصة بتأثرها كيميائياً أو بشكل الكتروكيميائي مع البيئة المحيطة، فتتحول إلى أشكال أخرى تختلف من حيث خواصها الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية. **[20]**

كما يعرّف على أنّه انحلال المعدن بسبب تفاعله مع الوسط الذي يتعرض له، أو فشل يصيب المعدن ينتج بسبب عوامل كيميائية أو بسبب عوامل فيزيائية تساعدها عوامل ميكانيكية متوفرة في الوسط الذي يعمل به المعدن. **[21]**

ومع أن التآكل المعدني هو الأكثر أهمية، إلا أنّ العلماء يستعملون هذا المصطلح للإشارة أيضاً إلى تأثير البيئة في المواد غير المعدنية، فالصخور والتربة والإسمنت تتآكل بفعل الحت الطبيعي الناجم عن التغيرات في درجة الحرارة وعن الأمطار والرياح. ويظهر التآكل في المواد اللدنة بتحطيم الروابط الكيميائية فيها وتحولها إلى أشكال غير صالحة للاستعمال.

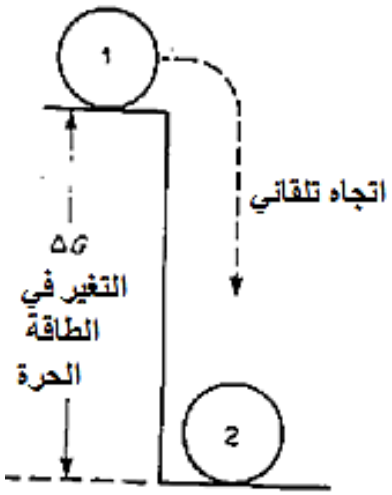
وقامت استنتاجات البعض على ضرورة الأخذ بطريقتين لتعريف التآكل وذلك بالاعتماد على المنظور أو الطريقة المعتمدة وفق التالي:

1- تعريف التآكل حسب مفهوم علم التآكل: وهو تفاعل ما بين المادة الصلبة ومكونات الوسط المحيط بها.

2- تعريف التآكل بحسب مفهوم هندسة التآكل والتي تعرف التآكل على أنه تفاعل المواد الإنشائية الهندسية مع الوسط المحيط بها، والذي يؤدي إلى الضرر والتخريب في خصائص المعدن أو المادة الإنشائية.**[22]**

2.1 مفهوم سرعة التآكل:

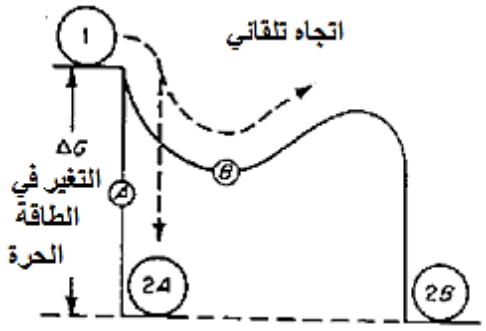
إن دورة التآكل تشبه بعض الشيء دفع كرة إلى أعلى منحدر ومراقبتها وهي تتدحرج باتجاه الأسفل في لحظة تحررها، هذا المبدأ موضح في الشكل (1-1) بمحاكات ميكانيكية. فإذا تحركت الكرة من الوضعية الأولى إلى الوضعية الثانية فإنَّ هذا التحرك يقابل بنقصان الطاقة الحرة، فالانتقال من الوضعية الأولى إلى الوضعية الثانية هو اتجاه تلقائي والانتقال المعاكس من الوضعية الثانية إلى الوضعية الأولى ليس اتجاهاً تلقائياً فهو لا يمكن أن يتم ذاتياً وحدوثه يتطلب تطبيقاً للطاقة.**[18]**



شكل (1-1) المحاكاة الميكانيكية لتغير الطاقة الحرة [18].

إنَّ التغير في الطاقة الحرة هو تابع ثابت لا يتعلق بمسار الارتداد، هذا الأمر موضح على الشكل (1-2)، والذي هو مماثل للشكل (1-1) باستثناء إمكانية حصول مساري ارتداد هما **A** و **B**.

إنَّ التغير في الطاقة الحرة عند الانتقال من الوضعية الأولى إلى الوضعية **2 A** أو **2 B** هو تماماً نفسه للمسارين. ومن الواضح أن الانتقال وفقاً للمسار **B** يتطلب وقتاً أطول وسيكون أبطأ مقارنة مع الانتقال وفقاً للمسار **A**. ومن المفيد أن نعلم أنه من غير الممكن التنبؤ بدقة عن سرعة التفاعل استناداً إلى التغير في الطاقة الحرة. **[18]**



شكل (1–2) أثر مسار الارتداد (رد الفعل) على سرعة التفاعل [18].

و يمكن أن يحسب تغير الطاقة الحرة المترافق مع تفاعل كهروكيميائي بالمعادلة التالية **[18]:**

$$\Delta G = - n F E$$

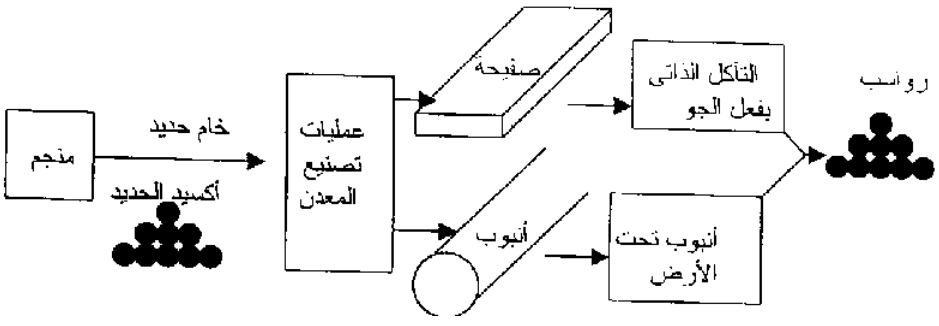
حيث :

ΔG : تغير الطاقة الحرة.

n : عدد الالكترونات الداخلة في التفاعل.

F : ثابت فراداي. E : جهد الخلية.

و يبين الشكل (1–3) دورة تصنيع المعدن من الطبيعة وإلى الطبيعة وعودته إلى الطاقة الحرة الأقل وبالتالي الوضع الأكثر ثباتاً:



الشكل (1–3) دورة تصنيع المعادن وتآكلها [18].

3.1 العوامل المؤثرة على التآكل:

تعتبر العوامل التالية من أكثر العوامل المذكورة في الدراسات تأثيراً على تفاعلات التآكل:

1- موقع المعدن في السلسلة الكهروكيميائية.

2- درجة حموضة المحلول.

3- درجة الحرارة.

4- وجود غشاء الأكسيد على المعدن.

5- تجانس المعدن.

6- مكونات الوسط المحيط.

7- تأثير سرعة حركة الوسط.

1.3.1 موقع المعدن في السلسلة الكهروكيميائية :

هذا الموقع يعتمد على جهد الاختزال القياسي لهذا المعدن فعند مقارنه الجهود القياسية للمعادن نجد أن المعادن التي لها قيمة جهود قياسية عالية تكون قابليتها قوية للاختزال وضعيفة للأكسدة، أما إذا كانت قيمة هذا الجهد منخفضة أي أقل من الصفر فإن هذا يدل على أن المعدن له قابليه للأكسدة مما يدل على أن هذا التفاعل قابل للحدوث من الناحية الثيرموديناميكية. **[22-23]**

2.3.1 درجة حموضة المحلول:

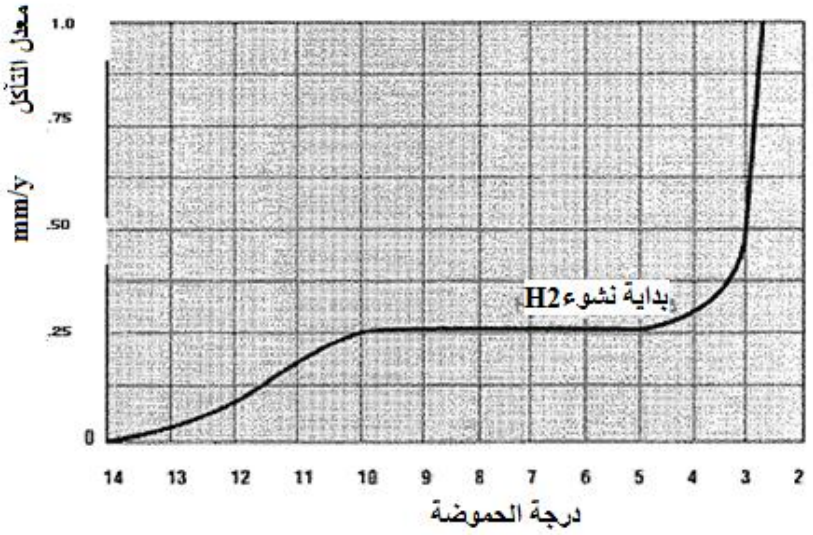
تتأثر سرعة التآكل بدرجة الحموضة للمحلول والمعبر عنها بقيمة الـ **PH** بشكل متفاوت تبعاً لنوع المعدن والتي يمكن تقسيمها حسب تأثرها بالحموضة إلى ثلاثة أقسام:

- المعادن الثمينة: تكون هذه المعدان مقاومة للتآكل في الأوساط الحمضية والقلوية وبالتالي فإن سرعة التآكل لا تتعلق بدرجة الحموضة.
- المعادن التي تتفاعل في الأوساط الحمضية وتعطي شوارد المعدن كما تتفاعل في الأوساط القلوية وتعطي شوارد أكسيد المعدن وتكون سرعة التآكل لهذه المجموعة في أدنى قيمها في الأوساط متوسطة القلوية.

- المعـادن التـي تشـكل أكاسـيد تنحـل فـي الحمـوض ولا تنحـل فـي القلويـات حيـث تكـون سرعة تآكلها في الأوساط القلوية منخفضة. **[22]**

و يمكن عند الرجوع إلى مخططات بوربيه للجهد ودرجة الحموضة معرفة القيمة التي يصبح للمعدن المقصود عندها خمول أو مناعة للتآكل.

ومن المعروف أن تآكل الحديد يزداد عند انخفاض درجة الـ PH، حيث يبين الشكل (1-4) زيادة معدل التآكل مع ازدياد الحموضة، حيث يزداد معدل التآكل بشكل حاد عند نقصان درجة الـ PH عن قيمة تساوي 3. **[24]**



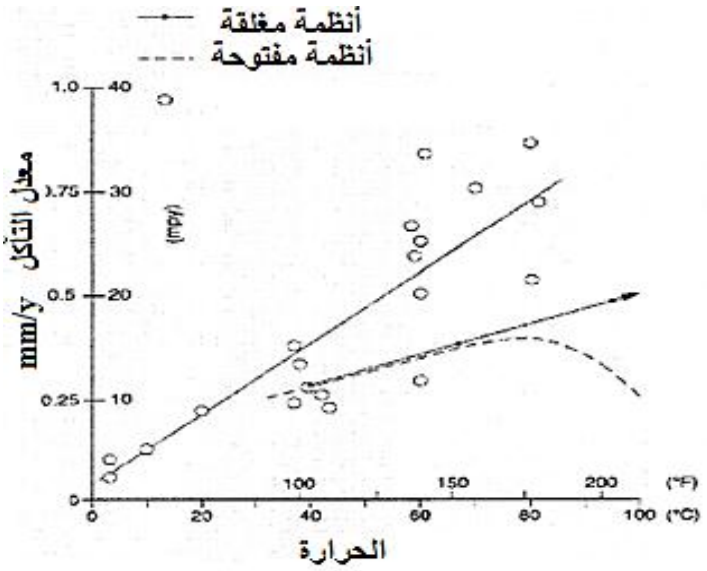
الشكل (1-4) ازدياد معدل التآكل مع نقصان درجة الـ PH [24].

3.3.1 درجة الحرارة :

إنَّ درجـة الحـرارة عامـل مهـم ولكنـه يعتمـد علـى المعـدن نفسـه، فعلـى سـبيل المثـال يكـون تغيـر معـدل التآكـل للتوتيـاء طفيفـاً مـع تغيـر درجـة حـرارة إلا أنَّ الفـولاذ يتميـز بمعامـل تغيـر مرتفـع مقارنة مع التوتياء وبشكل عام فإنّه:

- تزداد سرعة تفاعلات التآكل مع زيادة درجة الحرارة.
- تغير درجة الحرارة قد يؤثر على ذوبانية نواتج التآكل.
- تقـل ذوبانيـة الغـازات مثـل الأكسـجين فـي السـوائل عنـد زيـادة درجـة الحـرارة وهـذا التـأثير يقلله ارتفاع معدل الانتشار بزيادة درجة الحرارة.
- تتغير قيمة الأس الهيدروجيني مع زيادة درجة الحرارة (بسبب زيادة الحجم). **[25]**

بالإضافة إلى أنّه يجب التمييز في هذا المجال بين حالتين: فعندما تكون المنظومة مفتوحة حيث تتاح إمكانية انتقال الأكسجين للهواء فإن سرعة تآكل الحديد تزداد مع رفع درجة الحرارة حتى قيمة محددة ثم تنخفض بشكل مفاجئ بسبب انخفاض انحلالية الأكسجين في الماء. أمّا في المنظومات المغلقة حيث يكون انتقال الأوكسجين إلى الجو غير ممكن فإنَّ سرعة تآكل الحديد تزداد باستمرار مع ارتفاع درجة الحرارة، كما هو موضح في الشكل (1-5).[22]



الشكل (1-5) زيادة معدل التآكل مع زيادة درجة الحرارة [25].

4.3.1 وجود غشاء الأكسيد:

عند اتصال المعادن بالأكسجين عند درجة الحرارة العادية وعند الرجوع إلى الطاقة الحرة لتكوين أكاسيد المعادن فإن أكسيد المعدن هو الحالة الأكثر ثباتاً ثيرموديناميكياً (ماعدا الذهب والبلاتين والبلاديوم). وفي الواقع إن المعادن الشديدة التفاعل مع الأكسجين مثل الألمنيوم والماغنسيوم والتيتانيوم تعتبر ثابتة إلى حد كبير في وجود الأكسجين بينما المعادن المتفاعلة الأخرى مثل المعادن القلوية وشبه القلوية فإنها تتأكسد بسرعة وبشكل كامل وذلك لأنَّ حركية التفاعل تتحدد بواسطة الأكسيد المتكون على سطح المعدن والذي يكوّن غشاء واقي في المجموعة الأولى و غشاء غير واقي في المجموعة الثانية.[26]

5.3.1 تجانس المعدن:

يؤثر التآكل على المعدن بطرق مختلفة تعتمد على طبيعة المعدن وظروف الوسط المحيط، حيث تعتبر السبائك محاليل صلبة لأنها تحتوي على عده مكونات مختلفة وتحضر بصهر نسب معينة من المعادن المكونة للسبيكة عند درجة حرارة عالية بحيث تتكون محاليل صلبة ثم يتم تبريد المحلول المنصهر وببطء للحصول على الشكل البلوري المطلوب. لقد وُجد أنَّ معدل تبريد المعادن أثناء السباكة يعتبر مهم جداً في تحديد الخواص الميكانيكية للمعدن كما أنه يؤثر كثيراً على خواص التآكل للمعادن، وبما أنَّ معدل التبريد غير متساوي في جميع الجوانب فإنّه يحصل تشوهات حيث تكون ذرات المعدن في البلورة المعدنية غير متساوية في الطاقة وعند التبريد تتجمع البلورات بشكل طبقات ويسمى أصغر تركيب للبلورة وحدة الخلية، وعند تجمع هذه البلورات تكون حبيبة وتسمى الحدود بين الحبيبات بالحدود الحبيبية، وتترسب أغلب المواد غير البلورية على هذه الحدود الحبيبية مما يجعلها مختلفة كيميائياً وفيزيائياً عن باقي البلورة، وفي معظم الأحيان يبدأ التآكل في هذه المناطق البينية وتتحرك الذرات والدقائق المكونة للسبائك حركه بسيطة عند تطبيق اجهادات عليها وهذه الحركة هي السبب في الخلل والعيوب في جسم السبيكة حيث عند زيادتها في منطقة ما تسبب ضعف ميكانيكي للمعدن وبالتالي تعتبر بؤره تآكل .[26]

6.3.1 مكونات الوسط أو وجود عوامل مسرعة أو مثبطة :

مكونات الوسط هي نوع العناصر التي يتكون منها الوسط وتركيزها فقد تزيد من سرعة عملية التآكل أو تثبط العملية، فمثلاً وجود الأكسجين O_2 والذي يعتبر أكثر عامل مؤكسد له تأثير على عملية التآكل، حيث تميل غالبية المعادن للتآكل في وجود الأكسجين ومن المعروف أن سرعة التآكل في وجود الأكسجين أكثر بكثير منها عند غيابه، وقد توجد أحياناً بعض الملوثات التي تزيد من حدة التآكل مثل ثاني أكسيد الكبريت، حيث وجد أن هناك ارتباط كبير بين مستوى التلوث بثاني أكسيد الكبريت ومعدل تآكل الزنك والفولاذ، وقد يُسرّع التآكل بوجود كائنات ميكروبية إما بسبب تكوينها مواد عدائية مثل أيونات الكبريتيد أو لأنَّها تحفز التفاعلات الكهروكيميائية، وغالبية هذه المخلوقات الفعالة هي بكتيريا طولها $1-5\ \mu m$ وتقوم إما باختزال أو أكسدة مركبات الكبريت كجزء من عملها، أمّا مثبطات التآكل سوف يتم ذكرها بشيء من التفصيل لاحقاً.

7.3.1 تأثير سرعة حركة الوسط :

يـزداد معـدل التآكـل عنـدما يكـون للحركـة فعـل ميكـانيكي مـن شـأنه أن يسـبب تآكـل التعريـة (Erosion) وقـد تـزداد سـرعة التآكـل عنـد وجـود ذرات أو جزيئـات صـلبه تـؤثر علـى حالـة سطح المعدن وذلك في التآكل الجوي أو زياده حركة مكونات المحلول.[26]

4.1 تصنيف عمليات التآكل :[21-22-23-26-27-28-33]

1.4.1أنواع التآكل بحسب المسبب:

- تآكل فيزيائي
- تآكل كيميائي ميكانيكي
- تآكل كهروكيميائي

- **التآكل الفيزيائي :**

يحـدث هـذا النـوع مـن التآكـل بـين سـطح المعـدن والمحـيط الخـارجي وبالتـالي نـاتج التآكـل يكـون لـه نفـس التركيـب الأصـلي للمعـدن، حيـث تسـبب الحركـة النسـبية بـين الوسـط الخـارجي وسـطح المعـدن ووجـود قـوى احتكـاك بينهمـا إلـى حـدوث ظـاهرة التعريـة، ولكـي نفهـم آليـة التعريـة فإنـه يجـب علينـا فهـم التركيـب البلـوري وغيـر البلـوري للمـواد الصـلبة وطريقـة ارتبـاط هـذه الحبيبـات المكونـة للتركيـب البلـوري. إن شـكل الضـرر الفيزيـائي أو التعريـة يكمـن فـي حصـول أخاديـد وتشـققات موازيـة لحركـة الوسـط الخـارجي وباتجاهـه، وتـؤدي هـذه التشـققات إلـى زيـادة المسـاحة السـطحية للمعـدن وبالتـالي تـؤدي إلـى تعريضـه لأنـواع أخـرى مـن أنـواع التآكـل، وهـذه ظـاهرة طبيعيـة قلـيلاً مـا تـؤدي إلـى مشـاكل فـي الصـناعة ويمكـن التغلـب عليهـا باسـتخدام معـادن وتراكيب ذات صلابة عالية.

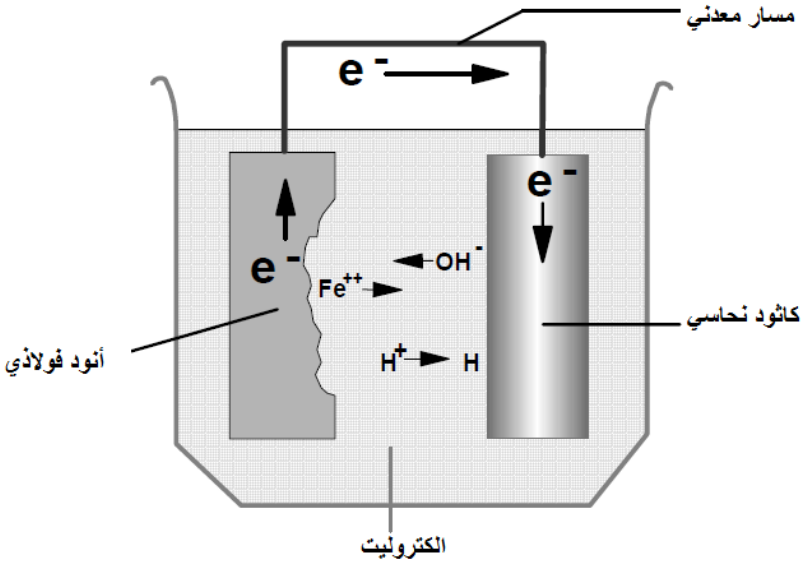
- **التأثير المشترك للتآكل الكيميائي والعوامل الميكانيكية :**

يحـدث فـي هـذا النـوع هجـوم موضـعي أو تشـقق بسـبب التـأثير المشـترك للعوامـل الميكانيكيـة وعوامل التآكل الكيميائية ويشمل الأنواع التالية :

- التآكل الشبكي (Fretting Corrosion)
- التآكل التصدعي الاجهادي (Stress Cracking Corrosion)
- التآكل التصدعي الهيدروجيني (Hydrogen Cracking Corrosion)
- التآكل التعبي (Fatigue Corrosion)

- **التآكل الكهر كيميائي أو ثنائي المعدن :**

في هذا النوع يكون هناك معدنان أو سبيكتان مختلفان وعند وجودهما في محلول الكتروليتي أو بيئة مناسبة لحدوث التآكل فإن فرق الجهد الذي يوجد بينهما عند تلامس هذين المعدنين يؤدي إلى مرور تيار من الإلكترونات بينهما ويصبح المعدن الأقل مقاومة هو المصعد (Anode) أما المعدن الأكثر مقاومة فيكون المهبط (Cathode) كما في الشكل التالي (1-6) حيث يبين سريان التيار من الكاثود للأنود.



الشكل (1-6) خلية كهروكيماوية [27]

وبالرجوع إلى جداول السلسلة الكهرو كيميائية يمكن التنبؤ بأن المعدن الذي سيتأكسد هو الذي يكون له جهد أكسدة أكبر أو جهد اختزالي أقل، وقد تم قياس هذه الجهود للمعادن في حالتها النقية عند ظروف قياسية. أما السلسلة الغلفانية فهي صحيحة للسبائك والمعادن عند

ظـروف محـددة مـن الضـغط ودرجـة الحـرارة، ويوجـد تشـابه بـين موقـع العنصـر فـي السلسـلة الكهروكيميائية والسلسلة الغلفانية.

هناك قاعدة عامة هي عدم جمع المعادن التي تبعد كثيراً عن بعضها البعض في السلسلة الغلفانية (في نفس السبيكة) لأنـه كلما زاد الفرق بينهما كلما زادت خطورة حصول التآكل الغلفاني، ويمكن إهمال التآكل الغلفاني عندما يكون فرق الجهد أقل من 50 mV والجدول (1-1) التالي يبين السلسة الكهروكيماوية.

الجدول(1-1) السلسلة الكهروكيماوية [27-23-22]

العنصر	جهـــد القطـــب القياسي	رمز العنصر
الليثيوم	3.01-	Li
البوتاسيوم	2.92-	K
الكالسيوم	2.84-	Ca
الصوديوم	2.71-	Na
ألمنيوم	1.66-	Al
زنك - خارصين	0.76-	Zn
كروم	0.71-	Cr
حديد	0.44-	Fe
كادميوم	0.4-	Cd
نيكل	0.23-	Ni
قصدير	0.14-	Sn
رصاص	0.13-	Pb
هيدروجين	صفر	H
نحاس	0.34+	Cu
فضة	0.8+	Ag
بلاديوم	0.83+	Pd
زئبق	0.85+	Hg
بلاتين	1.2+	Pt
ذهب	1.42+	Au

2.4.1أنواع التآكل على أساس شكل التأثير:

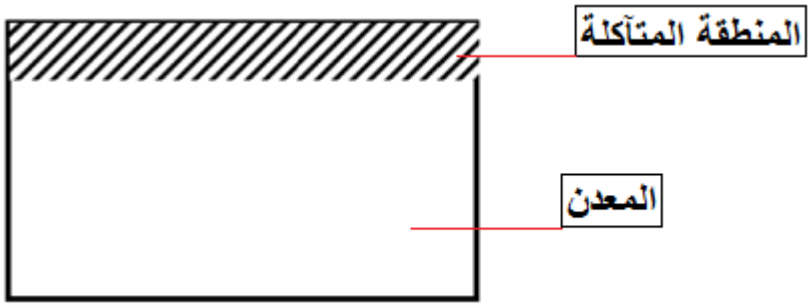
- تآكل منتظم (Uniform Corrosion)
- تآكل موضعي (Localized Corrosion)
- الإذابة الانتقائية (Selective Dissolution)

- **التآكل المنتظم :**

تتآكل في هذا النوع جميع المناطق في المعدن بنفس السرعة ويحدث التفاعل بانتظام على السطح كله وقد يؤدي إلى فقدان المعدن بأكمله بعد مرور الوقت، ويعتبر هذا النوع أكثر الأنواع انتشاراً في البيئة الرطبة التي تتراوح بين طبقات الرطوبة الرقيقة المتكثفة إلى المحاليل بشكل عام كما تشمل الهواء الجوي والمياه الطبيعية ومن الأمثلة على ذلك:

- التآكل الجوي (Atmospheric Corrosion)
- فقدان البريق (Tarnishing)

تؤدي البيئة المسببة للتآكل في المعادن منتظمة التركيب إلى تقليل السماكة بشكل متساوي على كامل السطح المعرض لهذه البيئة، ومن الجدير بالذكر أنّه في هذا النوع لا توجد منطقة على سطح المعدن تعتبر مصعداً أو مهبطاً كما في باقي أنواع التآكل، ويبين الشكل (1-7) هذا النوع من التآكل.



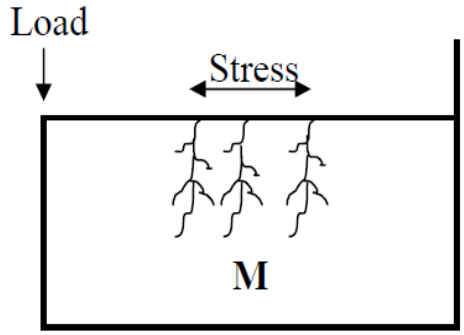
الشكل (1-7) التآكل المنتظم [21]

- **التآكل الموضعي:**

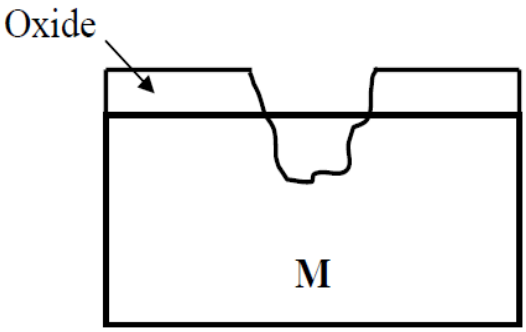
يحدث في هذا النوع تآكل مساحات معينة من سطح المعدن بسرعة أكبر من باقي المناطق بسبب عدم تجانس سطح المعدن أو المحيط أو الشكل الهندسي، ويتراوح الهجوم على المعدن من الموضعي القليل إلى النقري.

ومن بعض الأمثلة على ذلك:

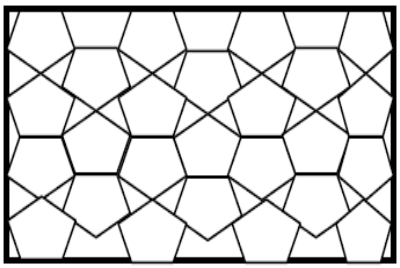
- تآكل الشقوق أو الصدوع (Crevice Corrosion)كما في الشكل (1-8).
- التآكل النقري (Pitting Corrosion) كما هو مبين بالشكل (1-9).
- تآكل بين الحبيبات (Intergranular Corrosion) حيث يظهره الشكل (1-10)
- هجوم الرواسب (Deposit Attack) وفق ما هو مبين بالشكل (1-11).
- التآكل التكهفي (cavitation corrosion).



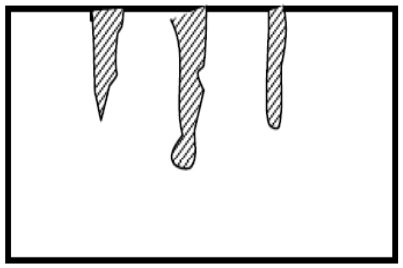
الشكل (1-8) تآكل الصدوع أو الشقوق [21]



الشكل (1-9) التآكل النقري [21]



الشكل (1-10) تآكل بين الحبيبات [21]



الشكل (1-11) هجوم الرواسب [21]

يعدّ التآكل النقري من أكثر الأنواع شيوعاً حيث يعد هجوماً موضعياً مركزاً على مناطق محددة ينتج عنه نقر صغيرة تخترق المعدن، وقد يكون التآكل النقري أكثر خطورة من التآكل المنتظم بالرغم من أن الجزء المتضرر في التآكل النقري صغيراً، وذلك لأنّه يسبب تعطل مفاجئ للمعدات بسبب انثقابها. وقد طرحت تساؤلات كثيرة عن العوامل المسببة لانتشار النقر وقد اتفق العديد من الباحثين أن تكوين النقر هي عملية محفزة ذاتياً، فعندما تكون المادة عليها غشاء أكسيد شديد الحماية فإن النقر غالباً ما تظهر عند المناطق المشوهة في ذلك الغشاء مثل التشققات والصدوع. وقد أثبتت الدراسات الحديثة أن ظاهرة

التآكل النقري هي ظاهرة معقدة ولا يوجد اتفاق عام على آلية هذا التفاعل، وإن كان يفترض أن بداية ظهور النقر تكون بسبب إحدى العمليات التالية:

- هجوم على المواقع المشوهة مثل حدود الحبيبات
- هجرة الأيونات عبر الغشاء الخامل (طبقة الأكسيد)
- تنافس بين ذوبان المعدن وإصلاح الغشاء
- حموضة موضعية

فمثلاً في حالة الفولاذ المحتوي على الكروم حيث يتجمع قليل من محلول راكد كمحلول كلوريد الصوديوم المحتوي على الهواء في الشقوق يكون هناك فرق كبير بين تركيز الأكسجين خارج وداخل الشقوق حيث يكون كبيراً في الخارج وقليلاً في الداخل، وتحدث عملية المهبط وهي اختزال الأكسجين على السطح الحر بينما تحدث عملية المصعد وهي إذابة للمعدن ثم اماهة (Hydrolysis) للأيونات داخل الشقوق ثم يستهلك الأكسجين الذائب في الشقوق مؤدياً إلى انكسار غشاء الأكسيد الخامل، ويحدث هذا بالرغم من أن فرق الجهد بين السطح (المهبط) وداخل الشقوق (المصعد) يعدّ صغيراً ويبلغ حوالي 50−100mV، والغريب في الأمر أن هذا النوع من التآكل يحدث في المناطق الأكثر حماية من المعدن مثل الفجوات تحت المسامير الملولبة والوصلات التراكبية وغيرها.

أما بالنسبة للتآكل التكهفي فهو ينجم عن التشكيل والانهيار الدائم والمستمر للفقاعات في داخل السائل بسبب التقلب الموضعي للضغط حيث يسبب التآكل الحتي لكل شيء صلب موجود في جوارها.[22]

- **الإذابة الانتقائية أو التآكل الانتقائي:**

وهنا يحدث إذابة لأحد مكونات السبائك الأكثر نشاطاً فمثلا بالنسبة لسبائك النحاس−الزنك المحتوية على أقل من 85% من النحاس فإنه عند تعرض هذه السبيكة لبيئة رطبة لمدة طويلة فإن الزنك (25%) قد يذوب في المحلول وتصبح الخليطة المتبقية المتبقي ذو قوة ميكانيكية أضعف بكثير والأمثلة على الإذابة الانتقائية هي:

إزالة الزنك (Dezincification)

إزالة الألمنيوم (Dealuminification)

ولتجنب هذا النوع فإنه يجب استخدام مواد مقاومة جيدة أو استخدام الحماية المهبطية .

3.4.1 أنواع التآكل بحسب المواد المعدنية:

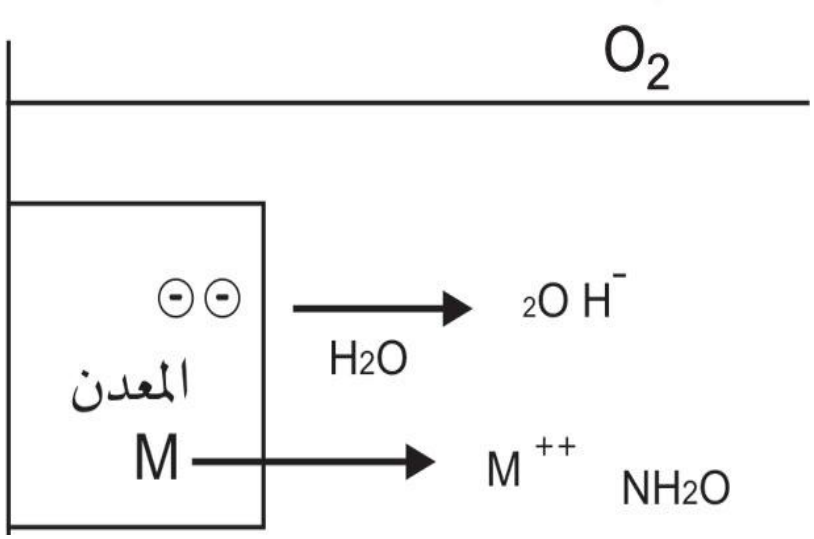
- **تآكل المعادن الحديدية**

الحديد موجود في الطبيعة على شكل أكسيد الحديد أو كبريتيت الحديد حيث وصل إلى هذا التركيب خلال آلاف السنين وفقد أكبر ما يمكن من الطاقة الكامنة، ولكن المعدن بهذه الحالة لا يصلح للاستفادة منه في تصنيع المعدات لأنّه هش وخواصه الكيميائية والفيزيائية لا تصلح للاستخدام المباشر، وأثناء التصنيع لتحويل خام الحديد إلى معدن الحديد الذي يمكن الاستفادة منه فإنه تضاف إليه طاقات كامنة وعند تحويله الى سبيكة فإنه تضاف إليه عناصر أخرى. إذا تواجد الحديد في وسط مؤكسد أو مشبع بالأكسجين فينتج أكسيد الحديد Fe_2O_3، أما اذا كان الوسط الخارجي مائي ولا يحتوي على الأكسجين فإنه يتحول الى أكسيد الحديدي FeO. وقد يتحول Fe_2O_3 أو FeO إلى طبقة من أكسيد الحديد المغناطيسي Fe_3O_4 أي الماجناتايت وهو أكسيد جيد الالتصاق على السطح ولا يذوب في الماء مما يؤدي الى إيقاف التآكل حيث تحدث حالة الحماية الذاتية (الخمول). أما عندما يحتوي الوسط الخارجي على أيونات الكلوريد فإن الناتج يكون كلوريد الحديد أو كلوريد الحديدي الذي يذوب في الماء ولا تتكون طبقة عازلة وبهذا لا تحصل حماية ذاتية.

يؤدي تآكل المعادن الحديدية كل عام إلى خسارة اقتصادية جسيمة في العالم، ويستدعي هذا التآكل تغيير أنابيب نقل النفط والصمامات والخطوط الحديدية ومواد البناء وقطع غيار السيارات والآليات إضافة إلى ضياع كميات كبيرة من المواد بالتسرب من الخزانات والأنابيب المتآكلة وإلى الخسارة الناجمة عن توقف الخطوط الإنتاجية عموماً. ويظهر التآكل المعدني الكيمياوي عند تعرض المعدن لفعل الغازات الجافة في درجات الحرارة العالية، في حين تظهر الصفة الكهربائية الكيمياوية للتآكل لدى تعرض المعدن لفعل تحلل بالكهرباء (إلكتروليت)، وفي هذه الحالة يرافق تفاعل تآكل المعدن تفاعلٌ آخر يستهلك الإلكترونات الناتجة عن التآكل.

يتعلق التآكل بطبيعة البيئة المسببة له وبتركيبها، وبطبيعة المعدن وكمية الشوائب التي يحتويها ونوعها ومجمل الشروط السائدة، حيث أن وجود الشوائب في المعدن يسرع التآكل عادة وهكذا يتفاعل الزنك (التوتياء) النقي ببطء في المحاليل الحمضية الممددة، فإذا لمس هذا المعدن سلك من البلاتين أخذ المعدن بالتفاعل بعنف فينحل متحولاً إلى الشكل الشاردي، في حين تُرجع شوارد الهيدروجين على سطح البلاتين إلى غاز الهيدروجين، ويحدث الأمر نفسه لدى غمس معدن الحديد غير النقي في

محلول حمض كلور الماء، حيث تترافق العمليتان بانحلال المعدن وإرجاع شوارد الهيدروجين، ويحدث تفاعل تآكل المعدن لدى تماس المحلول المائي للأكسجين وفق المخطط الذي يبينه الشكل (1-12). فالإلكترونات المتحررة بأكسدة المعدن تستهلك هنا لإنتاج شوارد الهدروكسيل، فتكون النتيجة انتقال المعدن على هيئة شوارد إلى المحلول، أو ترسُّبه على هيئة هدروكسيد المعدن. [28]



الشكل (1-12) مخطط التآكل الكهربائي و الكيميائي للحديد

- **تآكل المعادن غير الحديدية**

إنَّ تلوث الهواء وعلى الخصوص بالغاز الكبريتي هو مصدر رئيسي لتآكل المعادن غير الحديدية المستعملة في الأبنية المدنية، وعندما تصنع السقوف من التوتياء فيجب استعمال صفائح قوية لا يقل سماكتها عن 0.6 مم. أما الألمنيوم فيقاوم الحموض مقاومة جيدة بسبب ترسب طبقة رقيقة جداً 2 nm من أكسيد الألمنيوم (الألومين) على سطحه، ولكنه أكثر تعرضاً من التوتياء لتأثير الأسس القلوية والكلس والإسمنت. وأما الرصاص فيقاوم التأثير الحمضي مقاومة كبيرة ولا تتأثر الأنابيب المصنوعة من الرصاص بالتماس مع الجص (تفاعل حمضي) ولكنها على العكس تتأثر بالإسمنت (تفاعل قلوي).

5.1 آلية التآكل الكهرو كيميائي:

يقسم التآكل بحسب مكان تواجده إلى خارجي وداخلي، حيث يحدث التآكل الخارجي على السطح ويمتد للداخل نتيجة البيئة المحيطة، ولكن يكون التآكل الداخلي هو الأخطر حيث يكون بعيداً عن الرؤية البصرية ولا يمكن تحديد الأماكن التي يحصل فيها بدقة وسهولة كما في التآكل الخارجي بل يستند على خبرة العاملين في مجال الكشف عنه وعلى المعدات المتوفرة. ولمعرفة كيفية حدوث التآكل يتوجب علينا معرفة الأساسيات التي يستند عليها حدوثه وهي:

1. و جوب توافر قطب / شحنة سالبة (الأنود).
2. وجوب توافر قطب / شحنة موجبة (الكاثود).
3. وسط محلول موصل (الإلكتروليت).
4. توفر حالة توصيل بين الأنود والكاثود.

وتتم آلية التآكل بصورة عامة وفق التالي:

- يحدث تشرد الحديد عن طريق خسارته لإلكترونين من المدار الخارجي وفق المعادلة المبينة أدناه:

$$Fe \longrightarrow Fe^{++} + 2e^{-}$$

- يحدث اتحاد للشحنة السالبة مع الأكسجين في أغلب الأحوال :

$$\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^{-} \longrightarrow 2OH^{-}$$

وينتج جهد يقدر بـ 0.85- فولت في الحالة الافتراضية إذا قيس مقابل الإلكترود النحاسي وهذا التفاعل يحدث تياراً سارياً بحدود 1.25 أمبير. [29]

يساعد في زيادة حدوث التفاعل أيضاً وجود الكلوريدات والأملاح والكبريتات في المياه حيث تشارك الأملاح في مهاجمة أجزاء المعدن ويبدأ ذلك عند ملامسة هذه المكونات للحديد فيتكون وسطاً مناسباً من الحموضة PH تتمحور حول الحديد فيتأثر أو يصبح قادراً على الانحلال عندما تصبح درجة الحموضة 4 – 3 =PH .[30]

1.6 التأثير التآكلي للنفط:

1.6.1 مقدمة:

يُعتبر النفط من الناحية الفيزيائية سائل لزج له لون يتدرج من الأصفر أو الأخضر الفاتح وحتى الأسود القاتم، وذلك تبعاً لتركيبه الكيميائي وعمق المكمن الذي يحويه ومنشأه. وتعتمد الخواص الفيزيائية للنفط ونوعيته على تغلب أحد الهيدروكربونات أو مجموعاتها المختلفة في تركيبه، فالنفط الذي تتغلب فيه نسبة الهيدروكربونات المعقدة ويحتوي على كمية كبيرة من المركبات الراتنجية والبرافينية يكون لزجاً وقليل الحركة، مما يتطلب اتخاذ الإجراءات خاصة لاستخراجه إلى سطح الأرض ثم نقله وذلك بما يتناسب ومحتوى النفط من هذه المركبات، ونظراً لارتباط هذا المحتوى بالصفات الفيزيائية فإنّه من المهم الإشارة إلى أنّ النفط يقسم تبعاً لكمية البرافين إلى:

- نفط قليل البرافين: يحتوي على البرافين بنسبة حتى (1.5%).
- نفط برافيني: يحتوي على البرافين بنسبة تتراوح بين (1.5%÷6.0%).
- نفط عالي البرافين: يحتوي على البرافين بنسبة أكبر من (6.0%).

كما يقسم النفط تبعاً لكمية الراتنجات إلى:

- نفط قليل الراتنجية: يحتوي على راتنجات بنسبة لا تزيد عن (8%).
- نفط راتنجي: يحتوي على راتنجات بنسبة تتراوح بين (8%÷25%).
- نفط عالي الراتنجية: وهو الذي يحتوي على راتنجات بنسبة تزيد عن (25%).

وتجدر الإشارة إلى أن احتواء النفط على المركبات الكبريتية يؤدي إلى تقليل جودته وإلى حدوث صعوبات عند استخراجه ونقله وتخزينه وتقطيره، وذلك نتيجة لدخول هذه المركبات في تفاعلات جانبية عديدة تؤدي إلى تآكل الأنابيب والخزانات والمعدات التكنولوجية الأخرى، ويقسم النفط تبعاً لكمية المركبات الكبريتية التي يحويها إلى:

- نفط قليل الكبريت: وهو يحتوي على مركبات كبريتية بنسبة حتى (0.5%).
- ونفط كبريتي: وهو يحتوي على مركبات كبريتية بنسبة تتراوح بين (0.51%÷1.9%).
- ونفط عالي الكبريت: وهذا يحتوي على مركبات كبريتية بنسبة أكبر من (1.9%).

تتغير قيم الخواص الفيزيائية للنفط الخام ضمن مجالات مختلفة وذلك باختلاف الشروط التي يتعرض لها على غرار ما يحدث له أثناء مختلف مراحل عمليات الإنتاج وعمليات النقل والتخزين أي أنّ الخواص الفيزيائية للنفط الخام تتأثر بالشروط الطبيعية المحيطة والشروط التكنولوجية المطبقة عليه أثناء هذه العمليات، وبالتالي يجب دراسة وتحديد الخواص الفيزيائية لهذا النفط أو ذاك بدقة ومعرفة الشروط التي يتوجب التقيد بها حتى تبقى قيم هذه الخواص ضمن المجالات المسموح بها، وبما يخدم في تجنب المشاكل التي قد تحدث بسبب تجاوز قيم بعض هذه الخواص أو كلها لحدود التسامح، وبالتالي تحقيق أعلى مردود ممكن فنياً واقتصادياً أثناء تنفيذ عمليات الإنتاج والنقل والتخزين.

وبشكل عام يكون النفط الخام المستخرج من الآبار على هيئة مزيج النفط الخام والغاز المنحل به (وهو ما يسمى بالغاز المرافق) والماء الذي يكون غالباً على شكل مستحلب في النفط، والذي يتميز بلزوجة عالية أكبر من لزوجة النفط الخام. يكون الغاز في الشروط الطبقية منحلاً في النفط، غير أنّه مع انخفاض الضغط ينطلق الغاز بالتدريج وعادةً يتم فصل الغاز عن النفط قبل إرساله إلى وحدات المعالجة في أجهزة خاصة تدعى بالفواصل.[31]

2.6.1 التآكل الداخلي في الأنابيب النفطية:

يعد التآكل الداخلي في أنابيب النفط الخام من المشاكل بالغة الصعوبة من حيث القدرة على حلها في الصناعة النفطية بسبب تعدد مكونات النفط الخام وتعقيد تأثيرها الأمر الذي يجعل من الصعب أن نحصي جميع البارامترات التي تسبب التآكل ومن ثَم توضيح تأثيراتها كلاً على حدا. [1]

إن وجود الأكسجين بالإضافة إلى احتواء النفط الخام على نسبة من الماء والأملاح المعززة لحدوث التآكل وكذلك وجود أنواع مختلفة من الحموض والغازات(ثاني أكسيد الكربون) في النفط الخام يمكن أن تسبب حدوث أشكال معقدة من التآكل الداخلي، مما يؤدي إلى ظهور تحديات وصعوبات في هذه الدراسات والمتمثلة بعملية التنبؤ بالفعالية التآكلية للنفط الخام وتأثيراتها الميتالورجية في المعدن، ومن هنا فإنّه لا يمكن استخدام معظم النماذج المستخدمة في هذه الحالة للتنبؤ بالقدرة الأكالة للنفط الخام مع وجود متغيرات متعددة بدءًا من الجريانات وتأثيرها وانتهاءً بالتأثير الكيميائي في المعدن.

حيث يمكن ضم أغلب العوامل التي تتظافر لتسبب كلاً منها شكلاً من أشكال التآكل الداخلي ينتج عنها مجتمعة التآكل الكلي الداخلي كما هو مبين في الشكل (1-13).

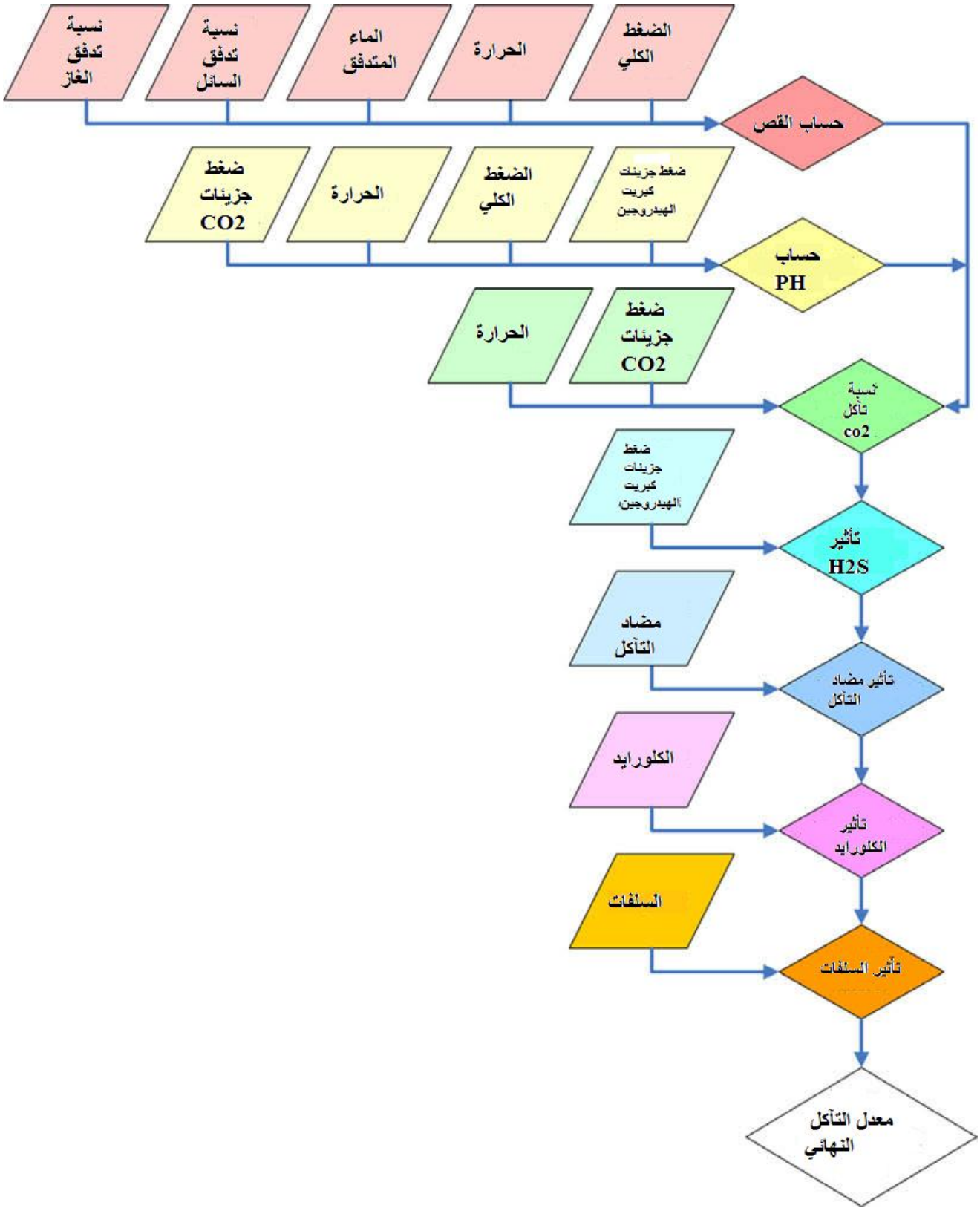
ولكن للأسف تكون معظم هذه العوامل غير مسيطر عليها إذ تكون تابعة لطبيعة البئر النفطي حيث يمكن فقط تحديد معدل الانتاج وكمية مثبط التآكل **(Corrosion Inhibitor)** المضافة للنفط الخام.

يمكن خفض معدل التآكل وفقاً لما سبق بطريقتين:

- بخفض نسبة الانتاج إلا أن هذا الأمر يكلف خسائر اقتصادية ومرفوض من قبل الشركات النفطية العاملة.
- بزيادة مثبط التآكل والذي يؤثر على جودة النفط سلباً وبالتالي العودة إلى المشكلة الاقتصادية نفسها.

وتكون غالباً مشاكل التآكل الداخلي في صناعة الغاز والنفط المستخدم فيها الفولاذ الكربوني متمحورة وبشكل كبير حول عدة عوامل رئيسية كالضغط الداخلي، الأملاح، مثبط التآكل وقد دُرس من العوامل السابقة من قبل الباحثين: [32]

- التآكل نتيجة تأثير ثاني أكسيد الكربون (Co_2).
- التآكل نتيجة تأثير كبريت الهيدروجين (H_2S).
- التآكل البكتيري.



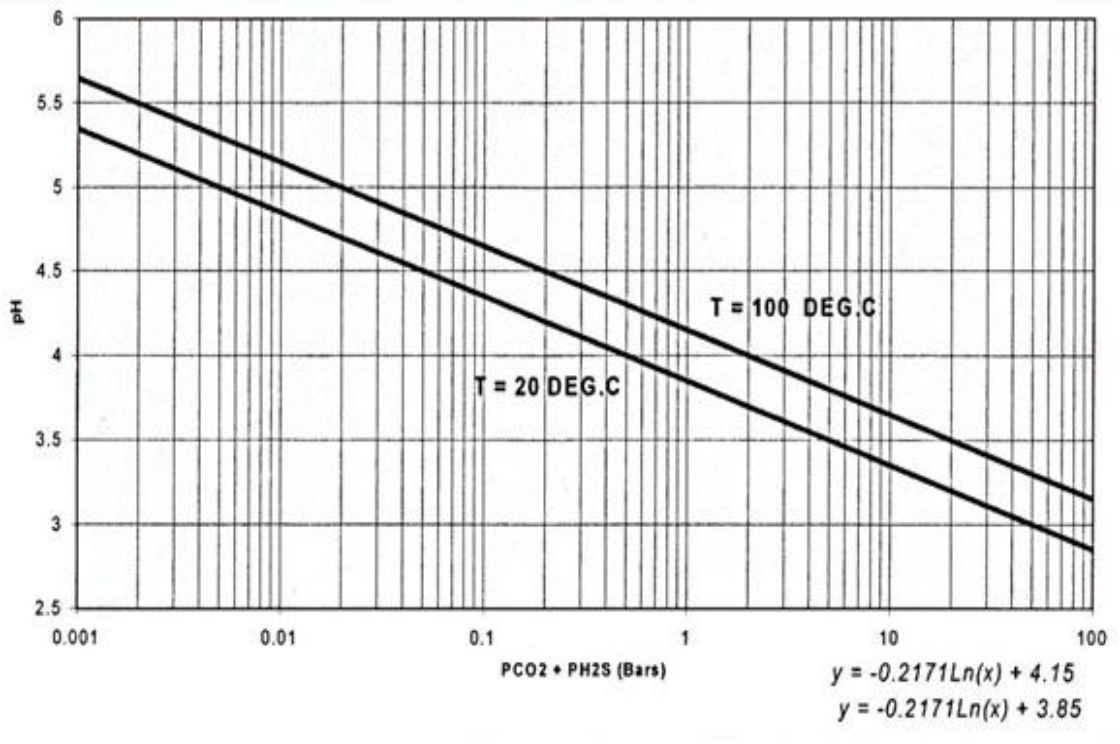
الشكل (1-13) العوامل المؤثرة على معدل التآكل الداخلي في النفط المستخرج [1].

1.2.6.1 التآكل نتيجة تأثير ثاني أكسيد الكربون Co_2:

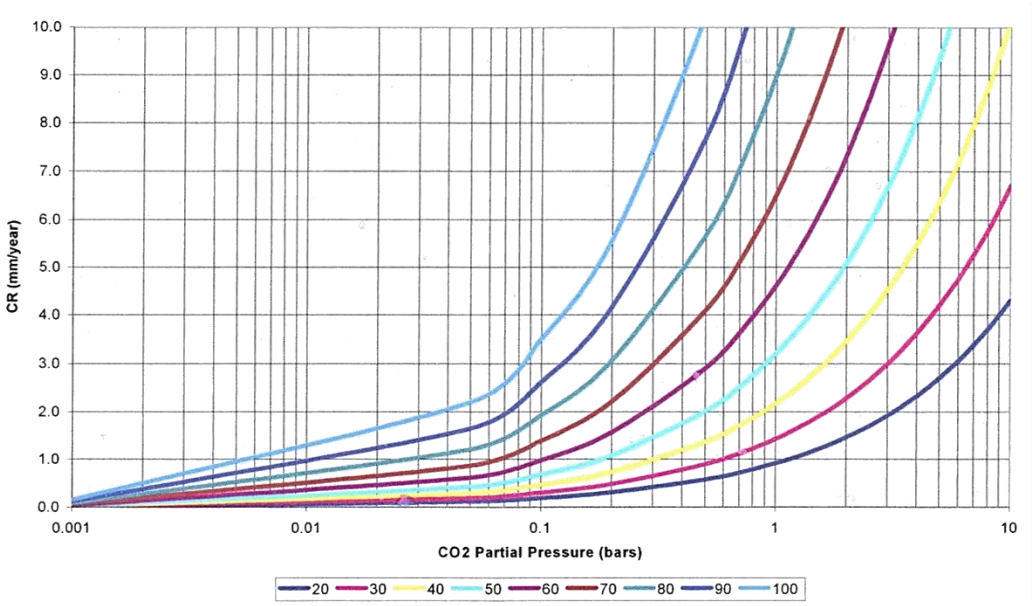
يعتبر التآكل بسبب CO_2 من أكثر أنواع التآكل التي تصادف في عملية انتاج النفط والغاز ونقلهما، ويعتبر ظاهرة معقدة درست منذ خمسين عاماً فقط، وينتج ثاني أكسيد الكربون من تمدد الماء المشبع به والموجود ضمن الآبار (حمض الكربون) كالتالي :

$$CO_2 + H_2O = H_2CO_3$$

تعتبر حموضة الماء PH هي العامل الرئيسي المؤثر في هذا التآكل والتي تكون بدورها تابعة لدرجة الحرارة وضغط غاز ثاني أكيسد الكربون، حيث يحسب ضغط غاز ثاني أكسيد الكربون كناتج لجداء الضغط الكلي بنسبة ثاني أكسيد الكربون المئوية، ويبين الشكل (1-14) ازدياد ضغط غاز ثاني أكسيد الكربون مع ازدياد الحموضة (انخفاض درجة الـ PH) باختلاف درجة الحرارة. ويبدأ الأنبوب بالتآكل إذا كان الـ PH أقل من 6.5 أي عند ازدياد ضغط CO_2 وفق ما هو مبين بالشكل (1-15). [34]



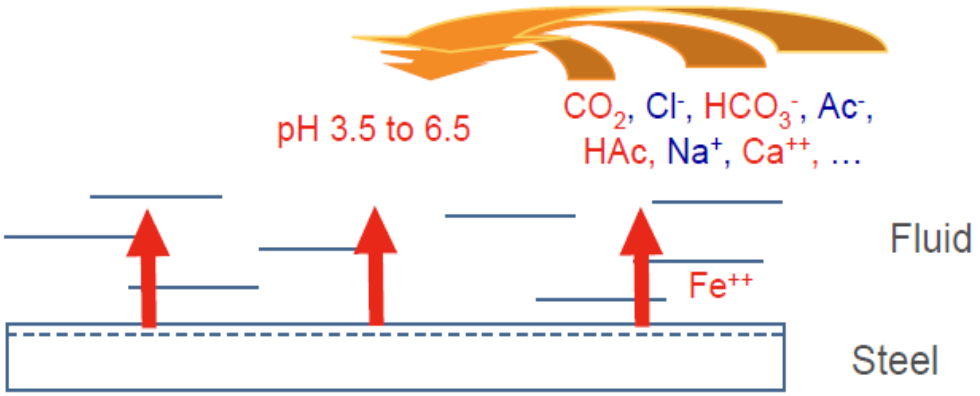
الشكل (1-14) ازدياد ضغط جزيئات CO_2 بنقصان PH [34]



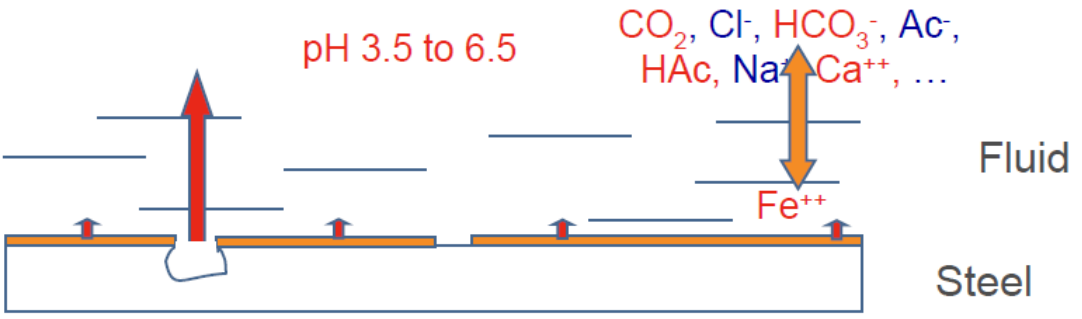
الشكل (1-15) ازدياد معدل التآكل بازدياد ضغط جزيئات CO_2 [34]

يقسم هذا النوع من التآكل إلى قسمين بحسب مكان تواجده:

- تآكل الخط السفلي نتيجة CO_2: يكون الأنبوب على تماس مع الماء المتدفق والمحتوي على الشوارد المحتوية على مركبات CO_2 بتركيز أعلى عند خطه السفلي مما يؤدي إلى تشرد الحديد وتفاعله مع هذه الشوارد مكوناً أكسيد الحديدي FeO، وفق الشكل (1-16) الذي يبين تماس الشوارد الملحية مع شوارد الحديد ثم تشكل طبقة من أكسيد الحديدي بعد حصول التفاعل بين شوارد الحديد والملح كما في الشكل (1-17).[32]

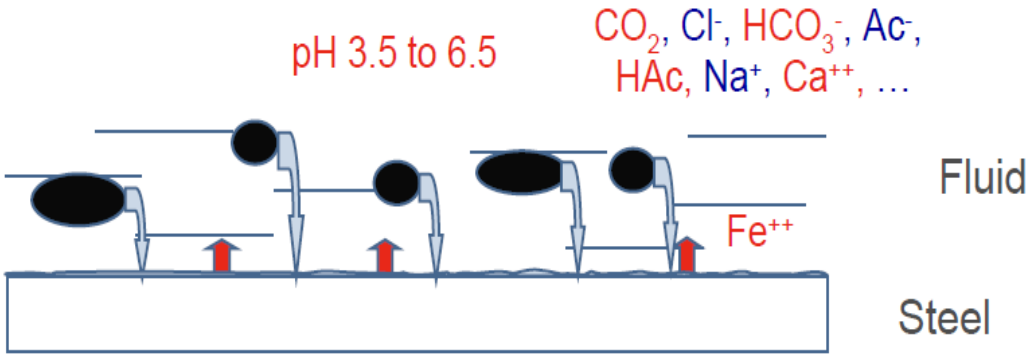


الشكل (1-16): تماس شوارد الأملاح مع شوارد الحديد [32].

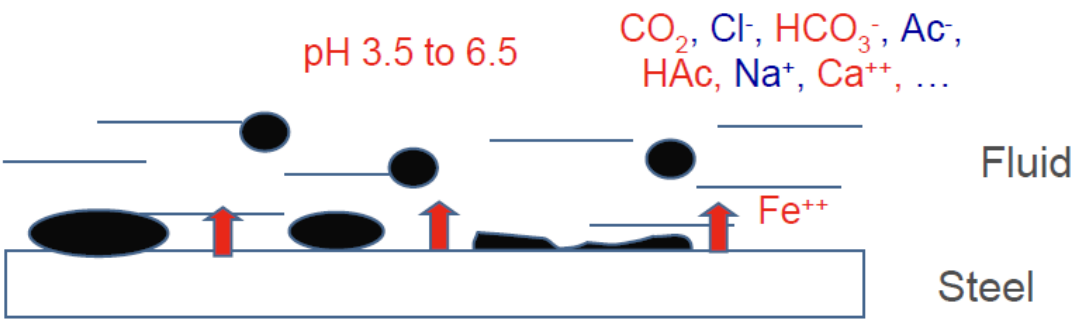


الشكل (1-17): تفاعل شوارد الحديد المنحلة مع شوارد حمض الكربون [32].

ويتم التقليل من هذا التآكل بحقن مواد كيماوية خاصة مثبطة للتآكل **(corrosion inhibitor)** التي تقلل عملية التآكل من خلال الحد من التفاعل بين الشوارد الملحية ومعدن الأنابيب، حيث تتشكل على السطح الداخلي للأنبوب طبقة رقيقة تمنع هذا التماس الخطر وبالتالي تقلل عملية التآكل الداخلي، ويتم تحديد نسبة هذه المواد من خلال معادلات خاصة بكل شركة نفطية وذلك تبعاً للتحليل النفطي لمكونات البئر النفطي واحتساب نسبة الشوارد الملحية الأساسية.إنّ آلية عمل مضاد التآكل موضحة بالشكلين التاليين (1-18) و (1-19) بدءاً بانتشار هذه المواد الكيماوية ضمن السائل أولاً ثم تشكيلها الطبقة المنشودة على سطح المعدن ثانياً.



الشكل (1-18) انتشار مضاد التآكل ضمن السائل.



الشكل (1-19) حماية مضاد التآكل لسطح الفولاذ.

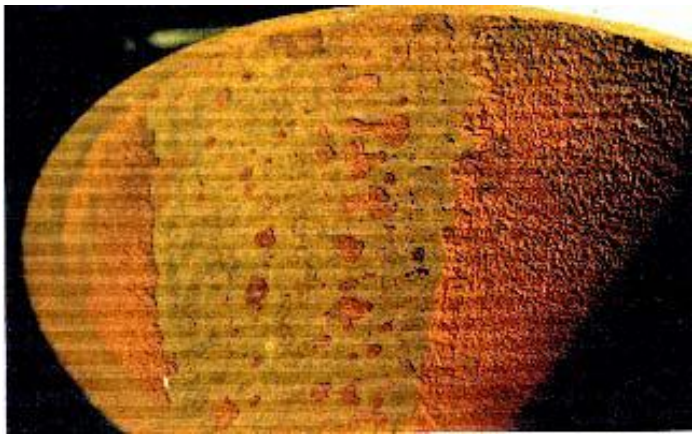
يتم حقن مضاد التآكل من خلال رؤوس حقن خاصة وتزداد فعالية العملية كلما كان انتشار المادة أوسع على الجدران الأنبوب. إن معدل التآكل الناتج عن ثاني أكسيد الكربون يكون تابعاً لعدة عوامل تصحيح تابعة لدرجة الحرارة وضغط جزيئات ثاني أكسيد الكربون، ويتم تحديد عوامل التصحيح غالباً من خلال مخططات تجريبية تضعها الشركة الصانعة للأنابيب تربط بين العوامل السابقة، حيث يحدث هذا التآكل بمعدل منتظم ويتسارع في المناطق الغنية بثاني أكسيد الكربون ويكون غالباً بمعدل 1–20 مم في السنة (mm/y). يبين الجدول (1–2) تقديرات معدل التآكل بالنسبة للتآكل الناتج عن غاز ثاني أكسيد الكربون بالإضافة إلى احتمال فشل العنصر، ويبين الشكل (1–20) تآكل داخلي في الجزء السفلي من أنبوب نفطي سببه ثاني أكسيد الكربون.

- التآكل نتيجة ثاني أكسيد الكربون في الجزء العلوي من الأنبوب: هو تآكل مرتبط بوجود جزيئات غاز ثاني أكسيد الكربون بكثافة في طور الغاز الموجود في أعلى الأنبوب والتي تكون عند درجة PH منخفضة وتساوي تقريباً 3.5 مع تركيز عالي من المحتوى الأسيدي و عندما تصل القطرات النفطية إلى الخط السفلي فإنها لا تستطيع الوصول للخط العلوي للأنبوب وبالتالي يحصل التآكل بمعدلات عالية كما هو مبين في الشكل (1–21).**[8-15-32-34]**

الجدول (1–2) تقديرات معدل التآكل [34]

معدل التآكل	حد تآكل CO_2 (mm/y)	احتمال الفشل العملي
منخفض جداً	0.1>	لا يوجد
منخفض	0.3 – 0.1	منخفض ولكن يمكن أن يتوسع
متوسط	1 – 0.3	مرجح ولكن متأخر
مرتفع	3 – 1	محتمل جداً في بضع سنوات
مرتفع جداً	> 5 – 3	قريب جداً

الشكل (1-20) تآكل بسبب CO_2 حيث معدل التآكل للجزء السفلي 7 mm/y [32].



الشكل (1-21) تآكل نتيجة CO_2 في الجزء العلوي من الأنبوب.

2.2.6.1 التآكل نتيجة لوجود كبريت الهيدروجين H_2S [35-32-1]

الدراسات الموجودة حول هذا النوع من التآكل قليلة وأقل من نظيراتها حول ثاني أكسيد الكربون والسبب يعود إلى أن آلات القياس لكبريت الهيدروجين قليلة، بالإضافة إلى أن وجود كميات قليلة منه لا تشكل احتمالاً كبيراً للفشل، بينما تأتي خطورته من وجود غاز الهيدروجين الذي يعدّ من الغازات الصناعية

المهمة، وهو يتولد في الصناعات النفطية بسبب تكسر الهيدروكوربونات بدرجات حرارة عالية أو أثناء عملية الاستخراج النفطي وكذلك هناك أسباب أخرى لتوليده.

إنَّ طبيعة الانهيار هنا تكون ميكانيكية ولو أن التآكل يلعب دوراً بارزاً فيها ويحصل الانهيار نتيجة تولد الهيدروجين الذري من تفاعل كيماوي، فمثلاً إن وجود كميات قليلة من كبريتيد الهيدروجين الرطب على سطح الحديد يولد غاز الهيدروجين كما في المعادلة.

$$Fe + H_2S = FeS + 2H \quad [35]$$

إن الهيدروجين من الغازات الخطرة جداً لأنه سهل الاشتعال والانفجار إضافة إلى تحريره وتكوينه غاز كبريت الهيدروجين داخل الخزانات والأنابيب النفطية مسبباً تآكل شديد لتلك الخزانات والأنابيب، وينفذ الهيدروجين الذري خلال مسامات المعدن حيث يتحد مع بعضه مكوناً الهيدروجين الجزيئي والذي لا يتمكن من الخروج من المسامات وعلى مرور الزمن تبقى كميات لا بأس بها من الهيدروجين الجزيئي محصورة داخل المعدن مولدةً ضغوطاً كبيرةً كافية لتكسير المعدن وانهياره التام.

يكون تمزق المعدن موازياً للسطح وعندما يكون الهيدروجين الجزيئي المحصور قريب من سطح المعدن تظهر بثور على السطح، عند فحص التمزق تحت المجهر نجد أن التشقق يحصل خلال البلورات هذا بالنسبة لدرجات الحرارة المنخفضة، أما التشققات في درجات الحرارة العالية فتكون على حدود البلورات حيث يتفاعل الهيدروجين مع كربيد الحديد مكوناً غاز الميثان الذي جزيئاته كبيرة ولا يتمكن من الخروج من مسامات المعدن وتتولد بذلك ضغوطاً عالية داخل المعدن تؤدي بالتالي إلى تشققه.

إنَّ الحالة الذرية للهيدروجين مع أنّها غير مستقرة كيميائياً لكن لها صفات فيزيائية معينة تتمثل بصغر ذرة الهيدروجين حيث يمكنها أن تخترق سطح المعدن الصلب والنفاذ من خلاله أو التجمع داخله.

من الممكن منع اتحاد الهيدروجين مع الكربيد بإضافة عنصر الكروم أو النيكل او الفناديوم وغيرها والتي تشكل الكربيدات لذلك فإنّ معظم سبائك الفولاذ المقاوم للصدأ تقاوم الهيدروجين في درجات الحرارة العالية لاحتوائها على عنصر الكروم.

إن فعالية ذرة الهيدروجين لتكوين جزيء أو التفاعل مع المعدن أو اختراقه تسبب أنواع من التآكلات تسمى بالتآكلات الهيدروجينية ، وهي أربع أنواع:

1- تبثر الهيدروجين (Hydrogen Blistering) :

إذا حصل ونفذ الهيدروجين الذري داخل المعدن فإنه سيتعرض لعدة احتمالات منها التجمع في الفجوات داخل التركيب المعدني، وعند تجمع الذرات داخل هذه الفجوات فإنها تتحد مع بعضها وتكون جزيئات الهيدروجين والتي أحجامها أكثر من ضعف حجم ذرة الهيدروجين، مما يعيق خروجها من هذه الفجوات وقدرتها على اختراق المعدن وبذلك ستتجمع جزيئات الهيدروجين داخل هذه الفجوات ويزداد الضغط الذي تطبقه على الجدران الداخلية للفجوات. قد يرتفع الضغط في هذه الفجوات حتى إلى 100000 جو وهو ضغط لا يستطيع أي معدن تحمله مهما كانت صلادته مما يسبب في فصل المستويات الذرية المكونة للمعدن. إنّ تآكل المعدن بسبب غاز الهيدروجين واحد من أهم ما تواجهه المجمعات النفطية وبالأخص الخزانات وخطوط النقل المحمية بالحماية الكاثودية أو في وحدات تكسير النفط .

2- هشاشة السبائك بسبب الهيدروجين: (Hydrogen Embitterment)

هناك عدة آليات تفسر حدوث هذه الهشاشة للمعدن فعلى سبيل المثال السبائك التي تحتوي على التيتانيوم Ti يمكن أن تولد هيدريدات هشة، تبدأ هذه العملية بنفاذ ذرة الهيدروجين خلال سطح السبيكة ثم تتفاعل مع ذرات التيتانيوم أو عناصر الخليطة الأخرى لتكوين هيدريد التيتانيوم الهش والضعيف ميكانيكياً، لذا يحصل الكسر في المناطق التي يتجمع بها هذا الهيدريد.

3- نزع الكربون من السبيكة:

الكربون عنصر هام في زيادة قساوة المعدن وفقدانه من السبيكة يحولها الى سبيكة لينة ذات معامل تمدد عالي، ويحصل فقدان كمية الكربون الموجود في السبيكة بسبب ذرات الهيدروجين النافذة والتي قد تتفاعل مع الكربون مكونة غاز الميثان وقد يحصل هذا التفاعل على السطح الخارجي للسبيكة أو داخل السبيكة بعد نفاذ ذرات الهيدروجين إلى الداخل.

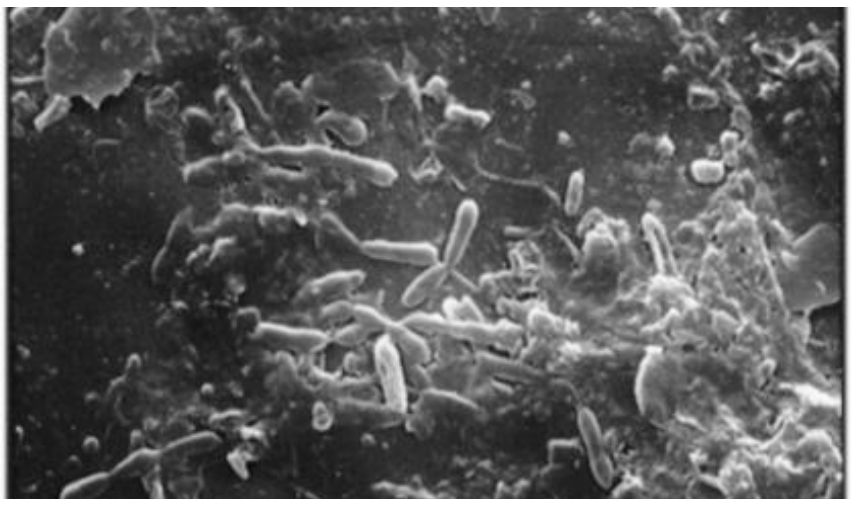
4- تقليل المرونة: (Elasticity Lease)

يكون هذا التغير وقتي إذا تمكن الهيدروجين الذري من مغادرة المعدن أما إذا اتحد مكوناً جزيئات الهيدروجين التي لا تتمكن من الخروج فتتولد اجهادات عالية داخل المعدن تقلل من مرونته ويتشقق نتيجة لذلك المعدن. إن وجود معادن مثل الكروم والمولبيدنم ضمن تركيب السبيكة يقلل من تأثيرات ذرات الهيدروجين النافذة والمتفاعلة مع الكربون ذلك لأن هذه العناصر لها إمكانية التفاعل السريع مع الهيدروجين.

3.2.6.1 التآكل نتيجة البكتريا : [32-35]

يعتبر هذا التآكل في المرتبة الثانية من حيث انتشاره وذلك بعد تآكل CO_2، حيث يكون معدل التآكل بهذا النوع 0.5 – 2 mm/y ولكن في حالات خاصة صادف وجود معدل تآكل أكبر من 10mm/y تكون هذه البكتريا موجودة في طبقة المخزون أو تدخل من خلال العمليات المختلفة التي تجري أثناء استخراج النفط. يوضح الشكل (1–22) تآكل سببه البكتريا ويظهر على شكل خط طولي تقريباً حسب تجمع مستعمرات البكتريا. إن مستعمرات البكتريا الموجودة داخل الأنابيب تتغذى على الأكسجين المنحل بالماء و يزداد حجمها إلى أن تشغل كامل قطر الأنبوب، كما موضح في الشكل (1–23).

الشكل (1–22) تأكل نتيجة البكتريا [32]



الشكل (1–23) مستعمرات البكتريا النامية داخل الأنبوب [32]

تشكل أغلفة المستعمرات الكاثود بينما يكون المعدن الذي تلامسه أنود مما يؤدي إلى تآكله ويكون شكل التآكل مماثل لشكل انتشار المستعمرة كما يظهر الشكل (1-24). ويظهر الشكل (1-25) اختراق التآكل البكتيري للجدار المعدني.

الشكل (1-24) التآكل البكتيري بشكل المستعمرات [32]

الشكل (1-25) تآكل بكتيري مركز.

7.1 مثبطات التآكل (Corrosion Inhibitor) [18-28-34]

1.7.1 مقدمة:

مثبط التآكل هو عبارة عن مادة كيميائية تبطئ أو تخفض سرعة التفاعل الكيميائي بين المادة الأكالة والمعدن، دون أن يشارك هو نفسه في هذا التفاعل، فمثبط التآكل هو المادة التي إذا أضيفت إلى

وسط آكال أنقصت معدل أثره التآكلي على المعدن. تضاف مثبطات التآكل عادةً بكميات قليلة إلى الحموض ومياه التبريد والبخار وأوساط أخرى وذلك إما بشكل مستمر وإما بشكل متقطع بهدف تحقيق الحماية من التآكل الشديد.

تبطئ بعض المثبطات عملية التآكل نتيجة لعملية الامتزاز على سطح المعدن مشكلة شريحة رقيقة غير مرئية، بينما تشكل مثبطات أخرى ترسبات مرئية بكميات كبيرة نتيجة لتفاعلها مع المعدن تغطي المعدن وتقيه من التآكل. هناك آلية أخرى شائعة لتثبيط عملية التآكل تجمع بين تأثير الامتزاز المثبط وتراكم رواسب التآكل على سطح المعدن مما يشكل طبقة خاملة، فمثلاً الكرومات تشكل طبقة أكسيديه واقية غير مرئية على الفولاذ في مياه عذبة، بالإضافة إلى أن كميات قليلة من الزنك تسبب ترسبات واقية من الهيدروكسيد، كذلك إن بعض المواد إذا أضيفت إلى الوسط الأكال فإنها تعمل على إزالة المكون الأكال من الوسط.

2.7.1 تصنيف المثبطات:

تنقسم المثبطات وفقاً للتركيبة الكيميائية إلى مثبطات عضوية ومثبطات لا عضوية، وإذا اتخذت درجة الحموضة كأساس للتصنيف فتنقسم عندئذ إلى مثبطات حمضية ومثبطات قلوية ومثبطات معتدلة. ووفقاً للوسط المستخدم به المثبط فهي تنقسم إلى مثبطات سائلة (مثبطات المحاليل)، ومثبطات طيارة أو غازية (بخارية)، وإذا ما اعتمدت آلية التأثير كأساس للتصنيف فنصادف المثبطات الأنودية والمثبطات الكاثودية والمثبطات المختلطة ومثبطات الامتزاز . . . الخ .

1.2.7.1 المثبطات الأنودية :

وهي التي تتسبب في تثبيط التفاعل الأنودي وينتمي إلى هذا النوع من المثبطات المواد المؤكسدة، كالمؤكسدات اللاعضوية كالكرومات $K_2Cr_2O_7$ والنيتريدات $NaNO_2$، وكذلك المركبات التي تشكل على سطح المعدن راسب صعب الانحلال أمثال $NaOH$, Na_2CO_3 , Na_3PO_4 , Na_2SiO_3. تستعمل هذه المواد بصورة رئيسية لمنع تآكل المعادن والخلائط التي تبدي تحولات الفعالية– الخمولية كالحديد وخلائطه وكذلك الفولاذ المقاوم للصدأ.

تعتبر المثبطات الأنودية خطرة خاصة النوع المؤكسد منها لأنها إذا أضيفت بكميات غير كافية يمكن أن تتسبب في زيادة التآكل العام، إذ تؤثر ببساطة كمانعات استقطاب كاثودية أو أنها تمكن من اشتداد الهجمة أي حدوث التآكل النقطي في الأماكن غير المغطاة بالمثبط، فإذا ما تواجدت مساحة أنودية صغيرة غير محمية فإن هذه المساحة سوف تتآكل بمعدل كبير وقد يؤدي ذلك إلى ثقب المعدن ويرجع ذلك إلى كبر المساحة الكاثودية مقارنة مع المساحة الأنودية. هناك مشكلة أخرى تواجه المثبطات الأنودية من النوع المؤكسد، حيث يمكن لهذه المؤكسدات أن تحد من الاستقطاب الناتج عن التفاعل الكاثودي، وبالتالي تسريع عملية التآكل وذلك قبل اكتساب المساحات الأنودية لصفة الخمول.

2.2.7.1 المثبطات الكاثودية :

وهي المثبطات التي تبطئ التفاعلات الكاثودية، وتقسم إلى ثلاثة أنواع :

- **المواد المرجعة:** التي تتحد مع الأكسجين O_2 وتعمل على خفض محتواه في المحلول وإزالته وبالتالي تمنع عملية الاستقطاب الحادث على الكاثود، ويعتبر سولفيت الصوديوم والهيدرازين، اللذان ينزعان الأوكسجين من المحاليل المائية مثالان عن هذه المثبطات:

$$2\ Na_2\ SO_3 + O_2 \rightarrow 2\ Na_2 SO_4$$
$$N_2 H_2 + O_2 \rightarrow N_2 + 2\ H_2 O$$

هذه المثبطات هي أكثر فعالية في الأوساط المعتدلة والأوساط ذات الحموضة الضعيفة، إلا أنها غير فعالة في محاليل الحموض القوية، حيث يكون التفاعل الكاثودي الأساسي هو تصاعد الهيدروجين.

- **مثبطات تصاعد الهيدروجين:** هذه المواد كشوارد الأنتيموان والزرنيخ تبطئ تفاعل تشكل الهيدروجين وفق التفاعل :

$$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$$

إن هذه المواد فعالة جداً في المحاليل الحمضية إلا أنها غير فعالة في الأوساط حيث عمليات إرجاع أخرى كإرجاع الأوكسجين هي التفاعلات الكاثودية المتحكمة. في بعض الأحيان يمكن أن تكون هذه المثبطات ضارة خاصة إذا كان المعدن قابلاً للتعرض لما يعرف بالتنفخ الهيدروجيني أو التقصف الهيدروجيني، لأن مثل هذا النوع من المثبطات يزيد من فرص انتقال الهيدروجين إلى داخل الفلز لأنه يعوق انتقال الهيدروجين بعيداً عن سطح المعدن.

- **مكونات الأغشية غير القابلة للذوبان:**

وهي مواد تشكل طبقة رقيقة على السطح من مواد صعبة الانحلال، وتعتبر بيكربونات الكالسيوم $Ca(HCO_3)_2$ و $ZnSO_4$ مثالاً لهذا النوع من المثبطات، فبيكربونات الكالسيوم إذا أضيفت إلى محلول متعادل أو قلوي خفيف تتحول إلى كربونات الكالسيوم غير القابلة للذوبان فتترسب على سطح المعدن مكونة غشاءً واقياً .

المثبطات الكاثودية غير خطرة لأنها لا تسبب زيادة معدل التآكل إذا ما وجدت بكميات غير كافية كما هو الحال في المثبطات الأنودية.

3.2.7.1 المثبطات المختلطة:

هي مواد تبطئ التفاعلات الأنودية والكاثودية المتسببة في عملية التآكل وعلى قدم المساواة وينتمي إلى هذا النوع من المثبطات البولي فوسفات والسيليكات .

4.2.7.1 مثبطات الامتزاز :

يمثل هذا النوع الفئة أو المجموعة الأكبر للمواد المثبطة وبصورة عامة هي مركبات عضوية تمتز كيميائياً أو فيزيائياً على سطح المعدن وتمنع عملية انحلاله وتوقف عمليات الاختزال، وبالتالي فهي تتحكم بمعدل حدوث التآكل عن طريق التأثير على التفاعل الكاثودي أو التفاعل الأنودي أو كلاهما معاً وكنموذج عن هذه الفئة من المثبطات يشار إلى الأمينات العضوية.

ويتألف جزيء مثبط التآكل من :

- جزء قطبي غير محب للسائل يلتصق بسطح المعدن ويشكل غشاءً واقياً لسطح المعدن .
- جزء لا قطبي محب للسائل ويتجه باتجاهه ويمنع وصوله إلى سطح المعدن ونتيجة لذلك ينخفض معدل التآكل إلى أقل ما يمكن لأن الغشاء الذي تشكل يشكل إعاقة قوية لتفاعلات التآكل.

5.2.7.1 مثبطات الطور البخاري:

تشمل الطرق التقليدية للحماية إما تغيير تركيب السبيكة أو تغطية سطح المعدن بطبقة خارجية واقية، إلا أنه في بعض الأحيان تكون هذه الإجراءات غير عملية إما لكلفتها أو لصعوبة الوصول للأماكن المطلوب حمايتها أو نتيجة لوجود خطر التلوث.

وكأمثلة تطبيقية على استعمال مثبطات التآكل المتطايرة تلك المستخدمة في معدات غرف التحكم وأجهزة القياس، الفراغات فوق سوائل الخزانات، المكثفات والمراجل أثناء التوقف الطويل لسبب ما أو لكون هذه الأجهزة في حالة الاحتياط (بدائل)، الأوعية ومعدات أخرى أثناء التخزين والشحن البحري والمواد المعدنية المخزنة في مستودعات .

ولكي تكون هذه المثبطات مناسبة للاستعمال في الصناعة الكيميائية يجب أن تكون رخيصة الثمن وسهلة التطبيق وذات فعالية طويلة الأمد وغير ملوثة وغير سامة. بالنسبة لهذه المثبطات ليس هناك من ضرورة لإعداد وتحضير سطح المعدن قبل استعمالها، لأن أبخرتها تستطيع النفوذ إلى سطوح الوسط المغلق.

هذا النوع من المثبطات متشابه جداً مع المثبطات العضوية من النمط الامتزازي وتتصف بضغط بخاري عالٍ جداً يمكنها من الانتشار في الجو المحيط ويحدث لها بعد ذلك عملية امتزاز على السطوح المعدنية الموجودة في الجو القريب من مجال تأثيرها، فهي يمكن أن تستعمل لمنع التآكل الجوي للمعادن دون أن توضع في حالة تماس مباشر مع سطح المعدن، وهي تستخدم لتجنب التآكل في الأجواء المعتدلة والأماكن المغلقة كمخازن المنتجات المعدنية وأثناء عمليات الشحن، ومن أمثلة هذا النوع من المثبطات أملاح الأمينات والمورفلين وبنزوات الصوديوم .

من المهم جداً استعمال المثبطات بمقادير كافية لأن العديد من مواد التثبيط تسرع التآكل وبصورة خاصة التآكل الموضعي كالتآكل النقطي إذا استعملت بتراكيز صغيرة بالتالي فعدم إضافة المثبط أفضل بصورة مطلقة من إضافته بمقادير ضئيلة، ولتجنب هذا الأمر يضاف المثبط بشكل فائض ويفحص تركيزه دورياً. عند إضافة مادتين مثبطتين أو أكثر إلى منظومة أكالة فإن تأثير التثبيط يكون أحياناً أعظم من التأثير الذي سيتحقق من إضافة مادة مثبطة واحدة بمفردها.

على الرغم من أن المثبطات يمكن أن تستعمل لإخماد التآكل ويتأتى عن ذلك فائدة كبرى إلا أن هناك حد لهذا النمط لمنع التآكل يتوجب إدراكه والتعرف عليه. فأولاً إنه من غير الممكن إضافة المثبطات إلى جميع المنظومات المتعرضة للتآكل لأن هذه المثبطات قد تلوث الوسط المضافة إليه، إضافة لذلك

إن العديد من المثبطات مواد سامة واستعمالها يقتصر على تلك الأوساط التي لن تستعمل بشكل مباشر أو غير مباشر في تحضير وإعداد الأغذية أو منتجات أخرى ذات صلة بالإنسان، فأملاح الأرسين التي تتصف بفعالية تثبيط قوية في الحموض القوية لها تطبيقات محدودة لهذا السبب.

تستعمل المثبطات بصورة رئيسية في المنظومات المغلقة حيث يكون الوسط الأكال محصوراً لفترات طويلة أو يخضع لعملية تدوير متواصلة ومغلقة. إن المثبطات ليست عملية في المنظومات ذات الاجتياز المفرد أي المنظومات المفتوحة، وأخيراً تفقد المثبطات بصورة عامة فعاليتها وبشكل سريع في حال ازدياد تركيز ودرجة حرارة الوسط .

3.7.1 متطلبات مثبطات التآكل:

تتحدد المتطلبات التي يجب أن تحققها مثبطات التآكل بشكل رئيسي حسب نوع العملية ونوع النظام الذي ستعمل وفقه هذه المثبطات، وهناك بعض الجوانب الهامة التي يجب التأكد منها قبل استخدام مثبطات التآكل.

- قابلية الانحلال في الوسط الذي ستعمل فيه.
- أن تكون فعالة مع وجود مواد كيميائية أخرى كمانعات الاستحلاب وقاتلات البكتيريا.
- أن تكون فعالة في المستحلبات.
- أن تكون فعالة بوجود الرغوة.
- أن تكون مقاومة لدرجات الحرارة العالية.
- أن تكون قابلة للضخ عند درجات الحرارة المنخفضة.
- أن يكون لها فعل مثبط للتآكل.

وفي الوقت الذي تستخدم فيه مثبطات التآكل لتخفيض معدل التآكل وبالتالي تخفيض كلفة الصيانة وتحسين المردود، يجب الانتباه إلى أنه قد تكون هناك جوانب سلبية مؤذية لاستخدام هذه المثبطات:

- التداخل مع المنتج المراد إنتاجه.
- يمكن لهذه المثبطات أن تعوق التفاعل المراد إجراؤه في الوحدة الإنتاجية.

8.5 أضرار التآكل : [22-23-28]

1- تغير الأبعاد وفقدان الخواص الميكانيكية:

يؤدي التآكل إلى فقدان الوزن بسبب انحلال المعدن وبالتالي إلى تغير أبعاده، لذلك تعطى في الغالب بعض السماحات لتعويض الفقد الناتج عن التأكل عند التصميم وتكون هذه السماحات أكثر سمكاً في الأوساط التي يكون فيها معدلات التآكل عالية منها في الأوساط التي يكون فيها معدلات التآكل منخفضة. ولتغير أبعاد القطعة المعدنية بسبب التآكل تأثير في الخواص الميكانيكية حيث تقل قابليتها لتحمل الأحمال الخارجية أي تزداد قابليتها للتشويه اللدن والتشويه المرن. إن استخدام المعدن في أوساط مساعدة على التآكل يؤدي إلى انخفاض قيم العديد من الخواص الميكانيكية وخصوصاً مقاومة المعدن للتعب ونشوء التشققات التي تؤدي إلى حصول الكسر الهش السريع.

2- أهم الأضرار الاقتصادية لعملية التآكل:

- ضرورة استبدال الوحدات والمعدات المتآكلة بأخرى سليمة، وما يصاحب ذلك من فقد العديد من ساعات الإنتاج اضافة إلى تكاليف الاستبدال.
- فرط التصميم أي استخدام مزيد من مواد الأنشاء والتشييد عما هو مطلوب لتحمل الإجهادات الميكانيكية تحسباً من عملية التآكل وما يتبع ذلك من زيادة في كمية المواد الأولية مما يؤدي إلى ارتفاع التكاليف.
- ضرورة تطبيق الصيانة الدورية وهذا يتطلب تكاليف مستمرة.
- تداخل نواتج عملية التآكل مع المنتج الرئيسي مما يؤدي إلى تغيير في المنتج النهائي.
- تعرض الوحدات المجاورة للدمار نتيجة انهيار الوحدات المتآكلة.

3- الأضرار الاجتماعية فتتلخص فيما يلي:

- إن الانهيار المفاجئ للوحدات الصناعية والأنابيب بفعل التآكل قد يتسبب في اشتعال النيران وحدوث الحرائق ووقوع الانفجارات وإطلاق الأبخرة والمواد السامة مما قد يؤدي إلى وقوع العديد من الإصابات والوفيات.
- إن تسرب المواد من الأنابيب المتآكلة يؤدي إلى تلوث البيئة وتعرض الصحة العامة للخطر.

- إن إعـادة بنـاء وتشـييد أنابيـب جديـدة بـدلاً مـن المتآكلـة يسـتوجب اسـتنفاذ المصـادر الطبيعيـة لهـذه الفلـزات كمـا يتطلـب اسـتهلاك كميـات كبيـرة مـن الوقـود لتصـليح هـذه الوحدات.

وأخيـراً إن أيـة دراسـة أو معالجـة أساسـية لظـاهرة التآكـل يجـب أن تأخـذ بعـين الاعتبـار ثلاثـة أمور لا يمكن تجاوزها وهي:

1- خصوصيات بنية المعدن والتي تتعلق ببنيته وتركيبه.

2- طبيعة الوسط الذي سيتواجد به المعدن إذ أنه يجب معرفة الطبيعة الكيميائية لهذا الوسط والمواد الأكالة والشوائب الضارة والضغط ودرجة الحرارة بالإضافة إلى سرعات الجريان والتصادم مع سطح المعدن....الخ.

3- التفاعلات الكيميائية المحتملة بين سطح المعدن ومكونات الوسط المحيط به.

فمن خلال هذه الاعتبارات يمكن أن نستنتج بأن الآلية الدقيقة لتآكل المعادن معقدة جداً، وإن فهم ومعرفة الظواهر المختلفة في هذا المجال تتطلب تداخل العديد من فروع العلوم النظرية والتطبيقية.[22]

الفصل الثاني
تقنيات مراقبة التآكل الداخلي

الفصل الثاني
تقنيات مراقبة التآكل الداخلي

1.2 مقدمة :

تختلف تقنيات المراقبة الداخلية للتآكل عن أغلب تقنيات المراقبة للعوامل الأخرى بأنّها الأكثر تعقيداً وذلك بسبب:

- اختلاف أنواع التآكل وأشكاله.
- يمكن أن يكون التآكل منتظماً في بعض المناطق ومركزاً في مناطق أخرى على شكل حفر.
- يمكن أن يكون معدل التآكل العام منتظم نسبياً على مسافات قصيرة.
- لا يوجد تقنية قياس واحدة يمكن أن تحيط بكل ظروف التآكل الداخلي.[40]

يسبب التآكل الداخلي فشل مأساوي في المنشآت النفطية والذي يمكن أن يضع حياة البشر في خطر داهم إضافة إلى أن التحطم الفجائي يؤدي إلى مخلفات تسبب الضرر الكبير بالبيئة ويكلف الضياع بالوقت والأموال. [36]

تستخدم تقنيات الفحص المتعددة عادة لتقدير مدى وثوقية نظام العمل وللتأكيد على فعالية وأمان العمليات الجارية، حيث يمكن أن تقسم تقنيات الفحص إلى مجموعتين هما: الفحص البصري الداخلي والفحص اللاإتلافي الدقيق.

يتضمن الفحص البصري إخراج جزء من المواد المختبرة أو كل المادة المختبرة لتقدير حالة السطوح الداخلية لنظام الأنابيب أو المعدات، لكن تكون هذه الطرق أعلى تكلفة وتتطلب زمناً طويلاً، وقد تتطلب هذه المجموعة في بعض الأحيان تقنيات فحص إضافية لتقدير حجم الفشل الحاصل مثل استخدام تيارات إيدي الإعصارية أو السوائل النفوذة للتعرف على الشقوق على السطوح المعدنية. [37]

يجرى الفحص البصري للتآكل الداخلي بدون إزالة العزل الخارجي وذلك للكشف عن العيوب على السطح الداخلي للمعدن عن طريق الأجزاء المعدنية التي تدخل في مقطع الأنبوب وبذلك تعطي صورة داخلية لطبيعة السطح الداخلي. [38]

بينما المجموعة الثانية اللاإتلافية فلها أنواع متعددة يمكن استعمالها لتقدير التآكل الداخلي مع إزالة محدودة للعازل الخارجي المحيط بالأنبوب، حيث تحدث معظم الفحوصات الداخلية – باستثناء الفحص بالأمواج فوق الصوتية – عندما يوقف العمل بمحطة الإنتاج النفطي لسبب أو لأخر حيث تكون نقاط الخطر باستقرار كامل والنظام متوقف بالكامل.

هذه الطرق لا تغطي كامل التآكل الداخلي للأنبوب حيث تستعمل في مناطق ونقاط محددة فقط، كذلك لا يمكن استعمال هذه الطرق على بعض الأجزاء في ظروف خاصة، بالمقابل حصل تطور كبير في السنوات القليلة الماضية على هذه الطرق لتناسب كافة السطوح المعدنية. [39]

ويكون الهدف من استخدام تقنيات مراقبة التآكل الداخلي موضحة بالتالي:

1- لإعطاء فكرة مبكرة عن الضرر نتيجة التآكل في المناطق الاستراتيجية.

2- للتعريف بالمناطق حيث ينبغي تغيير التصميم أو تغيير المادة نفسها.

3- للمساعدة في الوصول إلى أفضل معالجة للتآكل.

4- للكشف عن فعالية الطرائق المستعملة للحد من التآكل.[34]

2.2 بعض تقنيات الكشف عن التآكل الداخلي:

هناك بشكال عام عاملين أساسيين للدلالة على عملية التآكل وهما:

1- تغير في المادة الإنشائية.

2- تغير في طبيعة الوسط.

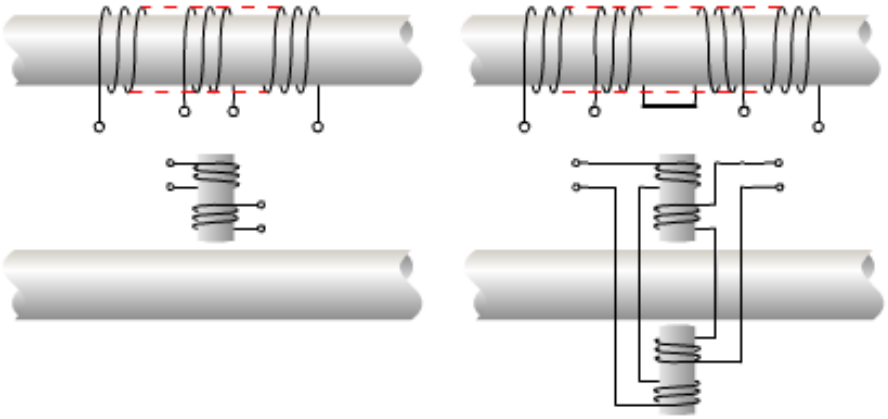
ويمكن تصنيف تقنيات الكشف عن التآكل الداخلي وفق ما يلي:

1.2.2 التحليل الكيميائي:

يستعمل التحليل الكيميائي لتقدير معدل التآكل في العمليات الاعتيادية ويعطي معلومات عن نسبة شوارد الأملاح وكميات الحديد الموجود مما يدلل على وجود التآكل الداخلي. [34]

2.2.2 الفحص بتيارات إيدي الإعصارية (Eddy Current):

تستعمل هذه الطريقة لقياس سماكة الجدار المعدني، حيث يوضع في هذه الطريقة وشيعة من نوع خاص على سطح الأنبوب و ترسل تيارات إيدي بترددات ضعيفة منتجة حقل مغناطيسي داخل الفولاذ، تنتشر تيارات إيدي داخل المعدن ويتبدد جزء منها حتى تصل للسطح الخلفي لتصطدم به و تنعكس بسرعة أكبر، فتقوم الوشيعة المستقبلة بحساب الزمن اللازم لارتدادها ومنه نحسب سماكة جدار الأنبوب عندها يمكن الحصول على مقدار التآكل الداخلي من سماكة المعدن، ويبين الشكل (2-1) آلية التيارات الدوامية ويظهر الشكل (2-2) استخدام هذه التقنية. [42-41-39]



الشكل (2-1): شكل توضيحي لتقنية إيدي الإعصارية [42]

الشكل (2-2):استخدام تقنية إيدي الإعصارية [47]

3.2.2 المجسات القطبية الخطية:

تستعمل هذه الطريقة عن طريق مجسات مغموسة في الوسط الموصل للتيار وهو الماء المرافق للنفط الخام، ويكمن الهدف منها في قياس المقاومة القطبية ومنه الوصول إلى قيمة لحظية لمعدل التآكل، وذلك انطلاقاً من المعادلة التالية:

$$R_P = \Delta E / \Delta i \qquad [34]$$

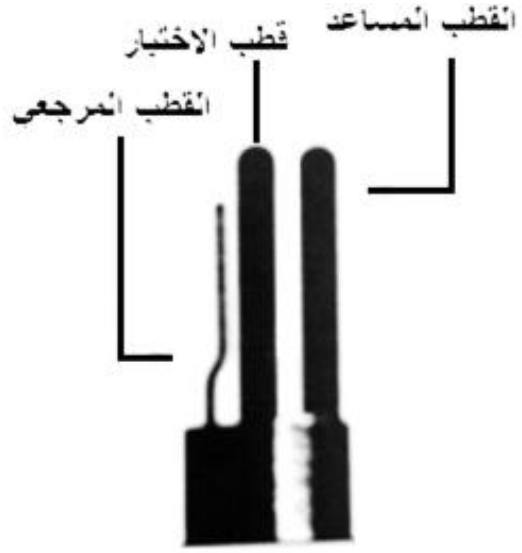
حيث :

R_P المقاومة القطبية

ΔE فرق الجهد وتكون أقل من 10 mv

Δi التيار المار

فبالقرب من المنطقة المعرضة للتآكل الداخلي تصبح العلاقة بين التيار والتوتر قريبة من الخطية وتدعى بالمقاومة القطبية ويتم عن طريق برنامج خاص ربط المعطيات وتحويلها إلى قيمة تدل على معدل التآكل، ويظهر في الشكل (2-3) هذا الجهاز. [34]

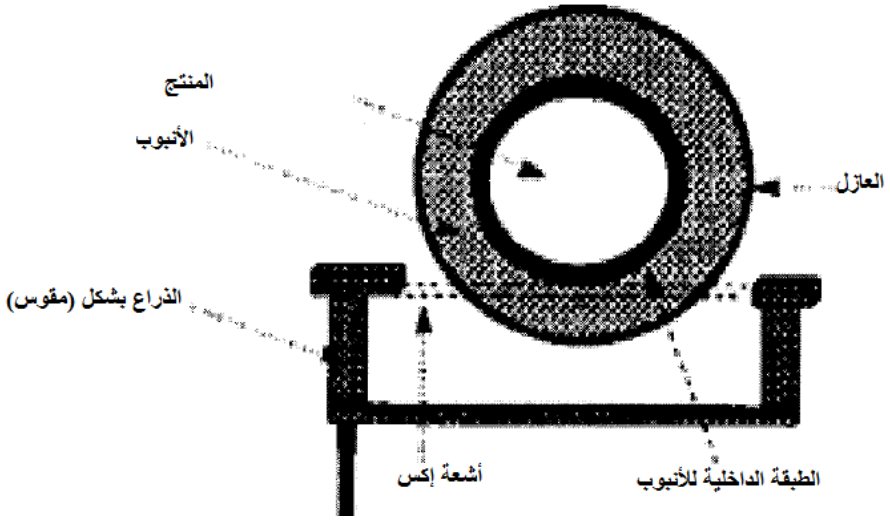


الشكل(2-3): أقطاب طريقة الفحص بالمجسات القطبية الخطية [34]

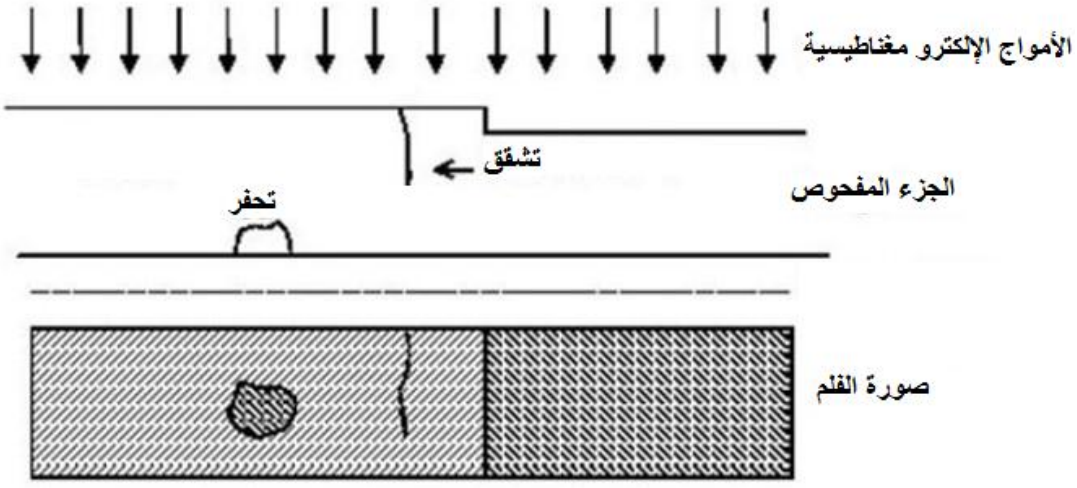
4.2.2 التصوير الشعاعي بالأمواج الإلكترو مغناطيسية:

تتضمن هذه الطريقة أداة تشع أمواج الكترو مغناطيسية حيث تنتج حزم من الأشعة بطاقة عالية، والتي تخترق الأنظمة العازلة لتصوير جدار الأنبوب حيث يظهر من خلال شاشة خلال الفحص. يستخدم

حديثاً ذراع بشك حرف (C) كما يظهر في الشكل (2–4) والذي يستخدم لتصوير الأنابيب المعزولة حيث تولد الأشعة في الطرف الأول للذراع وتستقبل في الطرف الثاني، هذا الشكل يمكّن الفاحص من تحريك الذراع مع استمرار عملية المراقبة عبر الشاشة ويعطي صورة فيديو يحتفظ فيها مع إمكانية فحص منطقة كبيرة بزمن قصير. يعطي هذا النظام نتائج جيدة لفحص الأنابيب حتى 24 إنش إلا أن سيئاته تكمن في الحاجة إلى متسع حول الأنبوب لتوضع الذراع، ويبين الشكل (2–5) التصوير والعيوب المكتشفة بهذه الطريقة. [36–37]



الشكل (2–4): آلية الفحص بأشعة عالية الطاقة [37]

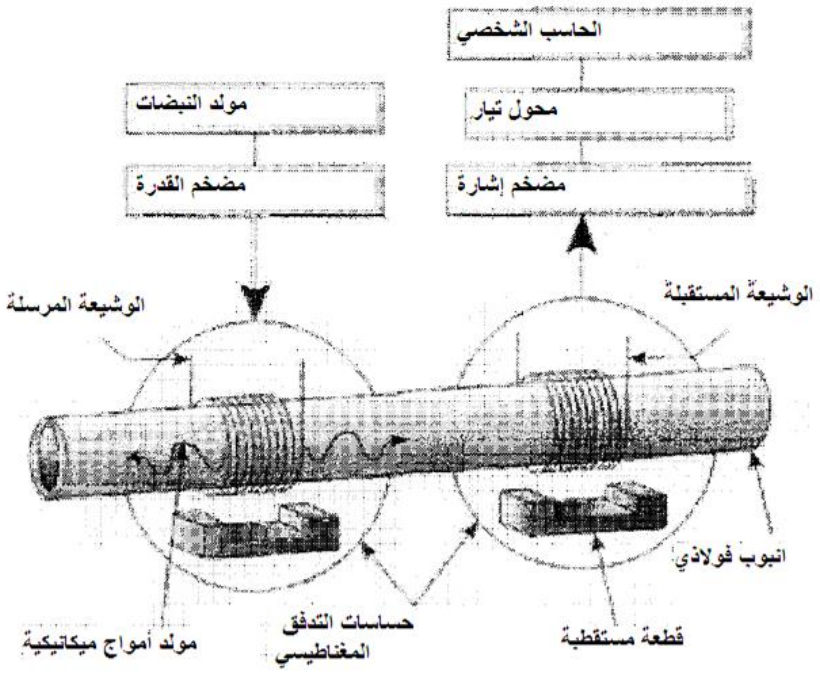


الشكل (2–5): التصوير بالأمواج الإلكترو مغناطيسية [45]

5.2.2 تقنية التدفق المغناطيسي:

تستخدم هذه التقنية لفحص الأنابيب الطويلة عبر تدفق أمواج مغناطيسية موجهة عبر الأنبوب، حيث تكون الوشيعة المستقبلة متوضعة على مسافة ثابتة بالنسبة للوشيعة المرسلة، و يعبر التغير في الموجة عن تغير سماكة الجدار أو تغير شكله.

المسافة التي يمكن أن تقطعها الأمواج تعتمد على قطر الأنبوب وعلى معدل التآكل فإذا كان معدل التآكل كبير تكون المسافة التي تقطعها الأمواج قصيرة. يبين الشكل (2-6) هذا النظام والأجهزة المرافقة لفحص الأنبوب، حيث يظهر في الشكل آلية هذه الطريقة.[36]

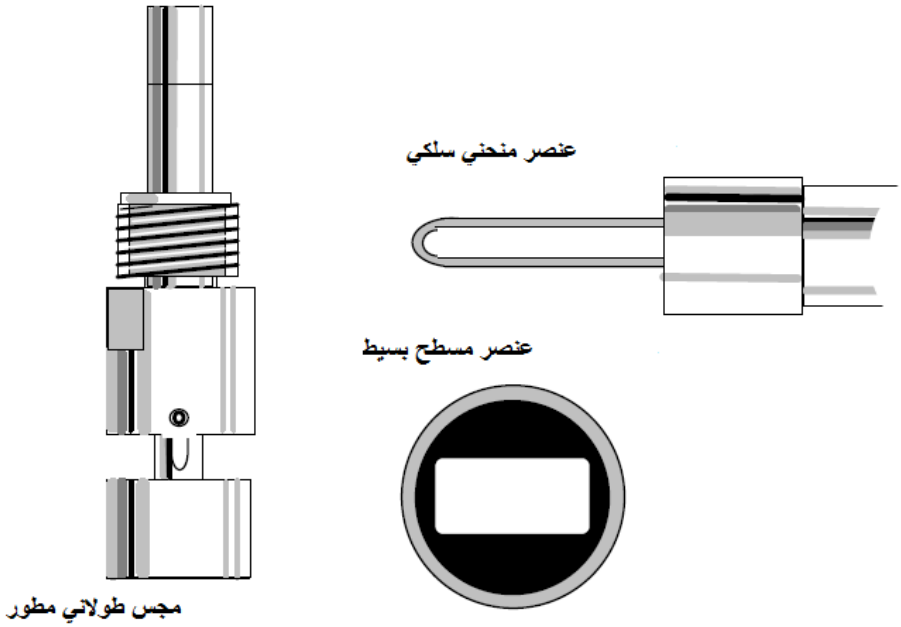


الشكل (2-6): الفحص بالتدفق المغناطيسي [43]

6.2.2 تقنية المقاومة الكهربائية:

تنتشر هذه التقنية بشكل واسع حيث تتضمن تحديد التغير في مقاومة المعدن عندما يتآكل، يؤدي تأثير التآكل على العنصر إلى تخفيض مساحة نقل التيار وبالتالي زيادة المقاومة الكهربائية، فعندما يكون شكل العنصر على هيئة أنبوب أو صفيحة يكون التغير في المقاومة الكهربائية متناسب مع معدل التآكل، والذي يحصل عليه من خلال القراءات المتتابعة للجهاز حيث يتم من خلالها الحصول على معدل التآكل العام.

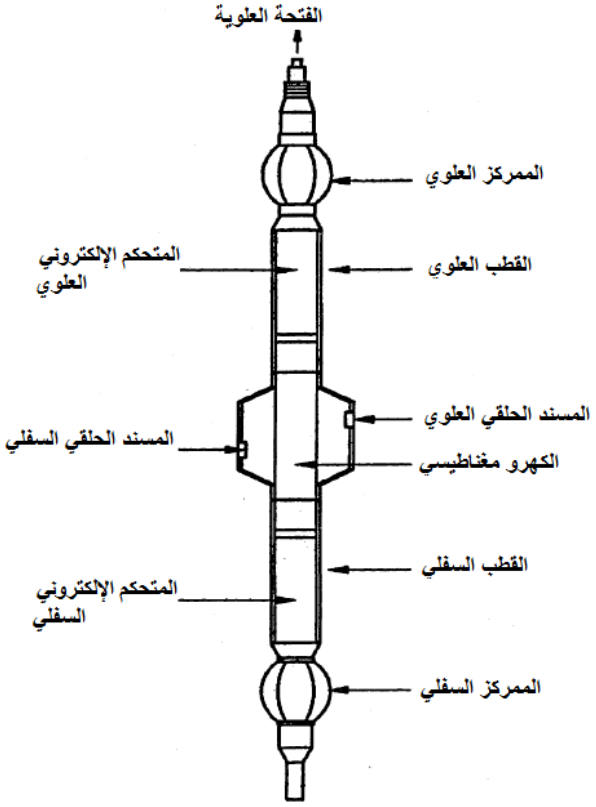
مجسات هذه الطريقة تكون عادة صلبة ومتأقلمة مع الظروف المحيطة، تتميز هذه التقنية بالسرعة وإمكانية العمل في أوساط السائل و الغاز. يظهر الشكل (2–7) بعض أنواع المجسات المستخدمة في هذه التقنية.



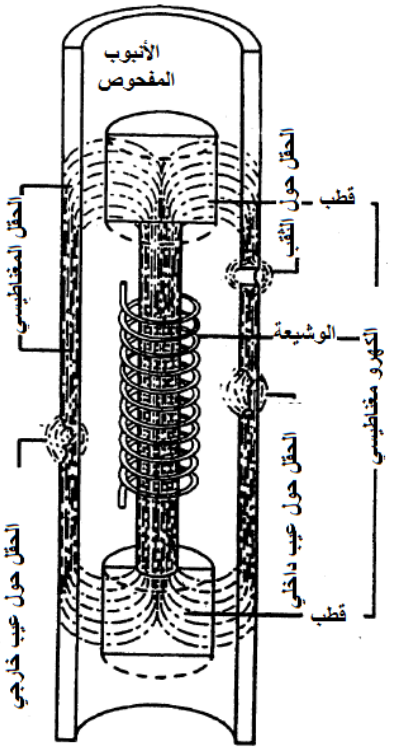
الشكل (2–7) بعض أنواع مجسات طريقة المقاومة الكهربائية

7.2.2 تقنية تسرب التدفق الكهرو مغناطيسي:

تتكون من مسبار يولد تيار كهربائي مستمر على السطح والذي يحقن ضمن الوشيعة الكهرو مغناطيسية، هذا التيار يولد حقل مغناطيسي منتظم ضمن الوشيعة والذي يخترق الفجوة الهوائية داخل الأنبوب باتجاهين ليسري ضمن الأنبوب، ففي المناطق التي لا تحتوي على عيوب داخلية تكون خطوط الحقل منتظمة أما في المناطق المعيبة فيحصل تسرب في الحقل وتصبح خطوطه غير منتظمة، وبالتالي يمكن بواسطة مستشعر خاص للحقل المغناطيسي تحديد أماكن العيوب. يظهر الشكل (2–8) الجهاز المستخدم والشكل (2–9) يبين آلية هذه الطريقة في الكشف عن العيوب. [46]



الشكل (2-8): مولد التيار الكهربائي المستمر [46]



الشكل (2-9): تقنية الفحص بالحقل المتسرب [46]

8.2.2 الفحص عن طريق الوزن المفقود من شرائح الاختبار:

تعتبر هذه الطريقة من أكثر وأقدم الطرق المستعملة لمعرفة معدل التآكل الداخلي للأنابيب ولمعرفة تأثير العوامل البيئية المختلفة على الخواص المميزة للمعدن خلال فترة معينة. تستلزم هذه الطريقة ادخال شريحة معدنية معروفة الوزن من نفس المعدن المصنوع منه الأنابيب، وذلك لفترة زمنية محددة تخرج بعدها الشريحة حيث يعمل على تنظيفها من البقايا الملحية والهيدرو كربونية ثم يصار إلى وزنها لمعرفة كمية المعدن المفقود، ويحسب معدل التآكل الداخلي مقدراً بجزء من الألف جزء من الإنش بالسنة (mpy) من خلال المعادلة (1):[34]

$$CR = \frac{[(W1 - W2) * 365]}{S * \rho * (T2 - T1) * 0.00254}$$

حيث:

CR : معدل التآكل الداخلي [mpy].

$W1$: وزن الشريحة المعدنية عند وضعها [g].

$W2$: وزن الشريحة المعدنية بعد النزع [g].

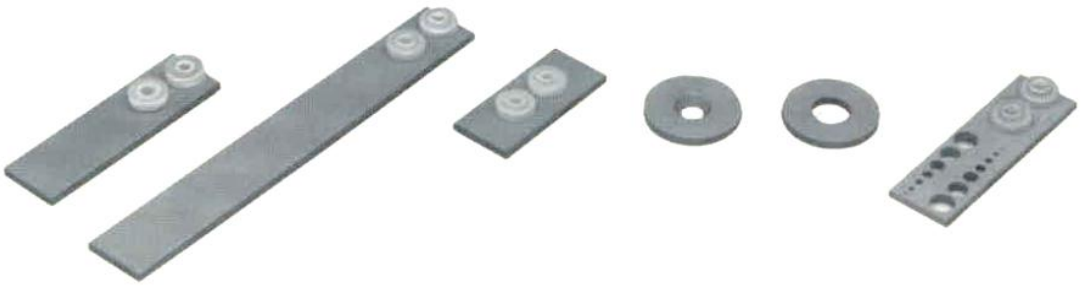
S : المساحة السطحية للشريحة المعرضة للتآكل [cm^2].

ρ : كثافة المادة المصنوعة منها الشريحة المعدنية [g/cm^3].

$T1$: تاريخ وضع الشريحة [day].

$T2$: تاريخ نزع الشريحة [day].

يمكن أن تكون هذه الشريحة المعدنية بشكل قرص، قضيب، صفيحة أو أي شكل آخر يناسب العملية والمكان، كما هو مبين بالشكل (2−10). [44−34]

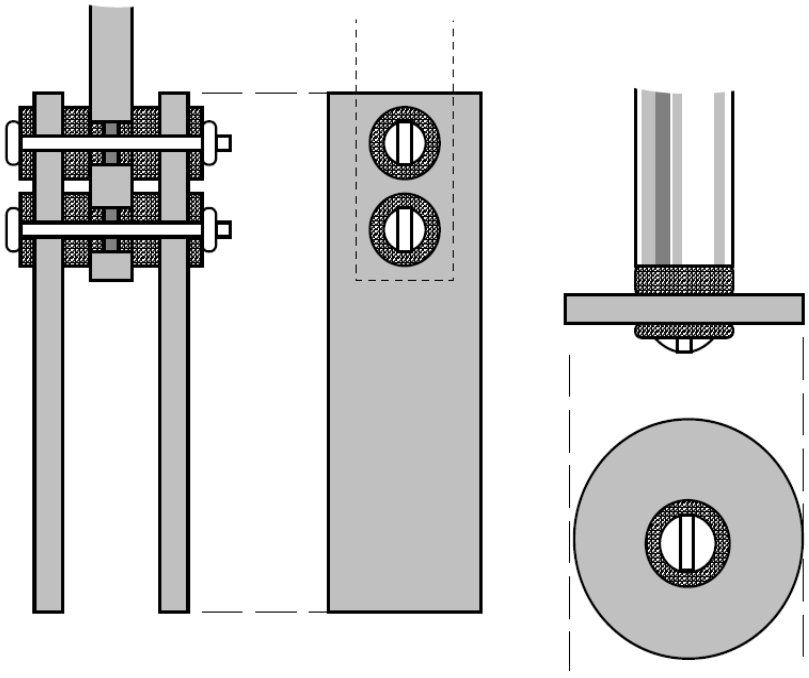


الشكل (2−10): أشكال شرائح الاختبار [40]

تكون هذه الشرائح مثبتة على حوامل مختلفة الأطوال بواسطة براغي وصواميل تفصل بينها وبين شرائح الاختبار عوازل بلاستيكية منعاً للتلامس الذي قد ينشأ عنه خلية غلفانية مما يؤدي إلى الإضرار بنتائج الاختبار.

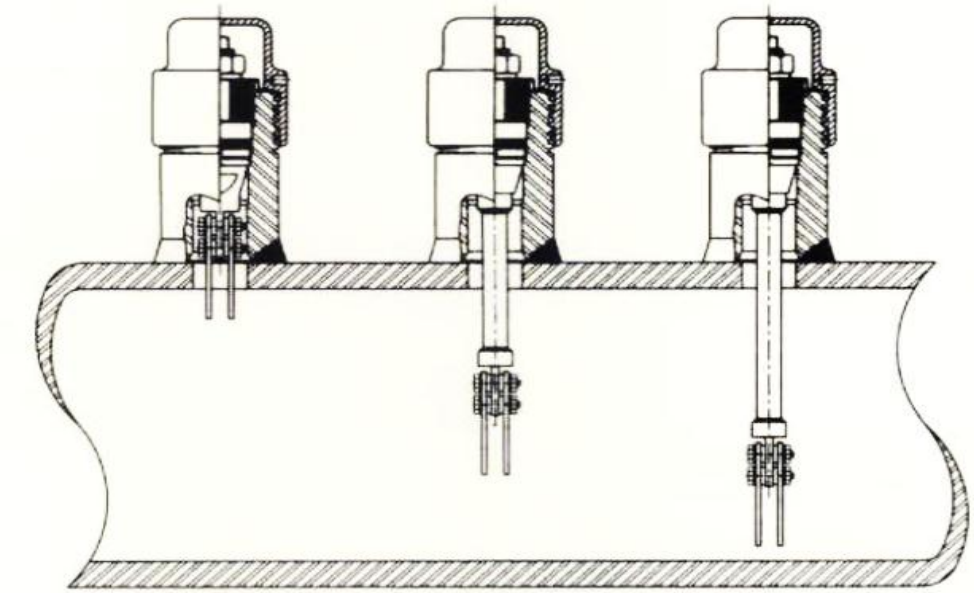
يبين الشكل (2-11) حامل شريحة الاختبار، بينما يوضح الشكل (2-12) تركيب شرائح الاختبار على الحوامل باستخدام براغي مفصولة عن جسم الشريحة المعدنية بعوازل بلاستيكية منعاً لتشكيل خلية غلفانية بين الشريحة والبرغي.

الشكل (2-11): حامل شريحة الاختبار [40]



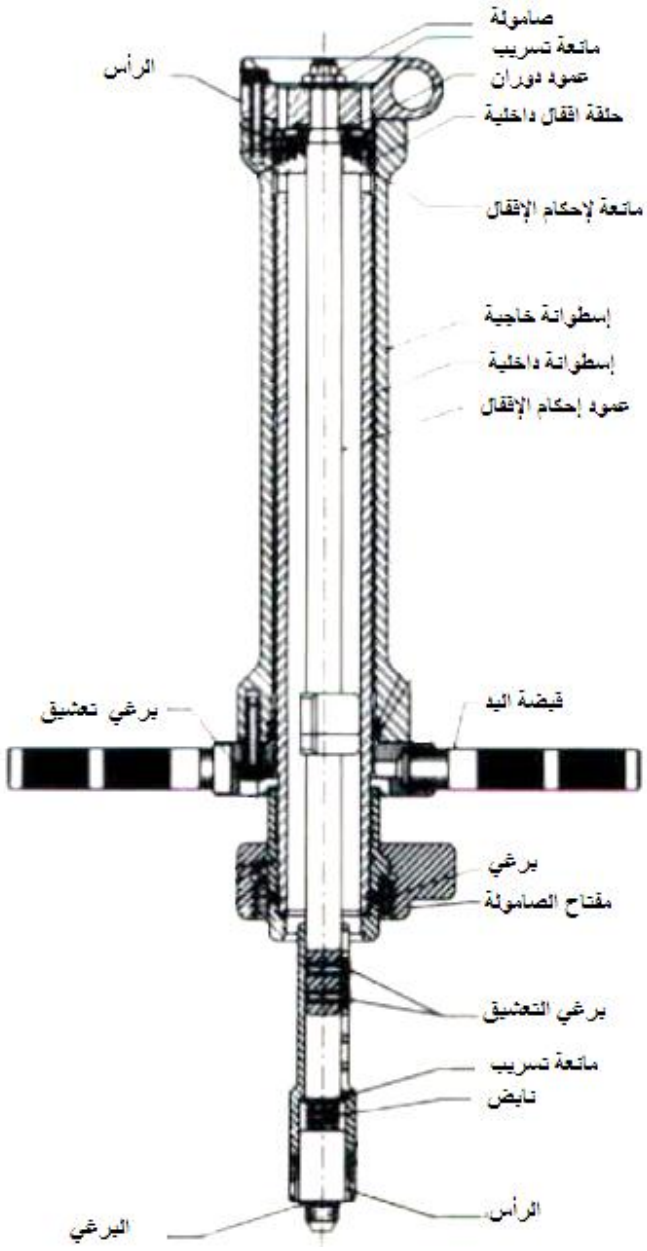
الشكل (2-12): تركيب شرائح الاختبار [44]

وتتوضع هذه الشرائح ضمن الأنبوب بحيث تلامس الجزء المراد حساب تأثيره على معدل التآكل ويكون بالغالب إما الغاز المتوضع في الجزء الأعلى من الأنبوب أو الماء المتوضع في الجزء الأسفل والذي يعتبر الوسط الأشد عدائية لما يحتويه من أملاح وشوارد. ويبين الشكل (2-13) نماذج التوضع ضمن الأنبوب.



الشكل (2-13): توضع الشرائح المعدنية ضمن الأنبوب

يمكن أن يتم توضع شريحة واحدة على الحامل أو شريحتين حسب الموضع والدقة المطلوبة. تتطلب هذه الطريقة عمليات يدوية دقيقة ومكلفة في وضع ونزع الشرائح المعدنية في عملية واحدة مستمرة دون حدوث أي توقف في جريان النفط الخام، وذلك لأسباب اقتصادية لا تسمح بتوقف الإنتاج، ويبين الشكل (2-14) أداة وضع الشرائح ونزعها والتي تتألف من اسطوانتين متداخلتين تحمل الداخلية رأس التعشيق مع الصامولة المثبت عليها حامل شريحة الاختبار.[40]

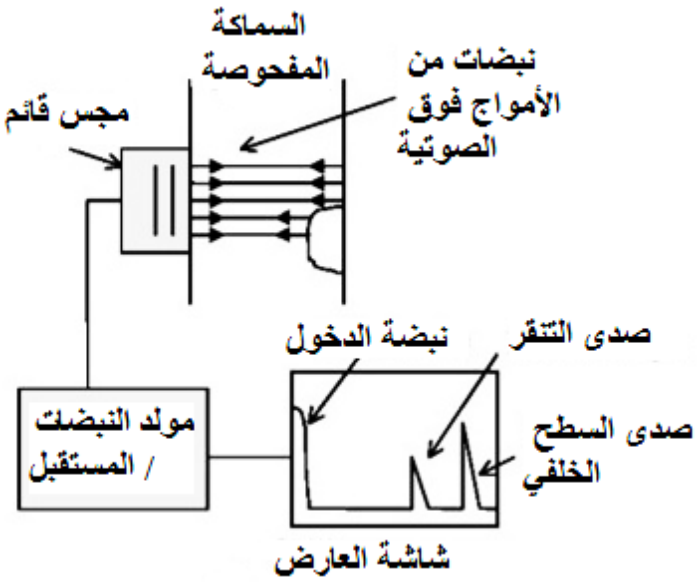


الشكل (2-14): أداة نزع الشريحة المعدنية [40]

9.2.2 الفحص بالأمواج فوق الصوتية:

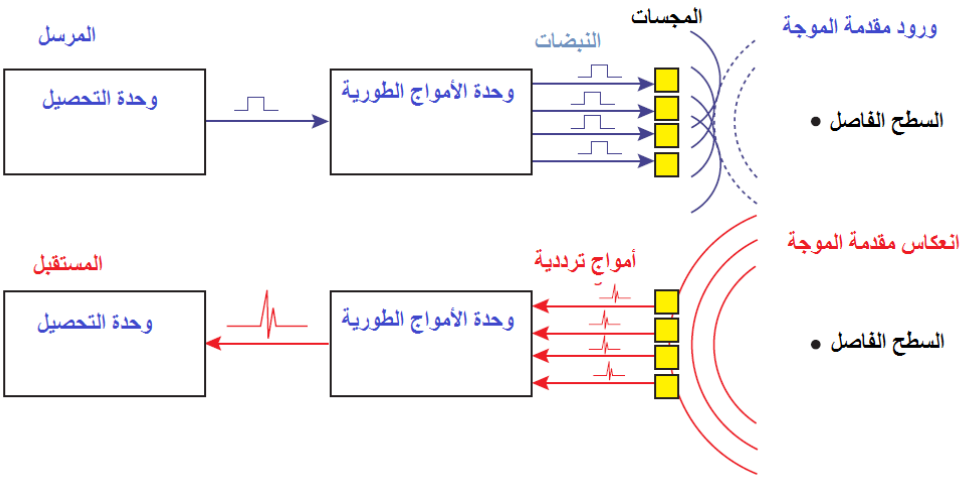
تستخدم هذه الطريقة أمواج اهتزازية (أمواج مرنة) بترددات MHz 20 – 0.5 وهي أعلى مما يستطيع الإنسان سماعه. تنتشر هذه الأمواج بشكل سهل للغاية في الوسط السائل والصلب، لكنها لا تنتشر في الطور الغازي. عندما تنتشر هذه الأمواج في الوسطين الصلب والغازي ترتد بزاوية قليلة، فعند وصول الأمواج فوق الصوتية إلى السطح الخلفي للسماكة المفحوصة فإنها تنعكس. تنعكس النبضات أيضاً

عند سطوح العيوب الموجودة داخل المعدن، يبين الشكل (2-15) المبدأ العام للأمواج فوق الصوتية.[45]



الشكل (2-15): مبدأ الأمواج فوق الصوتية [45]

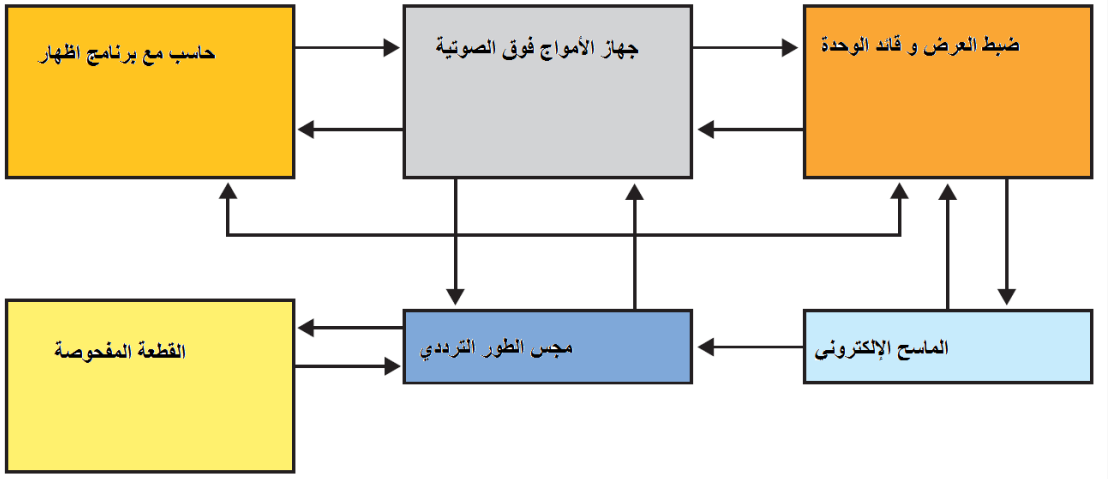
حيث يمكن أن تكون جبهة الأمواج متأخرة زمنياً أو متواقتة في الطور بنفس طريقة تكوين الحزمة، هذه الجبهة تعتمد على التركيب التداخلي، وتنتج حزمة الأمواج فوق الصوتية المركزة وبطاقة مرتفعة. يظهر المخطط التالي التأخير للأمواج عند مقدمة الأمواج و إرسالها واستقبالها وفق ما هو مبين بالشكل (2-16).[48]



الشكل (2-16): إرسال واستقبال الأمواج فوق الصوتية [48]

الوقت اللازم للأمواج لتنتقل خلال السماكة ثم ارتدادها لتعود إلى المجس يظهر غالباً على شاشة العرض قمم تعبر عن الارتداد عن السطوح الفاصلة يمكن من خلالها الحصول على المسافة الفاصلة بين السطحين.

يبين المخطط التالي والموضح بالشكل (2-17) العناصر الضرورية لنظام مسح العيوب الأساسي مع التجهيزات الطورية الدقيقة.



الشكل (2-17): المخطط الصندوقي لتجهيزات الأمواج فوق الصوتية [48]

تقوم أهمية تقنية الفحص بالأمواج فوق الصوتية على التالي:

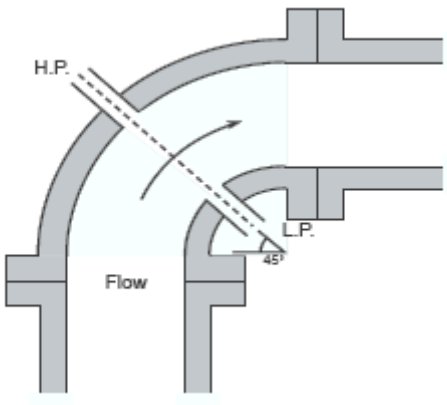
- تقليل الزمن اللازم للفحص وبالتالي زيادة الإنتاجية.
- ازدياد وثوقية المسح الخارجي للعيوب الداخلية.
- تقليل الاعتماد على الطرق الإشعاعية.
- سهولة الوصول إلى النتائج المطلوبة.
- إمكانية الكشف عن الشقوق عشوائية الاتجاه بأعماق مختلفة في الموضع نفسه بمجس واحد وعند توضعه بمكان واحد.
- يمكن استخدامه لأنواع مختلفة من المعادن.
- ازدياد الدقة في تحديد العيب، قياسه، موضعه، وتوجهات العيوب الحرجة. [48-49]

تتميز هذه التقنية بالمميزات التالية:

- السرعة: تعدّ هذه الطريقة من أسرع الطرق إذا ما قورنت بتقنيات التصوير المسحي عن العيوب الداخلية الأخرى.
- المرونة: حيث يستطيع مجس واحد القيام بعدة تطبيقات في آن واحد.
- التحميل الإلكتروني: يتمثل التحميل بالملفات و المقاييس التي يتطلبها البرنامج حيث يتم ادخال العوامل المختلفة بسهولة.
- قياسات المجسات الصغيرة: حيث لبعض التطبيقات ذات المداخل الصغيرة يتطلب الأمر استخدام مجسات صغيرة والتي تحققها هذه الطريقة.
- اجراء الفحوصات المعقدة: حيث يمكن اجراء الفحوصات للعيوب الداخلية للوصلات اللحامية أو مناطق التأثر الحراري بالإضافة إلى المناطق الخاصة كالفوهات.
- الكشف عن العيوب بموثوقية عالية.
- إمكانية تصور شكل العيب في بعض أنواع أجهزة الأمواج فوق الصوتية. [51-50]

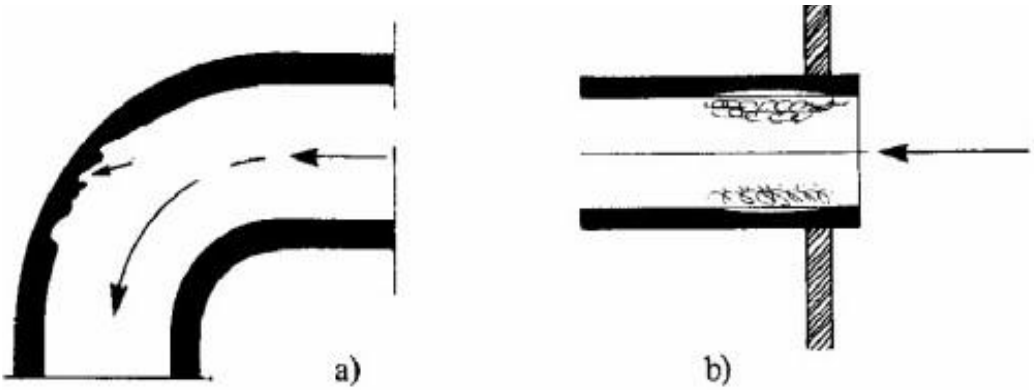
-استخدام الأمواج فوق الصوتية للكشف عن التآكل الداخلي في الأكواع:

يتم استخدام الأمواج فوق الصوتية لفحص مواقع الخطر وبشكل مباشر من خلال قياس سماكة جدار الأنبوب، حيث يتم التركيز على مناطق تغير الجريان وعلى وجه الخصوص عند الأكواع. تؤدي القوة الطاردة المركزية المتولدة عن الجريان للسوائل ضمن الأكواع إلى ظهور منطقة ضغط مرتفع على الوجه الخارجي من الكوع وضغط منخفض على الوجه الداخلي وبالتالي تدرج في سرعة السائل أيضاً، كما هو مبين بالشكل (2-18).[52]



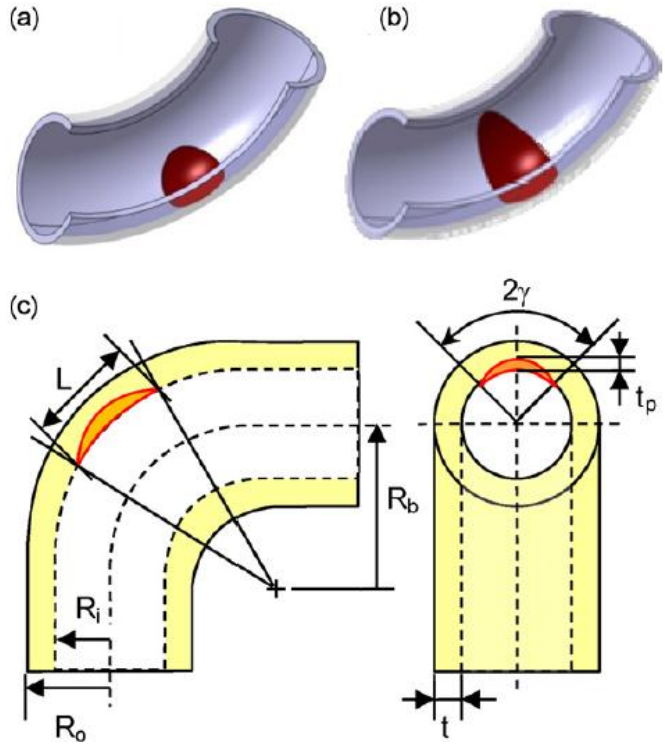
الشكل (2-18): الجريان خلال الكوع [48]

فعندما يحدث تماس بين الجزيئات الأكالة المتحركة وسطح المعدن، فإن السطح المعدني يتأثر بقوى ميكانيكية تؤدي إلى زيادة أحد أنواع التآكل والذي هو التآكل الحتي، ويظهر ذلك مكان تصادم السائل مع سطح المعدن الداخلي أو عندما يغير السائل اتجاهه، كما يظهر في الشكل (2–19) حيث يبين التآكل الحتي عند بداية الدخول إلى المجرى وعند نقطة التصادم في الأكواع. [45]



الشكل (2–19): التآكل الحتي في مناطق التصادم [45]

تقوم الشركات المصنعة وبعض معاهد الدراسات بدراسة منطقة الاصطدام بين السائل والسطح المعدني ووضع الأبعاد الموضحة لذلك، ويظهر في الشكل (2–20) أبعاد المنطقة الخطرة حسب دراسة لكوع موصول على خط أنابيب يجري بداخلها سوائل ذات طبيعة مشعة بسرعات مختلفة.



الشكل (2–20): منطقة الخطر المفترضة [54]

الفصل الثالث
العمل التجريبي

الفصل الثالث
العمل التجريبي

1.3 المواد المستخدمة:

تم في هذا البحث استخدام قطع من أنابيب النفط وشرائح معدنية من نفس نوع المعدن المستخدم في صناعة أنابيب النفط الموجودة في حقل الجفرا والتابعة لشركة دير الزور للنفط، وقد تم إجراء الاختبارات التالية على عينات من الأنابيب لمقارنتها بالمواصفة المعتمدة من قبل شركة توتال للنفط وهي **GS EP PLR 201** الأنابيب [55].

1.1.3 اختبار التحليل الكيميائي:

تم اجراء التحليل الكيميائي على عينتين وفي ثلاث نقاط باستخدام جهاز التحليل الطيفي (SPECTRO MAXx) المبين بالشكل (1.3) وذلك لمعرفة نسب العناصر الداخلة في تركيب سبيكة المعدن المدروس ومطابقتها للمواصفة المذكورة.

الشكل (1.3): جهاز التحليل الطيفي.

2.1.3 اختبار القساوة:

تم اجراء اختبار القساوة بطريقة فيكرز للتأكد من صلادة معدن الأنابيب بالنسبة للمواصفة.

3.1.3 اختبار الشد:

تم اجراء اختبار الشد على عينتين من معدن الأنابيب للتأكد من مطابقة المعدن للمواصفة.

2.3 حساب معدل التآكل الداخلي بطريقة الوزن المفقود:

يتم حساب معدل التآكل بطريقة الوزن المفقود بشكل عام وفق ثلاث مراحل:

1. الوزن الأولي للشريحة الاختبارية من مادة الأنبوب.
2. تمرير المادة المسببة للتآكل على الشريحة تحت ضغط ودرجة حرارة المادة.
3. الوزن النهائي للشريحة الاختبارية بعد انتهاء وقت الغمس وحساب معدل التآكل الداخلي.

1.2.3 اختبار الوزن المفقود على خطوط الحقل العاملة:

يتم العمل وفق الخطوات:

1. وزن الشريحة الاختبارية (الكوبون):

حيث يتم الوزن بموازين ذات حساسية عالية (جزء من عشرة ألاف من الغرام الثقلي).

2. وضع ونزع شرائح الاختبار المعدنية:

توضع الشرائح المعدنية الاختبارية **(coupon)** وكما ذُكر سابقاً ضمن أنبوب نقل النفط الخام المستخرج بحيث تلامس الطور المراد حساب معدل التآكل عنده. يرافق النفط المستخرج الغاز الموجود في الطبقة الخازنة للنفط والماء المشبع بالشوارد الملحية على شكل مستحلب والذي يعتبر الوسط الأشد عدائية تجاه معدن الأنبوب.

تبدأ هذه الدراسة بعملية نزع الشرائح المعدنية حيث تتطلب هذه الطريقة عمليات دقيقة باستخدام أداة تم الإشارة لها مسبقاً لوضع ونزع الشرائح المعدنية. يجري النزع في عملية واحدة مستمرة على خطوط الأنابيب التي يمرّ فيها النفط الخام دون توقف الجريان للحفاظ على الإنتاجية، وتتم العملية وفق التسلسل التالي :

أ- نزع الغطاء الخارجي الحامي لصامولة حامل الشريحة المعدنية والذي يستخدم للحماية الخارجية من العوامل الجوية، كما يبين لنا الشكل (2.3) الغطاء قبل النزع بينما يظهر في الشكل (3.3) الصامولة وسدادتها.

الشكل (2.3) غطاء حامي الصامولة.

الشكل (3.3) نزع غطاء حامي الصامولة.

ب- نزع سدادة الصامولة حيث المكان الذي يجب أن يتعشق رأس الأداة النازعة فيه وفق الشكل (4.3).

الشكل (4.3) نزع سدادة الصامولة.

ت- تركيب جهاز نزع الشرائح المعدنية على الجلبة الخارجية ونزع الشريحة المعدنية.

حيث يتآلف الجهاز نزع الشرائح من:

- صمام الإقفال: والذي يمثل صمام لفصل الحجرة الخلفية عن خط جريان النفط، وبالتالي إمكانية العمل دون توقف العملية، يبين الشكل (5.3) تركيب صمام الإقفال على أنبوب النفط حيث يتعشق مع الجلبة الخارجية.

الشكل (5.3) تركيب صمام الإقفال على خط النفط.

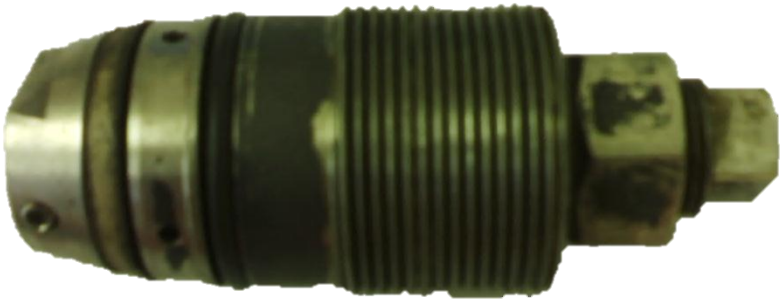
- أنبوب النزع: يتألف من أسطوانتين متداخلتين لإجراء عملية السحب تتحملان ضغوطاً عالية، ترتبط الأسطوانة الداخلية برأس السحب والذي يتعشق مع الصامولة الحاملة لحامل الشريحة المعدنية عن طرق البرغي الموجود في نهايته. يبين الشكل (6.3) تركيب أنبوب النزع على صمام الإقفال وبالتالي أصبح الجهاز جاهزاً لبدء عملية النزع.

الشكل (6.3) تركيب صمام الإقفال على خط النفط.

تتم العملية نزع الشرائح وفق التالي:

يتم تركيب الأداة على الأنبوب عن طرق تعشيق صمام الإقفال مع الجلبة الخارجية، ثم يدفع رأس السحب ليتعشق البرغي الموجود في نهايته مع الصامولة الحاملة لحامل الشريحة المعدنية المبينة بالشكل (7.3) من الداخل ليتم الإمساك بها فقط، ثم يصار إلى فك الصامولة بالكامل عن طريق الأسطوانة الداخلية والتي تكون معشقة من الخارج مع الصامولة عن طريق قلووظ في نهايته ويتم تدويرها عن طريق ذراع خارجي ليصار إلى فكها عن أنبوب النفط، حيث يظهر الشكل (8.3) هذه الآلية. ثم بعد ذلك تسحب الكتلة المؤلفة من الصامولة مع حامل الشريحة والشريحة المعدنية إلى داخل الاسطوانة الخارجية

عن طريق سحبها للخلف. يغلق الصمام وبعد ذلك يعادل الضغط داخل الجهاز مع خارجه عن طريق فتحة تنفيس صغيرة جانبية، ثم تفك أداة النزع عن الصمام الذي يبقى على الخط للحفاظ على الجريان كما في الشكلين (9.3) و(10.3). تنزع بعدها الشريحة المعدنية بفكها عن الحامل وتركب الشريحة المعدنية الجديدة كما في الشكل (11.3)، ليصار بعد ذلك إلى تركيبها وفق عملية عكسية لعملية فكها.



الشكل (7.3) الصامولة الحاملة لحامل الشرائح

الشكل (8.3) تركيب الجهاز على خط النفط وفك الصامولة.

الشكل (9.3) الأداة بعد فكها عن الصمام وبداخلها الصامولة.

الشكل (10.3) صمام الاقفال يقفل خط النفط.

الشكل (11.3) نزع الشريحة المعدنية.

3. التنظيف والوزن:

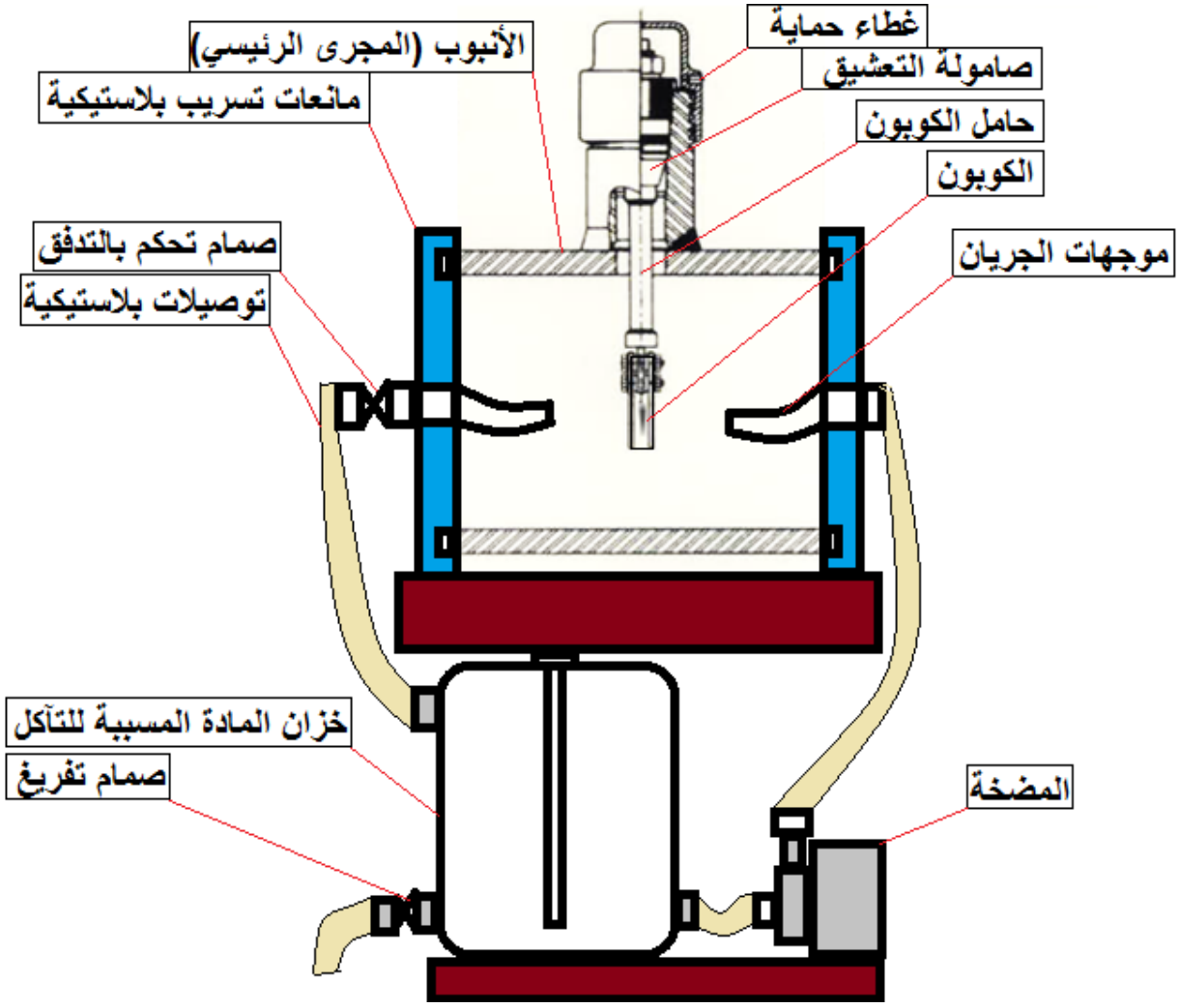
تنظيف الشريحة المعدنية بواسطة محلات للأملاح والبقايا الهيدروكربونية بعد وضعها في حمام تسخين كما في الشكل (12.3) ليتم بعد ذلك وزنها وحساب معدل التآكل الحاصل.

الشكل (12.3) حمام التسخين لتنظيف الشرائح المعدنية.

2.2.3 اختبار الوزن المفقود على جهاز التآكل الكيميائي:

1.2.2.3 مقدمة:

تمّ تصميم وتنفيذ جهاز اختبار التآكل الكيميائي بهدف معرفة تأثير العناصر الكيميائية والفيزيائية المتغيرة على معدل التآكل، بحيث تصبح دراسة كل منها مجتمعة أو منفردة وبحسب ما تقتضي الضرورة أمراً يمكن تطبيقه، وعندها نصل إلى إمكانية معرفة تأثير كل من هذه العوامل على معدل التآكل الداخلي ومن ثم اتخاذ الاجراءات التصحيحية التي تحد من انتشار آفة التآكل ضمن المعدن الذي تتم دراسته. يبين الشكل (13.3) رسماً تخطيطياً لجهاز التآكل الكيميائي، بينما يُظهر الشكل (14.3) الجهاز بعد تنفيذه.



الشكل (13.3) يبين رسم تخطيطي لجهاز التآكل الكيميائي.

الشكل (14.3) جهاز التآكل الكيميائي.

2.2.2.3 أجزاء الجهاز:

يتألف الجهاز من:

- **مجرى أنبوبي أساسي:**

أبعاده: القطر "4، الطول 60 cm، سماكته 0.9 cm

مصنوع من الفولاذ منخفض نسبة الكربون.

- **مجرى أنبوبي قصير:**

أبعاده: القطر "3، الطول 20 cm، سماكته 0.9 cm

مصنوع من الفولاذ منخفض نسبة الكربون. يتصل مع المجرى السابق عند منتصفه ومفتوح عليه، مقلوظ من الداخل للتعشيق مع الصامولة حامل الكوبون، مقلوظ من الخارج للتعشيق

مع غطاء الحماية. يبين الشكل (15.3) المجرى الأنبوبي الرئيسي والمجرى الحامل للصامولة.

الشكل (15.3) المجرى الأنبوبي الرئيسي و المجرى الحامل للصامولة.

- **صامولة التثبيت:**

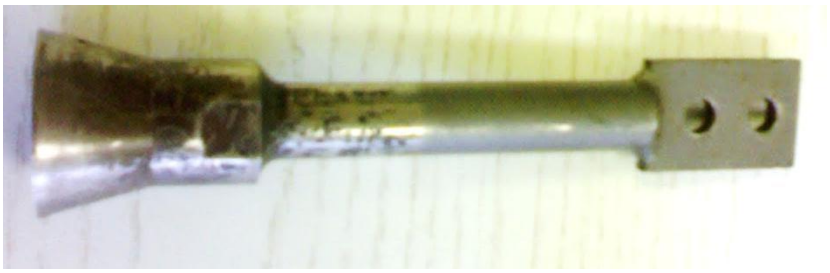
يتم تثبيت حامل الشريحة الاختبارية عليها وتكون مقلوظة من الخارج للتعشيق مع المجرى الأنبوبي القصير ويوجد في أسفلها ثقوب يتم من خلالها تنفيس الضغط عند فك تعشيقها مع المجرى الأنبوبي، يبين الشكل (16.3) صامولة التثبيت.

الشكل (16.3) صامولة تثبيت حامل الكوبون

- حامل الشريحة الاختبارية (الكوبون):

يثبت مع الصامولة ببراغي مسدسة، ويحمل بطرفه المستطيل الشكل الكوبون من خلال براغي تفصلها عن الكوبون مانعات بلاستيكية وذلك منعاً لتشكل خلية غلفانية، يكون الكوبون داخل المجرى الأنبوبي الرئيسي بحيث يكون اتجاه الجريان

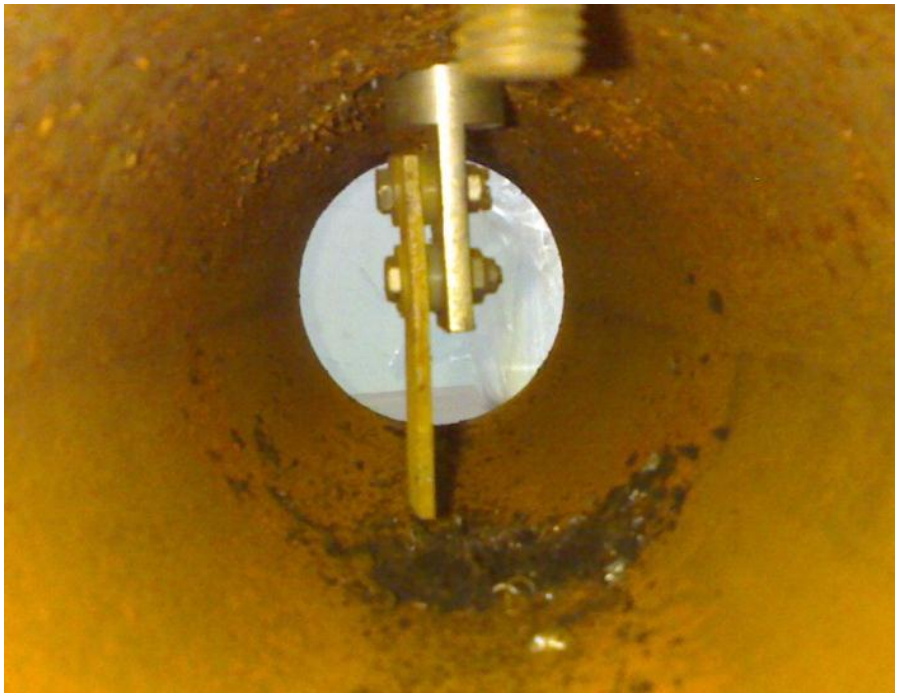
موازيـــا لأســـطح الكوبـــون العريضـــة. يظهـــر فـــي الشـــكل (17.3) حامـــل الكوبـــون المستخدم في الجهاز.



الشكل (17.3) حامل الكوبون.

- **الشريحة الاختبارية (الكوبون):**

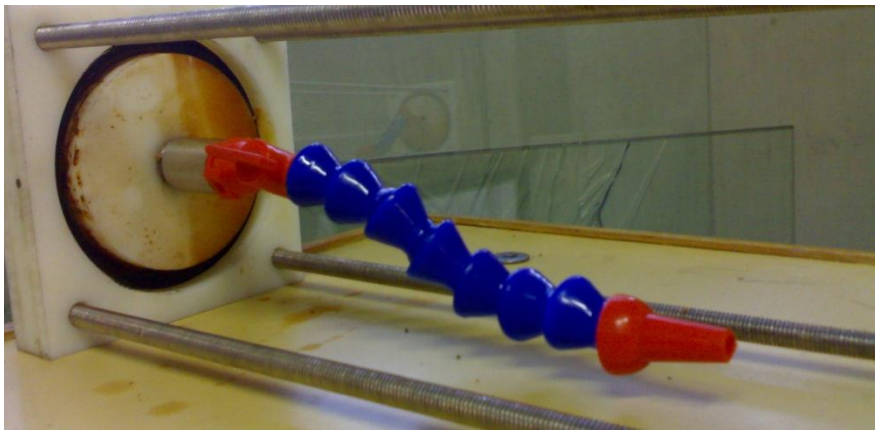
وهي قطعة من نفس المعدن المراد دراسته، شكلها متوازي مستطيلات بحيث يكون السطح العمودي على اتجاه الجريان أقل ما يمكن تثبت على الحامل بواسطة براغي وصواميل مقاومة للتآكل ومفصولة عنها بحلقات بلاستيكية منعاً من تشكل خلايا تآكل كهرو كيميائي، يبين الشكل (18.3) توضع الكوبون داخل الأنبوب الرئيسي.



الشكل (18.3) توضع الكوبون داخل المجرى الرئيسي.

- **موجهات الجريان البلاستيكية:**

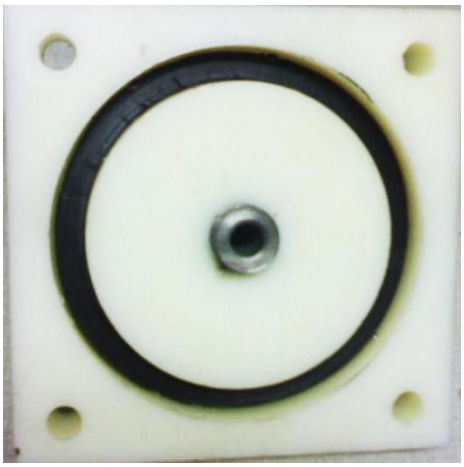
مؤلفة من كرات بلاستيكية متصلة ومفتوحة على بعضها، تم استعمال موجهات للجريان لتحديد وضبط اتجاه وطبيعة الجريان، يبين الشكل (19.3) موجهات الجريان.



الشكل (19.3) موجهات الجريان البلاستيكية.

- **مانعات تسريب بلاستيكية:**

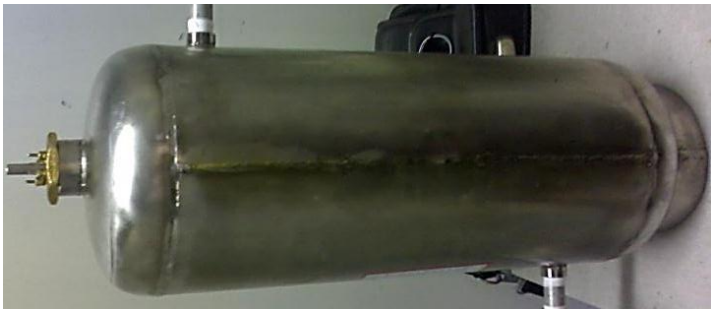
أبعادها: 15 cm *15 cm* 2 cm. تحتوي كل مانعة بلاستيكية على فتحة بقطر "0.5 محشور بداخلها أنبوب مصنوع من الكروم وذلك ليتم توصيلها مع باقي مكونات الدارة الهيدروليكية، وأربع فتح جانبية للتثبيت. تتوضع على جانبي المجرى الرئيسي حيث يتم شدها على جانبي الأنبوب من خلال ربطها ببعضها ببراغي وصواميل، يبين الشكل (20.3) مانعات التسريب الجانبية والفتحة المركزية لعبور السائل المسبب للتآكل وفتحات أربع جانبية للتثبيت واحكام الإغلاق على جانبي الأنبوب الرئيسي بواسطة براغي وصواميل.



الشكل (20.3) المانعة البلاستيكية

- **الخزان:**

مصنوع من الفولاذ الذي لا يصدأ عالي نسبة الكروم لحمايته من التآكل. السعة: L 20. يحتوي على المواد المسببة للتآكل، له فتحتين أحدهما للسحب للمضخة وفتحة الأخرى للتفريغ، الخزان مزود بسخان كهربائي لرفع درجة حرارة المادة المسببة للتآكل إلى (^{o}c 85-65). يبين الشكل (21.3) خزان المادة المسببة للتآكل الداخلي.



الشكل (21.3) خزان المواد المسببة للتآكل.

- **مضخة:**

مجاريها مغطاة بالتفلون لحمايتها من التآكل، الضغط Pn=15 bar. يبين الشكل (22.3) ربط المضخة مع الجهاز.

الشكل (22.3) ربط المضخة مع الجهاز.

- **صمام تحكم بالتدفق:**

حيث يمكن خفض التدفق والذي يرافقه زيادة بالضغط، كما هو مبين بالشكل (23.3).

الشكل (23.3) صمام التحكم بالتدفق

- مقياسا ضغط وحرارة: يستخدمان لمعرفة التغيرات في هذين العاملين.
- توصيلات بلاستيكية: تتحمل الضغط والحرارة المتغيرة.
- صمام للتعبئة والتفريغ: مصنوع من الكروم، يتوضع أسفل الخزان.

3.2.2.3 طريقة الاختبار:

- يتم وزن الشريحة الاختبارية التي تكون مصنوعة من نفس معدن المراد دراسته بميزان ذو حساسية عالية.
- تعبئة الخزان بالسائل المسبب للتآكل.
- تثبت الكوبون على الحامل المثبت بالصامولة.
- تثبيت الصامولة داخل المجرى الأنبوبي المقلوظ ووضع الغطاء الخارجي للحماية.
- ضبط السخان على درجة الحراة المطلوبة.
- تشغيل المضخة.
- ضبط صمام التحكم بالتدفق للحصول على التدفق والضغط المطلوب.
- عند انتهاء التجربة يتم فصل القدرة الكهربائية عن المضخة والسخان ثم يتم اخراج الكوبون.

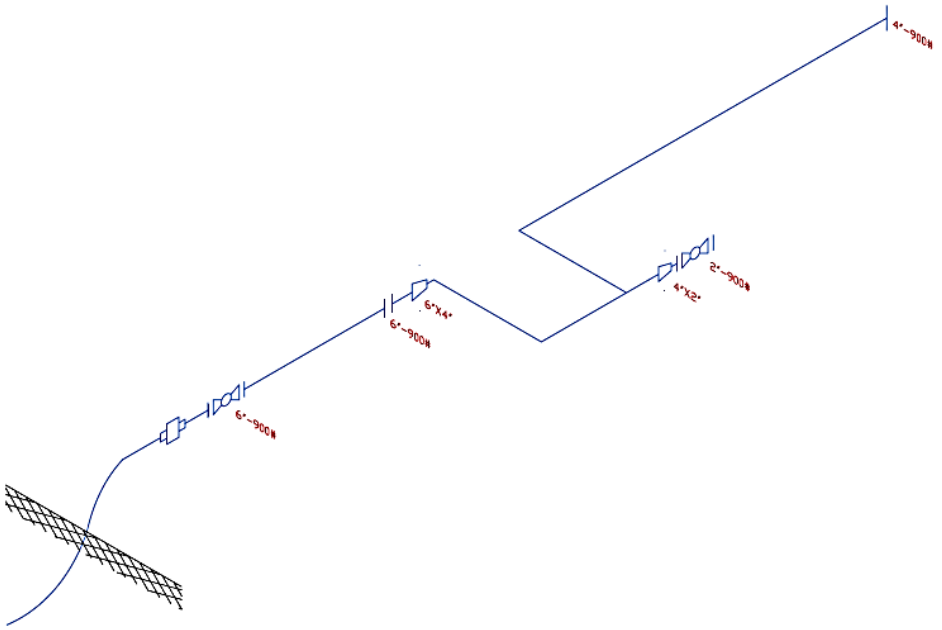
- تنظيف الكوبون من بقايا الأملاح العالقة بمحلول كيميائي يحتوي على حمض بتركيز منخفض.
- الوزن النهائي وحساب معدل التآكل الداخلي.

2.3 حساب معدل التآكل بطريقة الأمواج فوق الصوتية:

1.2.3 مقدمة:

تم تطبيق قياس سماكة الجدران بطريقة الأمواج فوق الصوتية وذلك في الأماكن الأكثر خطورة والتي يغير المزيج النفطي عندها اتجاهه للأنابيب المختبرة، يتألف الأنبوب النفطي من جزأين: الأول ظاهر فوق الأرض لمسافة محدودة يحتوي على عدة أكواع بسبب تشكيل مقطع من الأنبوب بشكل حرف (U) وذلك لتلافي خطر التمدد والضغط العائد باتجاه رأس البئر.

أما الجزء الثاني مدفون تحت الأرض وبمسار مستقيم أو بانعطاف نصف قطره كبير، حيث يبين الشكل (24.3) تصميم الأنبوب بعد رأس البئر وحتى الجزء المدفون تحت الأرض باتجاه المحطة النفطية.



الشكل (24.3) تصميم الأنبوب النفطي.

ويؤخذ ثلاث مناطق على الكوع لفحصها ويكون تسلسلها مع اتجاه الجريان السائل النفطي وذلك اعتماداً على توصيات الشركة الصانعة ودراسات شركة توتال الفرنسية:

- الأولى هي بالقرب من اللحام عند دخول المزيج.
- الثانية تسمى نقطة الصدم وتكون مواجهة للسائل تماماً.
- الثالثة هي بالقرب من اللحام عند خروج المزيج.

و يبين الشكل (25.3) مناطق الفحص على الكوع حيث تكون على شكل دوائر بقطر 3-4 سم.

الشكل (25.3) مناطق الفحص بالأمواج فوق الصوتية على الكوع.

2.2.3 جهاز الأمواج فوق الصوتية:

المواصفات الفنية للجهاز:

- اسم الجهاز المستخدم (KRAUTKRAMER-DMS2-DA301)
- نوعه (A- scan).
- تردده (5 MHz).
- قطر المجس (12.1 mm).
- مجال القياس للفولاذ (1.25-200) ملم.
- يعمل بدرجة حرارة أقل من ($54^{o}C$).

طريقة العمل:

1- اختبار ومعايرة الجهاز عن طريق قياس قطعة معدنية مرفقة به وتصحيح الخطأ إن وجد كما هو مبين بالشكل (26.3) ويتم هذا العمل في الموقع المراد اجراء الاختبار عنده أي بدرجة الحرارة نفسها.

الشكل (26.3) معايرة جهاز القياس بالأمواج فوق الصوتية.

2- يتم وضع طبقة من المواد القارنة ذات سماكة متوسطة لمنع وجود أي فراغ هوائي بين المجس والكوع والذي في حال وجوده يؤثر على نتيجة القياس، كما هو مبين بالشكل (27.3).

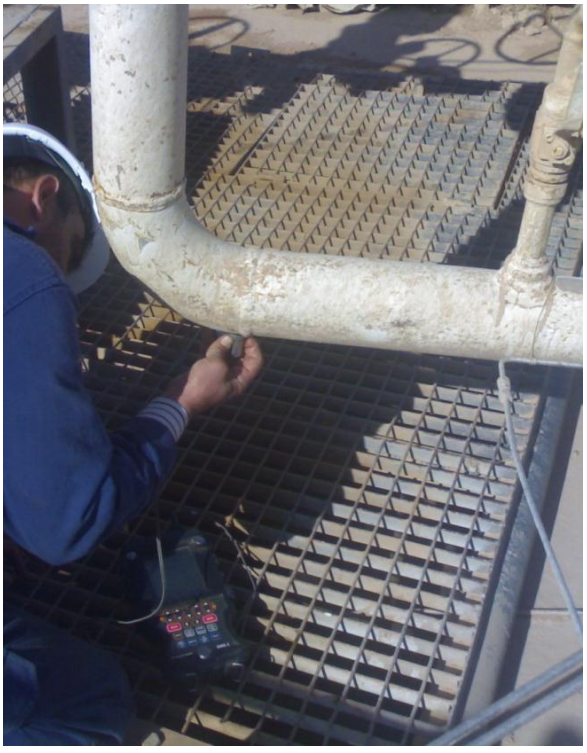
الشكل (27.3) وضع المادة القارنة في أماكن القياس بالأمواج فوق الصوتية.

3- تجرى عملية القياس ويتم تحريك المجس ضمن المنطقة المقاسة بحيث يغطي كل مسار ربع المسار الذي يسبقه كما هو مبين بالشكل (28.3) ثم تسجل أقل قيمة للسماكة.

تؤثر على هذا الاختبار عدة عوامل منها:

- خبرة استعمال الجهاز وتحريك المجس.
- الظروف الجوية المحيطة.
- صعوبة التحكم في تحريك الجهاز بالمناطق الصعبة، كالمنطقة المبينة بالشكل (29.3) والذي يبين صعوبة رؤية مسار التحريك.

الشكل (28.3) قياس السماكة بجهاز الأمواج فوق الصوتية.



الشكل (29.3) قياس السماكة بالأماكن الصعبة.

الفصل الرابع
النتائج والمناقشة

الفصل الرابع
النتائج والمناقشة

1.4 اختبار التحليل الكيميائي:

تم أخذ القيمة المتوسطة للقراءات الناتجة عن الجهاز كما هو موضح في الجدول (1.4).

الجدول (1.4): نتائج التحليل الطيفي للعينات.

	C	Mn	Si	Al	Ca	S	P	V
العينة 1	0.151	0.877	0.320	0.029	0.003	0.0072	0.0155	0.0026
العينة 2	0.163	0.575	0.238	0.027	0.0006	0.0067	0.015867	0.001033
المتوسط	0.157	0.726	0.279	0.028	0.00205	0.0069	0.015683	0.001817

	Ni	Cr	Cu	Mo	Ti
العينة 1	0.275	0.0725	0.0798	0.026967	0.003467
العينة 2	0.0061	0.020133	0.019767	0.004067	0.001567
المتوسط	0.14055	0.046317	0.049783	0.015517	0.002517

بعد التحليل وجد أن العناصر مطابقة للمواصفة المذكورة.

2.4 اختبار القساوة:

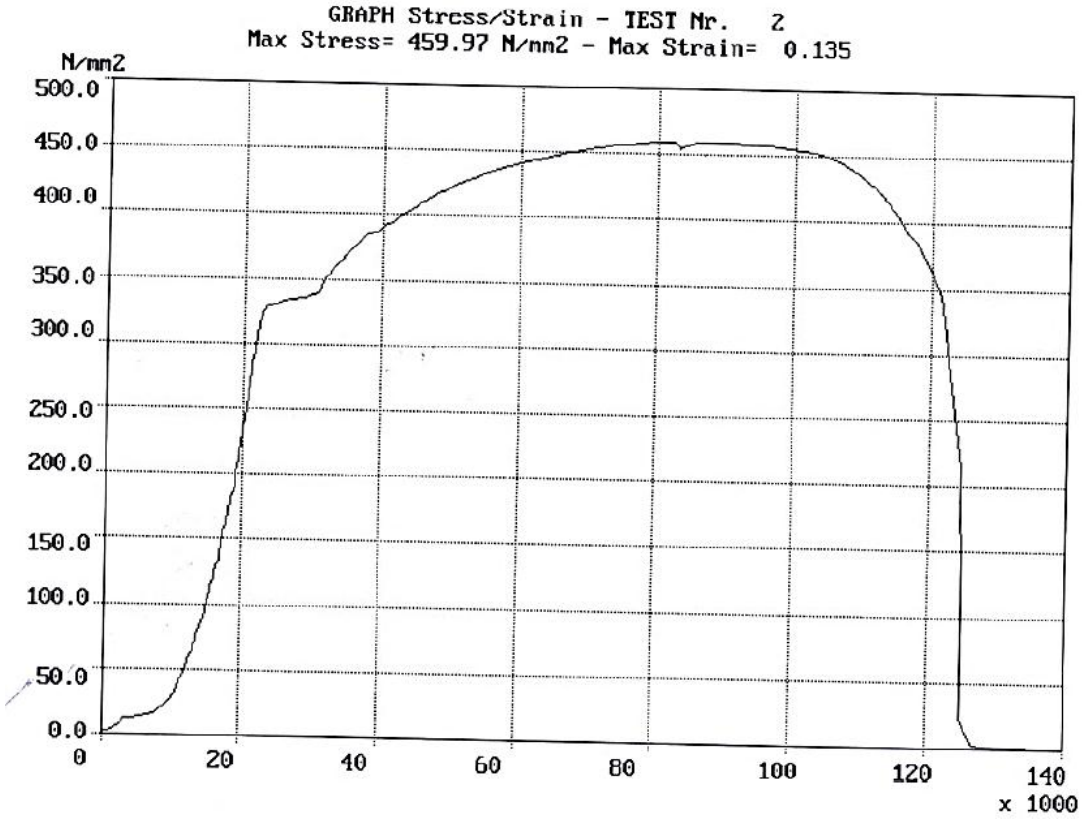
يبين الجدول (2.4) القيم المتوسطة لنتائج اختبار القساوة بطريقة فيكرز وبعد مقارنتها بالمواصفة المعتمدة لدى الشركة المصنعة وجد بأن القيم مقبولة.

الجدول (2.4) القيم الناتجة عن اختبار القساوة.

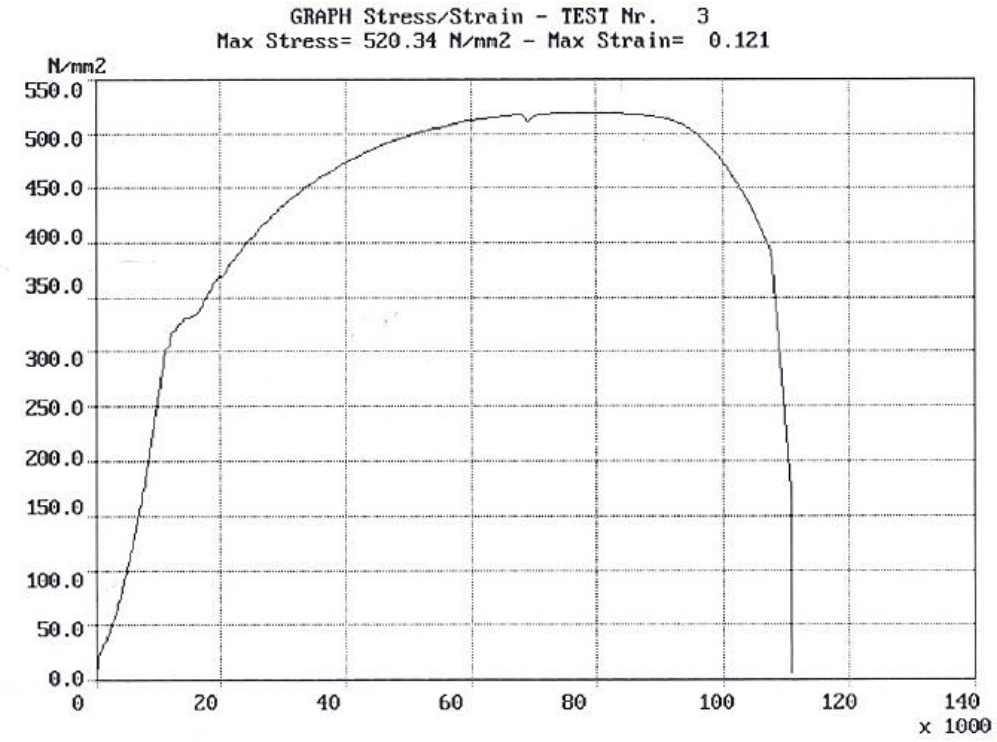
رقم العينة	القساوة (V)
1	**142**
2	**151**

3.4 اختبار الشد:

تم اجراء اختبار الشد لعينتين من معدن أنابيب النفط (PT1-PT2) وكانت النتائج كما هي مبينة بالشكلين (1.4) و(2.4):



الشكل (1.4) مخطط الشد للعينة الأولى من الأنابيب.



الشكل (2.4) مخطط الشد للعينة الثانية من الأنابيب.

ويبين الجدول التالي النتائج المأخوذة من المخططين السابقين، وعند مقارنة النتائج بالمواصفة كانت القيم ضمن الحدود المسموح بها.

الجدول (3.4): نتائج اختبار الشد.

العينة	العرض (mm)	السماكة (mm)	المساحة (mm^2)	اجهاد الخضوع (MPa)	اجهاد الشد (MPa)	YS/TS	الاستطالة (%)
P T1	14.25	11.00	156.75	338.5	460.0	0.73	32
P T2	15.30	10.30	157.59	334	520.34	0.64	29

4.4 دراسة متغيرات الحقل المؤثرة على التآكل الداخلي للأنابيب المدروسة:

- تمت دراسة أربع خطوط أنابيب لنقل النفط الخام المستخرج، ثلاثة منها كانت الأكثر تغيراً في معدلات تآكلها في الفترات السابقة وهي **JAF 101, JAF 112, JAF 114**، بينما الخط الرابع كان الأقل تغيراً في الفترات السابقة وهو **JAF 115** وقد تمت دراسته للمقارنة.
- استمرت دراسة متغيرات الحقل المؤثرة على التآكل الداخلي للأنابيب النفطية المدروسة من تاريخ 2010/5 إلى 2011/5.

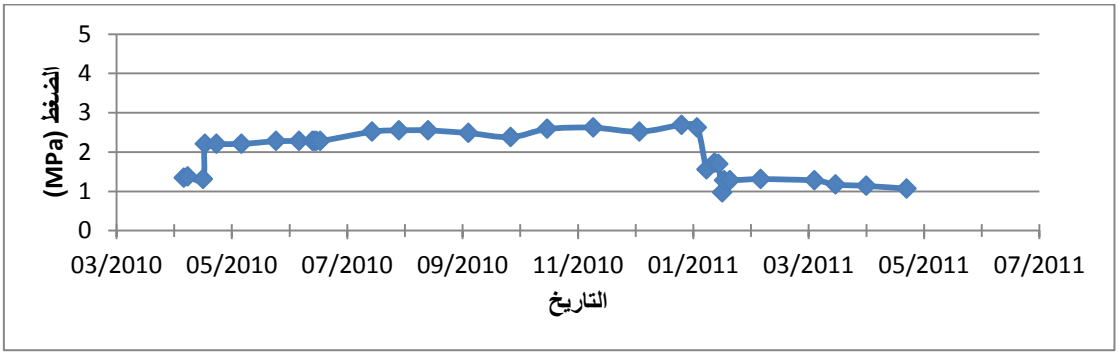
1.4.4 الضغط:

تمت دراسة قيم الضغط داخل الأنابيب خلال فترة الدراسة مقدرةً بـ MPa، وقد تم أخذ القيم عند الفاصل الاختباري (**Test Splitter**) بالقرب من مكان تواجد الشرائح المعدنية وفي الأيام التي تغير فيها نشاط البئر النفطي.

وبصورة عامة يكون الضغط مرتفعاً إذا كان أكبر من MPa 2، بينما يكون متوسطاً عندما يكون ضمن المجال MPa 2-1، أما الضغط المنخفض فهو أقل من MPa 1 وذلك حسب مواصفات شركة توتال للنفط.

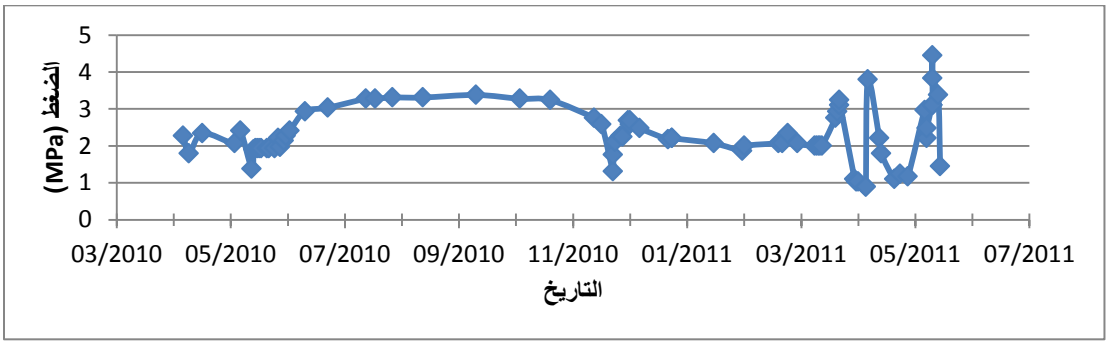
يبين الشكل (3.4) تغير قيم الضغط لخط النفط **JAF 101** خلال الفترة المدروسة مقدراً بـ MPa. حيث لوحظ في الخط ارتفاع الضغط واستقراره عند مستوى مرتفع في بداية الشهر الخامس من عام 2010، إذ تم تحويل البئر إلى الضغط العالي نتيجة ضخ كميات أكبر من الغاز المستخدم لرفع النفط

وذلك للتكيف مع سعة الفواصل، ثم عادت للانخفاض مع الشهر الأول من عام 2011 لتستقر عند الضغط المتوسط وذلك لموائمته مع الفاصل ذو الضغط المتوسط.



الشكل (3.4) تغير قيم الضغط لخط النفط JAF 101

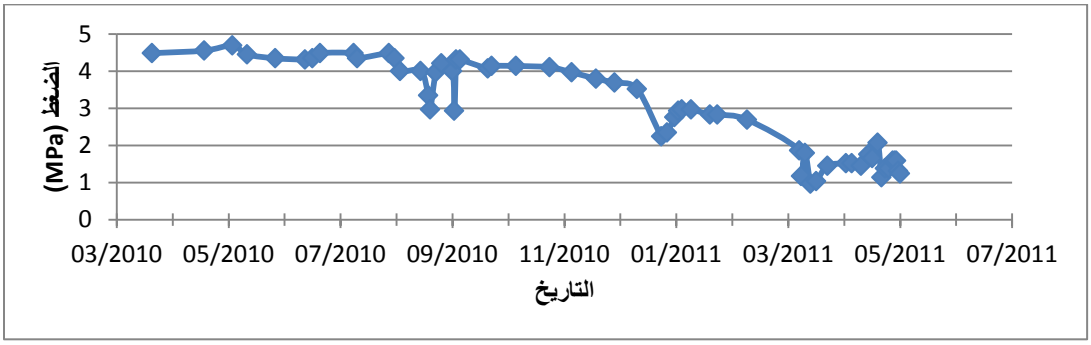
يبين الشكل (4.4) تغير قيم الضغط لخط النفط **JAF 112** خلال الفترة المدروسة مقدراً بـ MPa. حيث ظهر ارتفاع الضغط نتيجة زيادة كمية الغاز المستخدم في رفع النفط وذلك في بداية الشهر الخامس من عام 2010 واستمر حتى نهاية الشهر الحادي عشر إذ وجد أن النفط القادم من البئر لا يمكنه دخول مجمع الضغط العالي نتيجة ارتفاع الحد الأدنى لقيمة الضغط الذي يمكن أن يمر خلاله مما أدى إلى تحويل البئر إلى الضغط المتوسط عن طريق فتح صمام التدفق إلى الحد الأقصى وتقليل كمية غاز السحب. أما في نهاية الشهر الثالث من عام 2011 ثم إجراء ثلاث زيادات في عملية الحقن نتيجة وجود انسداد في مجرى غاز السحب مع تغيير في فتحة صمام التدفق، مما أدى إلى تغيرات كبيرة في الضغط.



الشكل (4.4) تغير قيم الضغط لخط النفط JAF 112.

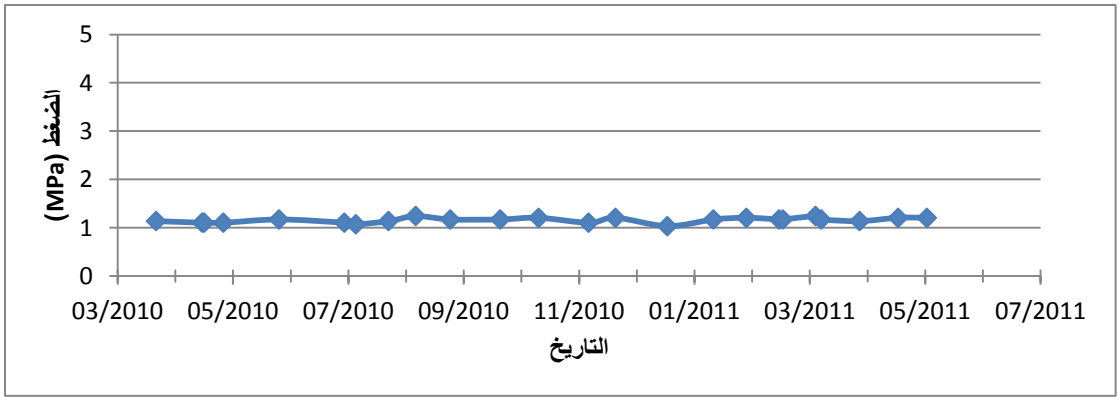
يبين الشكل (5.4) تغير قيم الضغط لخط النفط **JAF 114** خلال الفترة المدروسة مقدراً بـ MPa. حيث يظهر أن الضغط كان عند مستويات مرتفعة خلال 2010، وفي بداية 2011 ظهر انخفاض

تدريجي في الضغط وصولاً إلى الضغط المتوسط إذ تم عندها زيادة كمية غاز السحب للمحافظة على البئر عند هذا المستوى وذلك بسبب زيادة فتح صمام التدفق تدريجياً للمحافظة على إنتاج معين.



الشكل (5.4) تغير قيم الضغط لخط النفط JAF 114.

بينما في الخط **JAF 115** يُظهر الشكل (6.4) أن الضغط بقي دون تغيرات كبيرة خلال فترة الدراسة وهذا عامل إيجابي بالنسبة لمعدل التآكل الداخلي للأنابيب النفطية.



الشكل (6.4) تغير قيم الضغط لخط النفط JAF 115

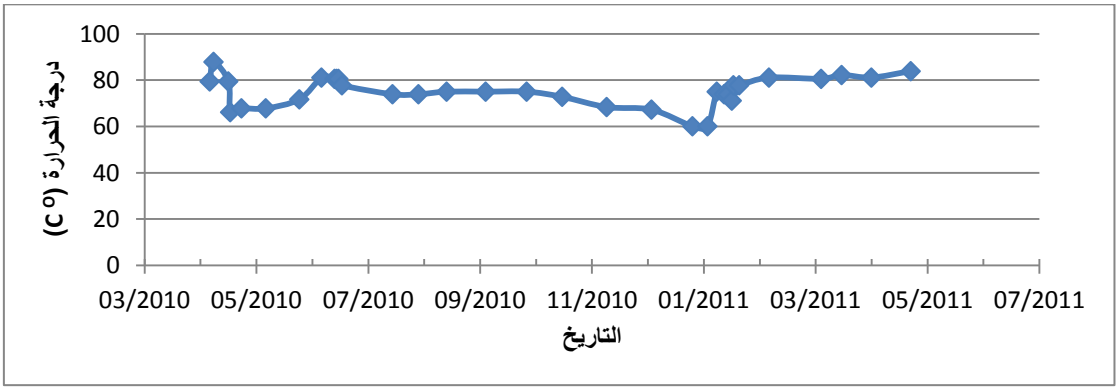
إنَّ زيادة الضغط يمكن أن تسبب زيادة ضغط غاز ثاني أكسيد الكربون لأنه يشكل نسبة من الكمية الإجمالية للغاز الموجود ضمن الأنبوب، والذي بدوره يخفض درجة الحموضة مما يجعل الوسط أكثر عدائية على المعدن وتزداد قابلية التآكل. كما أنه في الخطوط التي يكون فيها الجريان مضطرباً فإن زيادة الضغط يؤدي إلى زيادة انحلال غاز ثاني أكسيد الكربون في الماء المرافق ويتشكل حمض الكربون ذو التأثير السلبي والذي يزيد معدل التآكل. بالإضافة للتأثير الكيميائي الذي يحتاج إلى فترة زمنية ليُحدث التأثير الخطر للتآكل، يكمن

الخطـر الحقيقـي بازديـاد سـرعة الجريـان نتيجـة زيـادة الضـغط والـذي بـدورها تسـبب تآكـل حتـي في المناطق التي يغير فيها التيار جهته وهنا تكمن الخطورة.

2.4.4 تغيرات درجة الحرارة:

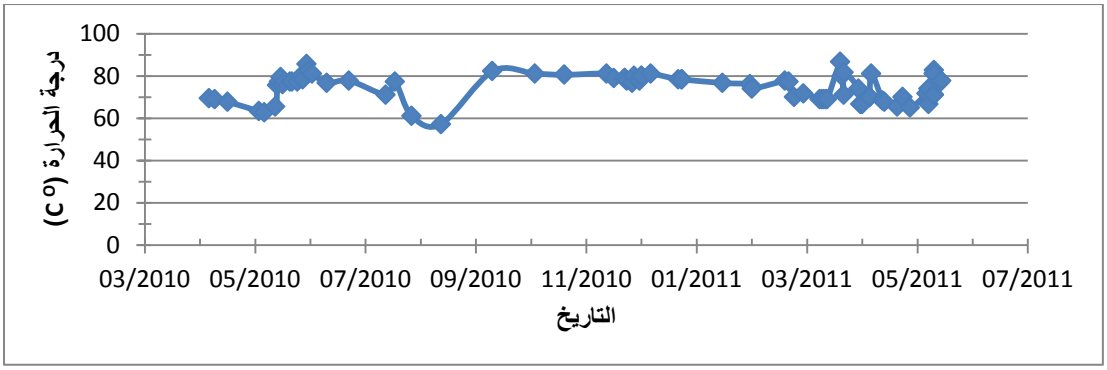
جرى دراسة التغير في قيم درجة حرارة النفط الخام المستخرج مقدرة بالدرجة المئوية مأخوذة عند الفاصل الاختباري بالقرب من مكان تواجد الشرائح المعدنية.

يبين الشكل (7.4) تغير قيم درجة الحرارة لخط النفط **JAF 101** خلال الفترة المدروسة، حيث يظهر زيادة في درجة الحرارة في بداية الشهر الخامس من عام 2010 وحتى الشهر الذي يليه وبمقدار 20 ^{O}C ، ثم بدأت درجة الحرارة بالانخفاض وحتى الشهر الأول من عام 2011 إذ ارتفعت بشكل حاد وبمقدار 20 ^{O}C واستقرت عند ذلك المستوى.



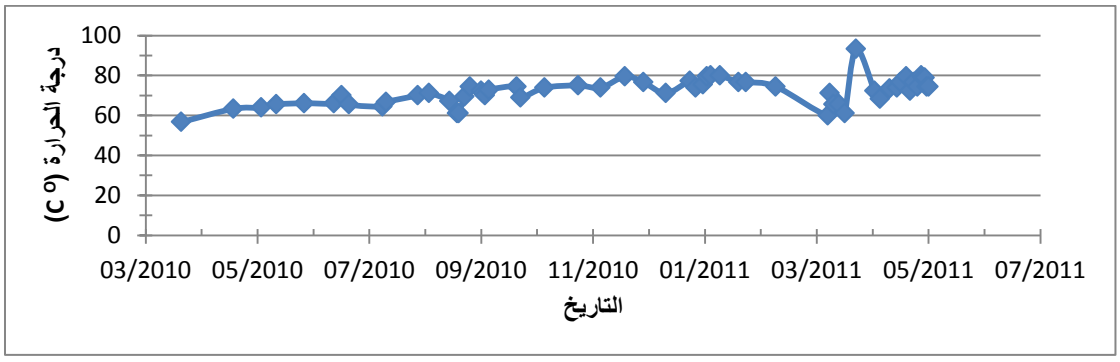
الشكل (7.4) تغير قيم حرارة النفط المستخرج للخط JAF 101

يبين الشكل (8.4) تغير قيم درجة الحرارة لخط النفط **JAF 112** خلال الفترة المدروسة، ومنه نجد أن التراوح في درجات الحرارة استمر وبمقدار 20 ^{O}C وحتى الشهر التاسع إذ استقرت درجة الحرارة، ثم عادت للتذبذب وبشكل حاد بعد الشهر الثالث من عام 2011.



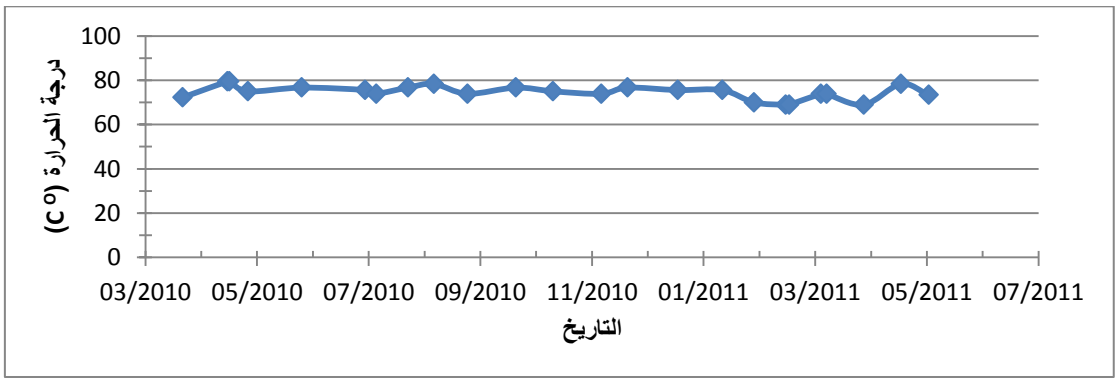
الشكل (8.4) تغير قيم حرارة النفط المستخرج للخط JAF 112

يبين الشكل (9.4) تغير قيم درجة الحرارة لخط النفط **JAF 114** خلال الفترة المدروسة، ويظهر فيه أن ارتفاع الحرارة حدث بشكل تدريجي وعلى فترة طويلة نسبياً وحتى الشهر الثاني من عام 2011 إذ حصل تذبذب في درجة الحرارة.



الشكل (9.4) تغير قيم حرارة النفط المستخرج للخط JAF 114

يبين الشكل (10.4) تغير قيم درجة الحرارة لخط النفط **JAF 115** خلال الفترة المدروسة، حيث يظهر أن تغير درجات الحرارة طفيفاً وبقدار ^{O}C 10 تقريباً طول فترة الدراسة.



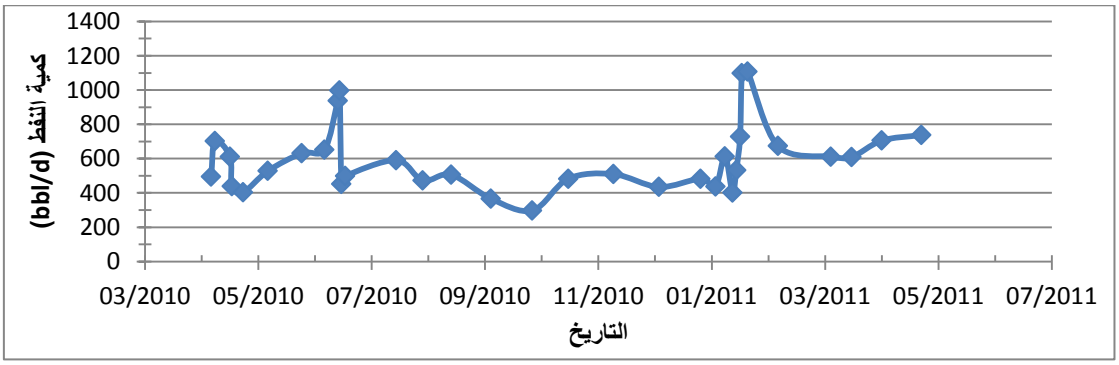
الشكل (10.4) تغير قيم حرارة النفط المستخرج للخط JAF 115

إنَّ زيادة درجة الحراة هي من العوامل غير المسيطر عليها والتي تؤدي إلى ازدياد معدل التآكل بدور مساند لبقية العوامل، وقد وافقت الزيادات لدرجة الحرارة في بعض الفترات ارتفاع معدل التآكل الداخلي لبعض الخطوط، بينما لم يظهر أثرها بشكل واضح في فترات أخرى نتيجة تغير العوامل المؤثرة بالتآكل.

3.4.4 تغيرات كمية النفط الخام الصافي المستخرج:

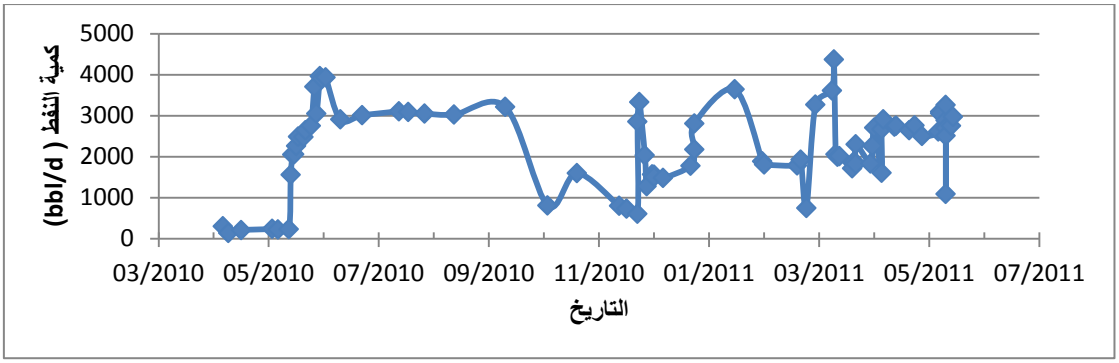
تُظهر الأشكال التالية التغيرات في كمية النفط الخام الصافي المستخرج، وقد قيست هذه الكميات عند الفاصل الاختباري بواسطة عداد كمية النفط الخام الموجود على الفاصل وذلك في الأيام التي لوحظ فيها تغير في العوامل المحددة للبئر النفطي، حيث bbl/d تمثل عدد البراميل باليوم.

يبين الشكل (11.4) تغير كمية النفط الخام الصافي المستخرج لخط النفط **JAF 101** خلال الفترة المدروسة مقدراً بـ bbl/d. حيث يظهر تذبذب تبعه انخفاض في كمية النفط الخام الصافي المستخرج وذلك حتى الشهر العاشر من عام 2010 ثم تبعه ارتفاع تدريجي باستثناء الارتفاع الحاد في الشهر الثاني من عام 2011 والذي عاد لوضعه السابق.



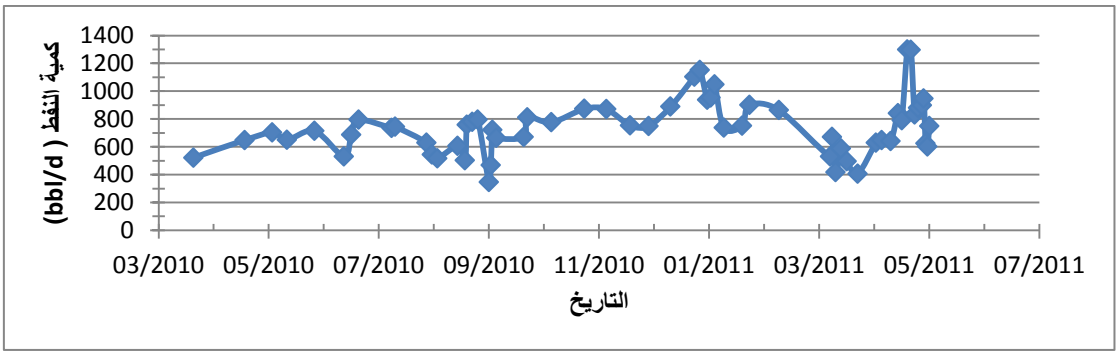
الشكل (11.4) تغير كمية النفط الخام المستخرج للخط JAF 101

يبين الشكل (12.4) تغير كمية النفط الخام الصافي المستخرج لخط النفط **JAF 112** خلال الفترة المدروسة مقدراً ب bbl/d. ظهر ارتفاع حاد جداً في كمية النفط الخام في الشهر الخامس من عام 2010 نتيجة عمليات إعادة احياء البئر النفطي، واستمر حتى منتصف الشهر التاسع إذ بدأ بالانخفاض ثم التذبذب نتيجة عدم استقرار انتاج البئر النفطي.



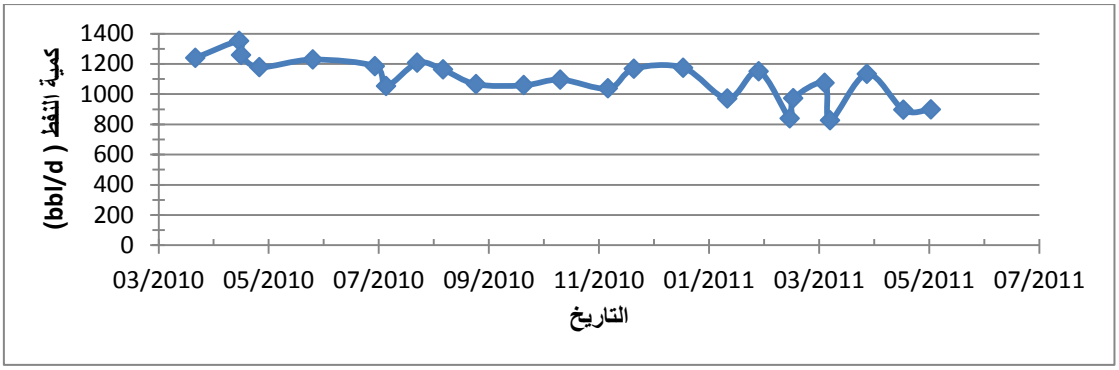
الشكل (12.4) تغير كمية النفط الخام المستخرج للخط JAF 112

يبين الشكل (13.4) تغير كمية النفط الخام الصافي المستخرج لخط النفط **JAF 114** خلال الفترة المدروسة مقدراً بـ bbl/d، حيث كان التغير غير كبيراً نسبياً في عام 2010 باستثناء انخفاض الكمية بالشهر التاسع، بينما في عام 2011 حدث ارتفاع ثم تلاه انخفاض في كمية النفط الخام المستخرج تبعها تذبذب في الكمية.



الشكل (13.4) تغير كمية النفط الخام المستخرج للخط JAF 114

يبين الشكل (14.4) تغير كمية النفط الخام الصافي المستخرج لخط النفط **JAF 115** خلال الفترة المدروسة مقدراً بـ bbl/d، حيث كان التغير انسيابياً خلال فترة الدراسة بتراوح قدره 400 برميل خلال كل سنة الدراسة.



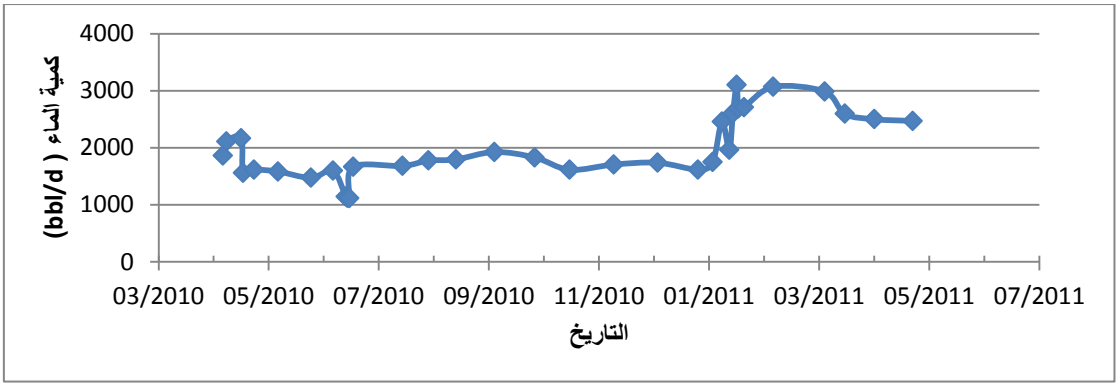
الشكل (14.4) تغير كمية النفط الخام المستخرج للخط JAF 115

إن زيادة كمية النفط الخام الصافي المستخرج تتم نتيجة تغير كمية الغاز المحقون بالآبار، وهذه الزيادة تؤدي إلى التقليل من معدل التآكل الداخلي لأنها تعمل كعامل مقلل للتآكل ولكن يعتمد ذلك على طبيعة الجريان، فإذا كان الجريان مستقر يكون النفط الخام موجود بين طبقتي الماء والغاز المرافقين ويحد من التآكل على السطوح التي يلامسها، أما عندما يضطرب الجريان تتواجد قطرات الماء محاطة بالنفط وقطرات من النفط محاطة بالماء وينحل الغاز المرافق مع الماء وبالتالي لا يمكن القول أن منطقة جريان النفط هي منطقة التآكل فيها محدود لوجود قطرات الماء. كما يجدر الإشارة أنه ليس لكل بئر صفة جريان محددة بل يعتمد ذلك على نشاط البئر وكمية الغاز الموجودة بالطبقة الخازنة للنفط.

4.4.4 تغيرات كمية الماء المرافق للنفط :

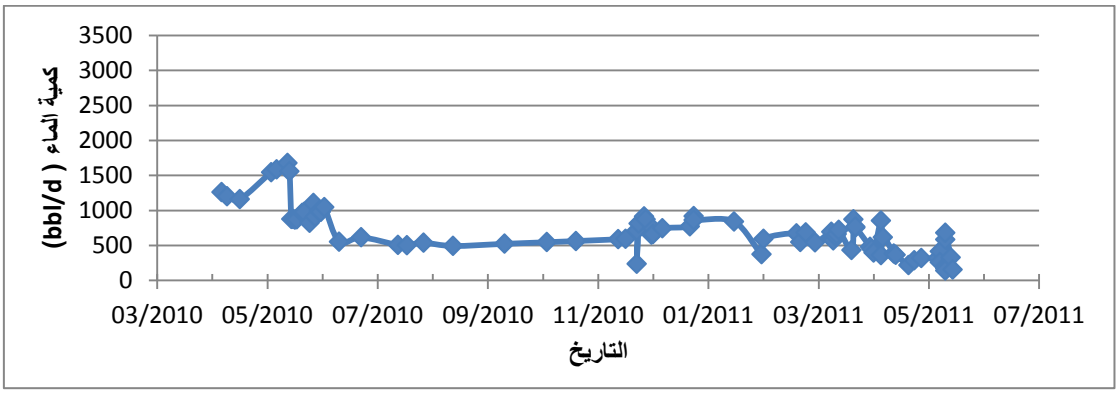
تبين الأشكال التالية تغيرات كمية الماء المرافق للنفط وذلك من عدادات الطور المائي الموجودة على الفاصل الاختباري، وذلك عند وضع البئر على وضع الاختبار، حيث bbl/d تمثل عدد البراميل باليوم.

يبين الشكل (15.4) تغير كمية الماء المرافق للنفط للخط **JAF 101** خلال الفترة المدروسة مقدراً بـ bbl/d، حيث يظهر استقرار كمية الماء المرافق للنفط وذلك حتى الشهر الأول من عام 2011 حيث لوحظ عندها زيادتها وحتى نهاية فترة الدراسة.



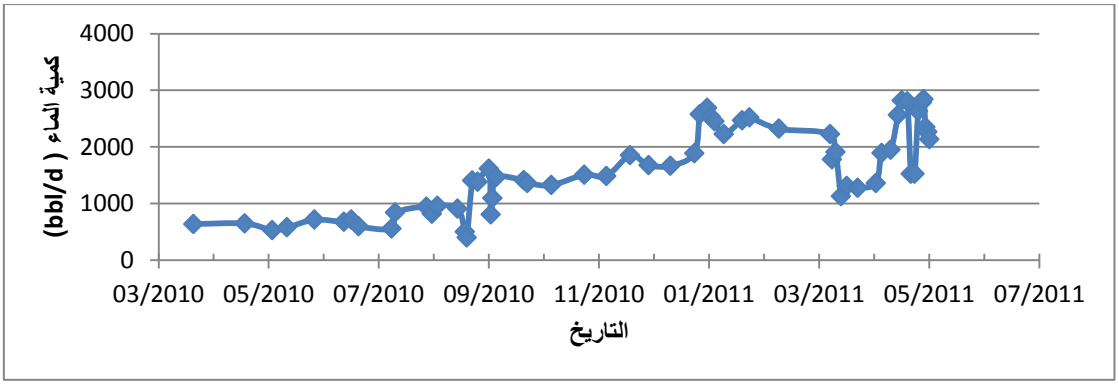
الشكل (15.4) تغير كمية الماء المرافق للنفط للخط JAF 101.

يبين الشكل (16.4) تغير كمية الماء المرافق للنفط للخط **JAF 112** خلال الفترة المدروسة مقدراً بـ (bbl/d)، حيث لوحظ انخفاض كمية الماء المرافق للنفط طيلة فترة الدراسة مع تغيرات بسيطة.



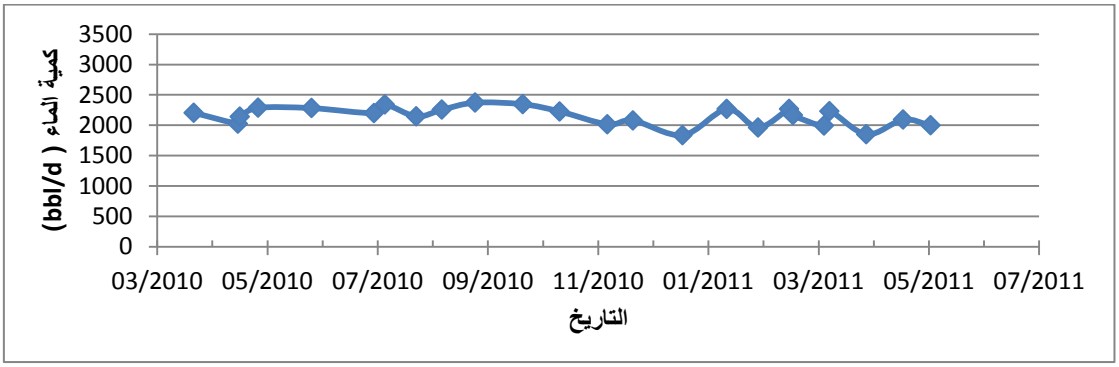
الشكل (16.4) تغير كمية الماء المرافق للنفط للخط JAF 112

يبين الشكل (17.4) تغير كمية الماء المرافق للنفط للخط **JAF 114** خلال الفترة المدروسة مقدراً بـ bbl/d، حيث كانت كمية الماء المرافق للنفط مستقرة وحتى منصف الشهر الثامن من عام 2010 إذ بدأت بالزيادة وحتى نهاية فترة الدراسة.



الشكل (17.4) تغير كمية الماء المرافق للنفط للخط JAF 114

يبين الشكل (18.4) تغير كمية الماء المرافق للنفط للخط **JAF 115** خلال الفترة المدروسة مقدراً بـ bbl/d، حيث كانت كمية الماء المرافق للنفط مستقرة طيلة فترة الدراسة مع تغيرات طفيفة.



الشكل (18.4) تغير كمية الماء المرافق للنفط للخط JAF 115

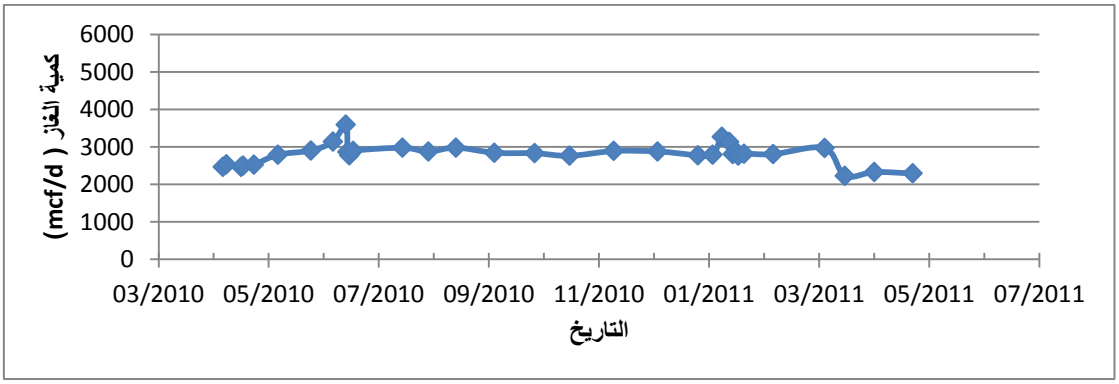
إنَّ كمية الماء المرافق للنفط تعتبر هي العامل الأساسي والوحيد في شركة دير الزور لتقييم خطورة التآكل، حيث يتم الاعتماد على هذه الكمية في تقدير كمية مضاد التآكل الواجب حقنه للتقليل من خطر التآكل دون أخذ أي عامل أخر في عين الاعتبار.

إنَّ زيادة كمية الماء المرافق للنفط هي عامل خطر بشكل فعلي بسبب ما تحمله من أملاح منحلة تسرع من عملية التآكل حيث تعتبر الوسط الأشد عدائية تجاه معدن الأنبوب من الداخل إلا أنها ليست العامل الوحيد المؤثر في زيادة معدل التآكل الداخلي.

5.4.4 تغيرات كمية الغاز المرافق للنفط :

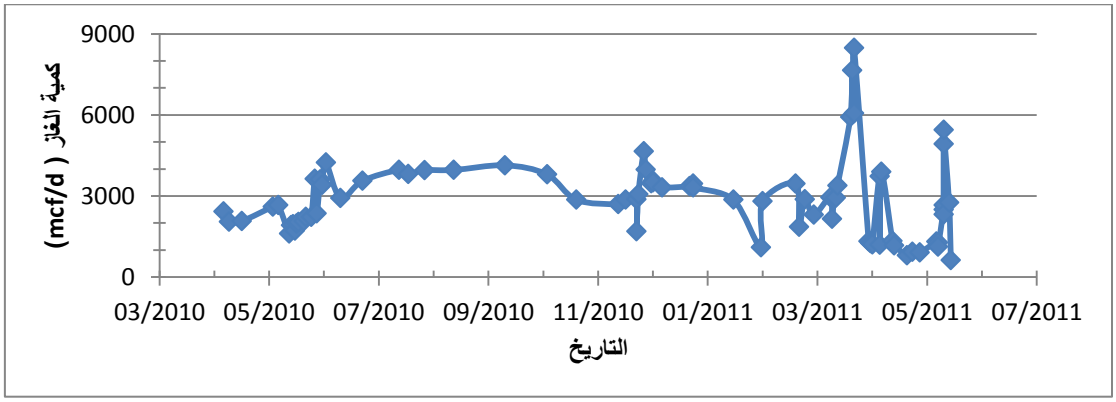
تبين الأشكال التالية تغيرات كمية الغاز المرافق للنفط وذلك من عدادات الطور الغازي الموجودة على الفاصل الاختباري، وذلك عند وضع البئر على وضع الاختبار. حيث mcf/d تمثل عدد الملايين من الأقدام المكعبة من الغاز باليوم.

يبين الشكل (19.4) تغير كمية الغاز المرافق للنفط للخط **JAF 101** خلال الفترة المدروسة مقدراً بـ mcf/d، حيث يظهر فيه استقرار كمية الغاز المرافق للنفط وذلك حتى نهاية فترة الدراسة.



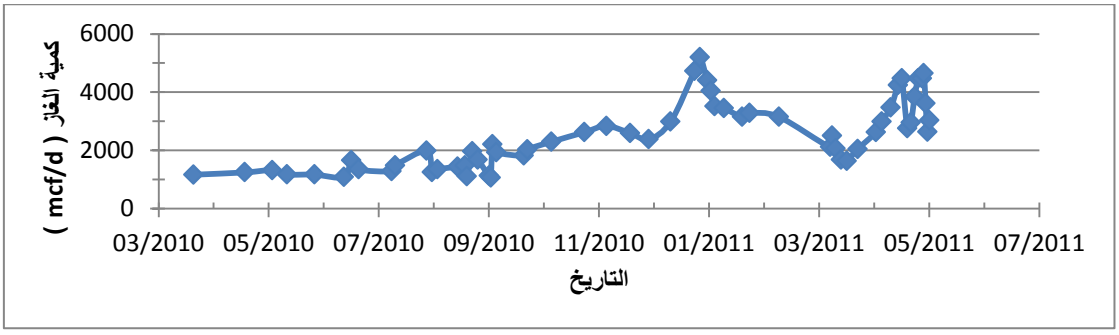
الشكل (19.4) تغير كمية الغاز المرافق للنفط للخط JAF 101

يبين الشكل (20.4) تغير كمية الغاز المرافق للنفط للخط **JAF 112** خلال الفترة المدروسة مقدراً بـ mcf/d، حيث لوحظ ارتفاع كمية الغاز المرافق للنفط وذلك حتى الشهر العاشر من عام 2010 ثم استمر التذبذب في الكمية طيلة فترة الدراسة في محاولة لضبط كمية الانتاج للبئر نتيجة عدم استقراره.



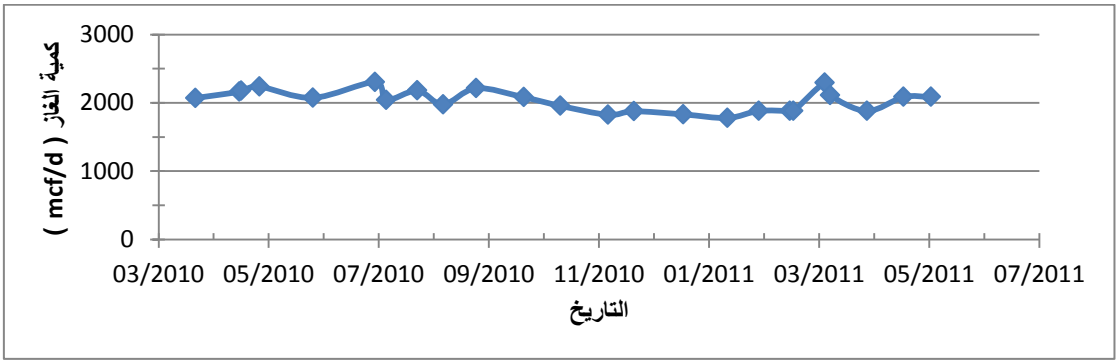
الشكل (20.4): تغير كمية الغاز المرافق للنفط للخط JAF 112

يبين الشكل (21.4) تغير كمية الغاز المرافق للنفط للخط **JAF 114** خلال الفترة المدروسة مقدراً بـ mcf/d، حيث كانت كمية الغاز المرافق للنفط مستقرة وحتى الشهر التاسع من عام 2010 إذ بدأت بالزيادة وحتى نهاية الشهر الأول من عام 2011 إذ تبعها انخفاض حتى منتصف الشهر الثالث لتعاود كمية الغاز الزيادة.



الشكل (21.4) تغير كمية الغاز المرافق للنفط للخط JAF 114

يبين الشكل (22.4) تغير كمية الغاز المرافق للنفط للخط **JAF 115** خلال الفترة المدروسة مقدراً بـ mcf/d، كانت كمية الغاز المرافق للنفط مستقرة طيلة فترة الدراسة مع تغيرات طفيفة.



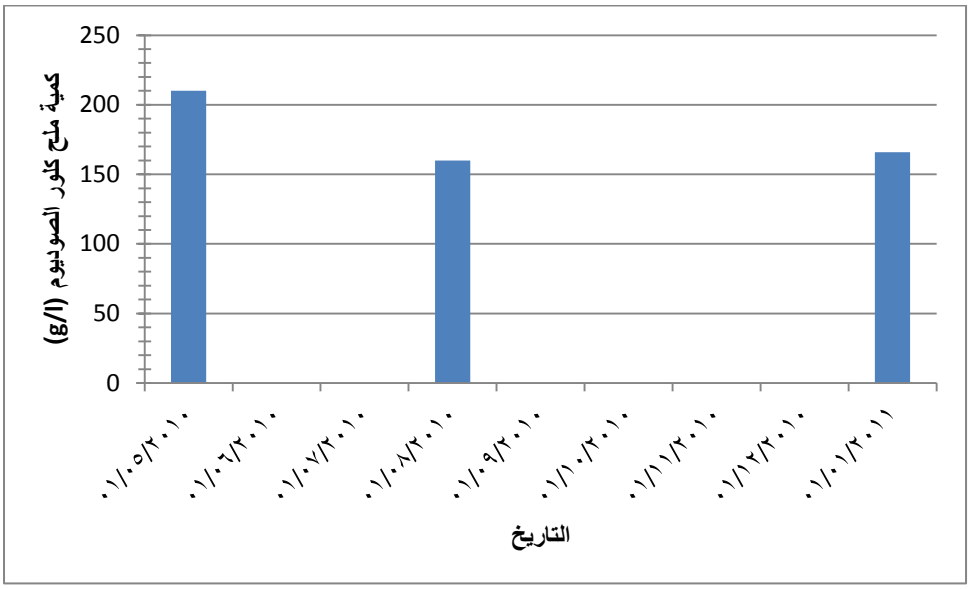
الشكل (22.4) تغير كمية الغاز المرافق للنفط للخط JAF 115

إنَّ زيادة أو نقصان كمية الغاز المرافق مرتبطة بشكل أساسي بكمية الغاز الطبيعي الموجود في الطبقة الخازنة للنفط بالإضافة إلى الغاز المستخدم لرفع النفط. يتم التحكم بكمية الغاز المحقون بالآبار وذلك لضبط كمية الإنتاج. إنَّ زيادة كمية الغاز تؤدي إلى زيادة التآكل في الخط العلوي داخل الأنبوب، إضافة إلى أنه ينحل بالماء المرافق مكوناً شوارد أكالة.

6.4.4 تغيرات كمية ملح كلور الصوديوم المنحل في الماء المرافق للنفط :

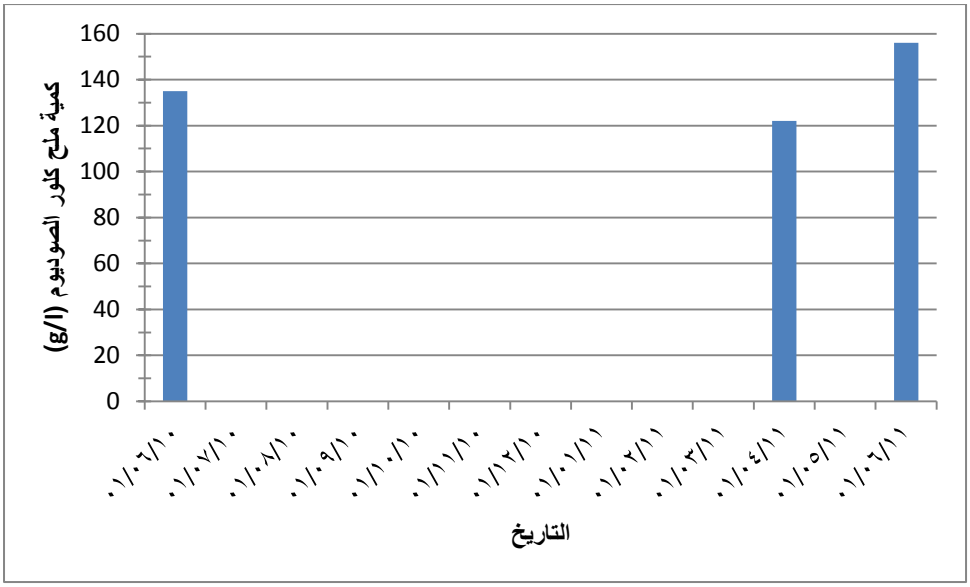
تظهر الأشكال التالية تغيرات كمية ملح كلور الصوديوم المنحل في الماء المرافق للنفط إذ يتم قياسها في أوقات غير منتظمة وذلك اعتماداً على نسبة الاشعاع، حيث يتم القياس بشكل أساسي لمراقبة جودة الإنتاج، بينما لا يؤخذ بعين الاعتبار تأثير شوارد الكلور على التآكل الداخلي إذ لا توجد قيمة محددة تعد حد خطر يزيد من معدل التآكل الداخلي بشكل كبير.

يبين الشكل (23.4) تغير كمية ملح كلور الصوديوم المرافق للنفط للخط **JAF 101**، حيث يظهر أن كمية ملح كلور الصوديوم بلغت في بداية الشهر الخامس من عام 2010 نسبة مرتفعة مقارنة بالقياسين الأخرين إذ كانت قيمهما متقاربة.



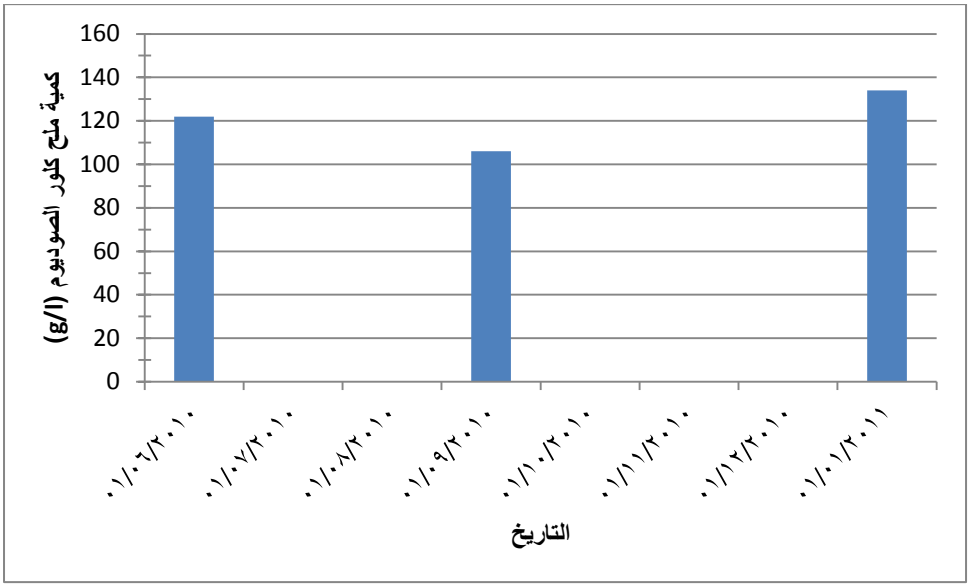
الشكل (23.4) تغير كمية الملح المنحل في الماء المرافق للنفط للخط JAF 101

يبين الشكل (24.4) تغير كمية ملح كلور الصوديوم المرافق للنفط للخط **JAF 112**، حيث يظهر أن كمية ملح كلور الصوديوم ارتفعت لنفس الفترة من السنة.



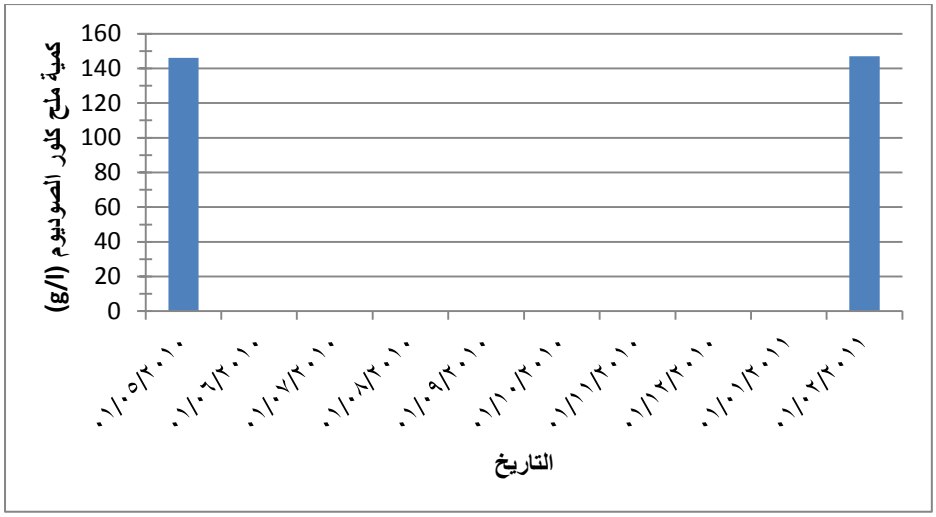
الشكل (24.4) تغير كمية الملح المنحل في الماء المرافق للنفط للخط JAF 112

يبين الشكل (25.4) تغير كمية ملح كلور الصوديوم المرافق للنفط للخط **JAF 114**، حيث يظهر أن كمية ملح كلور الصوديوم حدث انخفاض في كمية الملح عند المقارنة بين الشهر التاسع والسادس من نفس العام ثم أظهرت القياسات ارتفاع الكمية في بداية عام 2011.



الشكل (25.4) تغير كمية الملح المنحل في الماء المرافق للنفط للخط JAF 114

يبين الشكل (26.4) تغير كمية ملح كلور الصوديوم المرافق للنفط للخط **JAF 115**، حيث كانت كمية الملح في القراءتين متقاربة وبفاصل زمني كبير.



الشكل (26.4) تغير كمية الملح المنحل في الماء المرافق للنفط للخط JAF 115

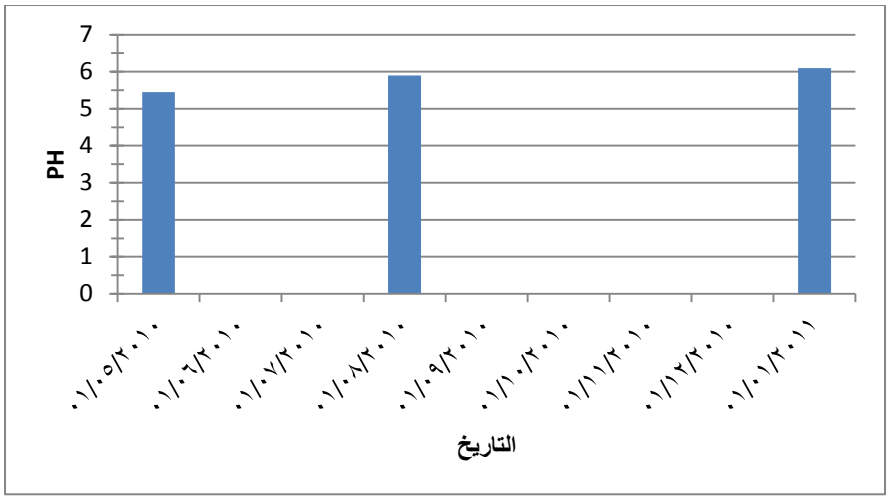
إنَّ كمية الأملاح ليست ثابتة وهي قيمة لحظية ترتبط بطبيعة البئر بالزمن التي تؤخذ عنده القراءة.

يؤدي انحلال ملح كلور الصوديوم في الماء المرافق إلى تفككه والحصول على شوارد الكلور والتي تزيد من معدل التآكل.

7.4.4 تغير قيم الحموضة:

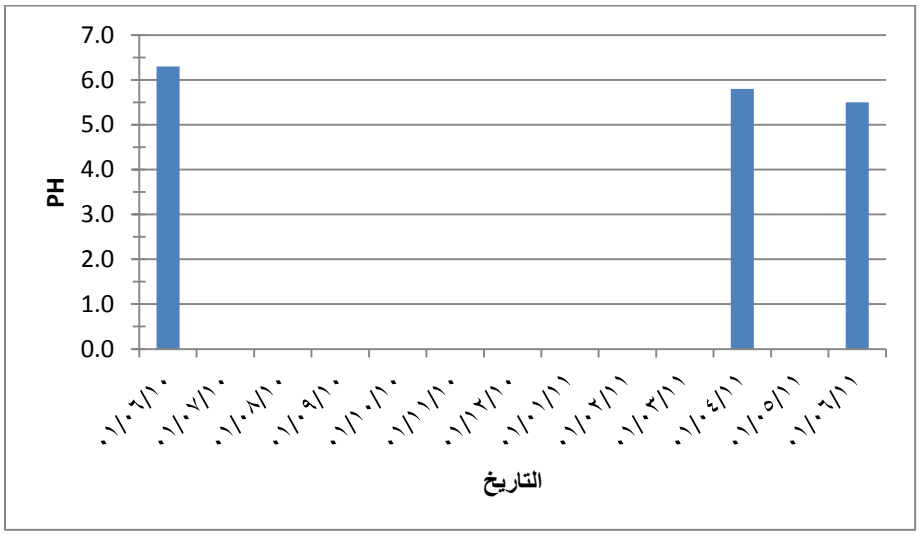
تبين الأشكال التالية قيم الحموضة للماء المرافق حيث يتم قياسها في نفس عينة قياس ملح كلور الصوديوم.

يبين الشكل (27.4) تغير درجة الحموضة للنفط للخط **JAF 101**، حيث تظهر القراءات المأخوذة أن قيم درجة الحموضة تزايدت بشكل طفيف وحتى بداية عام 2011 إذ وصلت إلى 6 .



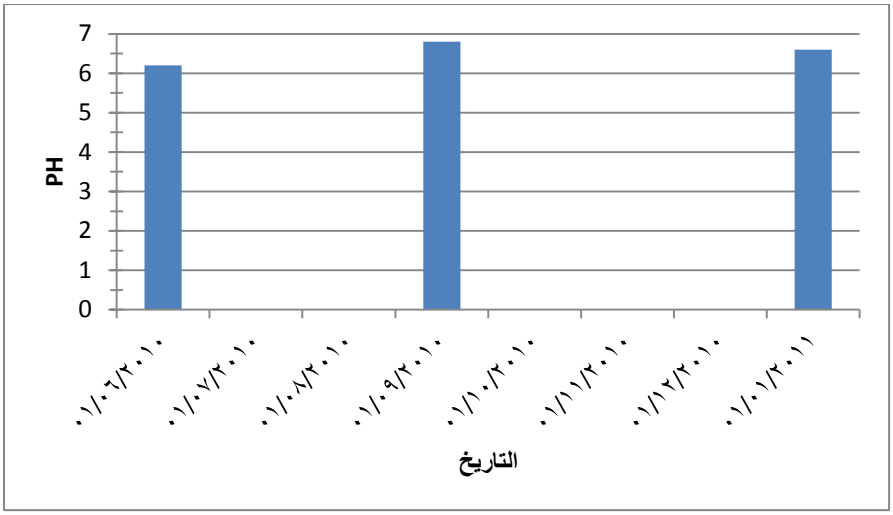
الشكل (27.4) تغير قيمة الحموضة للخط (JAF 101).

يبين الشكل (28.4) تغير درجة الحموضة للنفط للخط **JAF 112**، القياسات التي أجريت لحموضة الماء المرافق أظهرت تناقص طفيف في درجة الـ PH لمثل نفس الفترة من السنة.



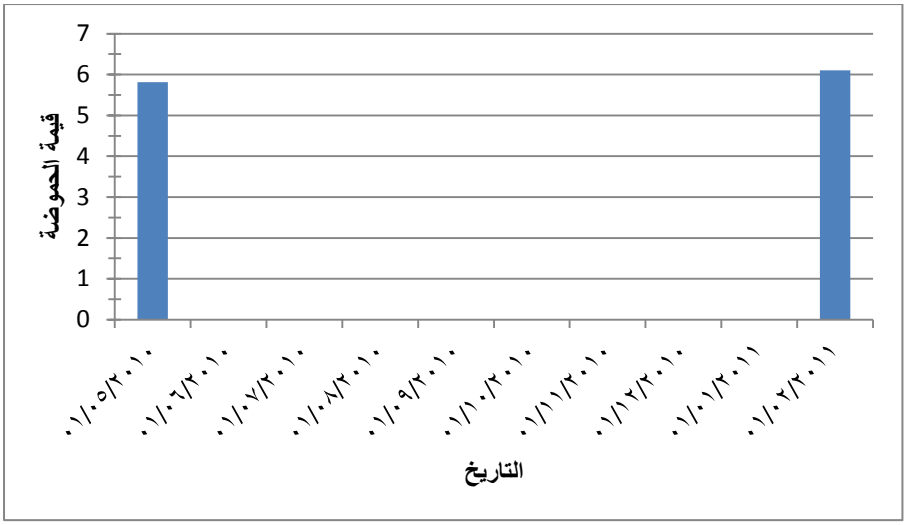
الشكل (28.4) تغير قيمة الحموضة للخط JAF 112

يبين الشكل (29.4) تغير درجة الحموضة للنفط للخط **JAF 114** حيث كانت قيمة الـ PH متراوحة بين (6–7) عند أخذ القراءات.



الشكل (29.4) تغير قيمة الحموضة للخط JAF 114

يبين الشكل (30.4) تغير درجة الحموضة للنفط للخط **JAF 115**، حيث ازدادت درجة PH زيادة قليلة بين القراءتين المأخوذتين.



الشكل (30.4) تغير قيمة الحموضة للخط JAF 115

8.4.4 كمية حقن مضاد التآكل الكيميائي:

يتم ضخ مادة (NALCO – EC 1145 A) والتي تعمل كمضاد تآكل تخفض معدل التآكل الداخلي عن طريق تكوين فيلم رقيق يغلف الجدار الداخلي للأنبوب، حيث يتم حقنها من خلال مضخة تعمل بضغط الغاز الطبيعي عند رأس البئر كما هو موضح بالشكل (31.4) الذي يبين خزان المادة الكيميائية مع تجهيزات الغاز والمضخة، حيث يتم حقنه من خلال نقطة حقن تلي شجرة الميلاد النفطية ويظهر الشكل (32.4) نقطة الحقن على خط النفط.

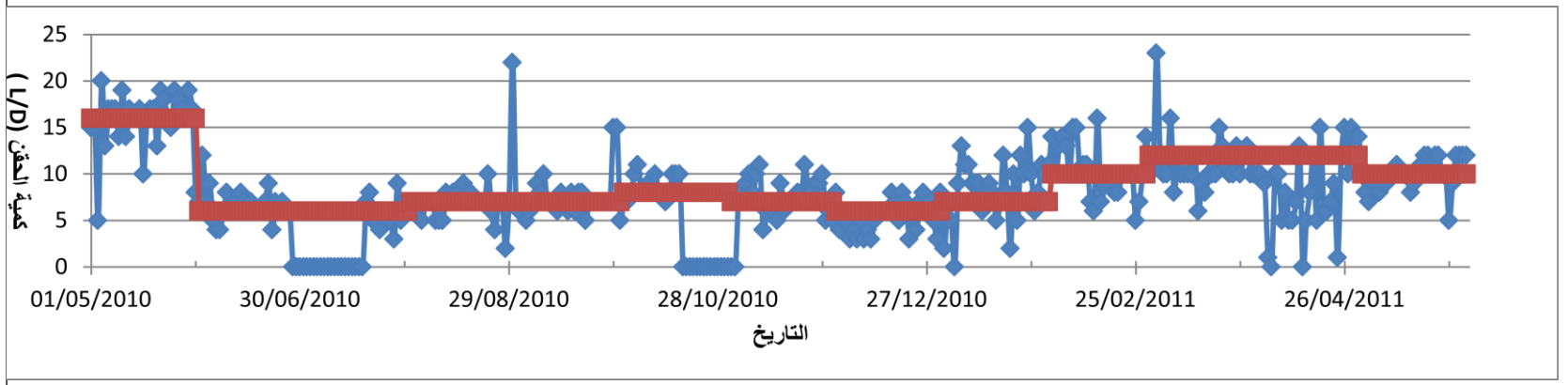
إذا تم حقن هذه المادة وبالكمية المناسبة للظروف المتوافرة فإنها تعمل وبشكل ملحوظ على تخفيض معدل التآكل الداخلي مقارنةً مع حالة عدم وجودها، يتم احتساب كمية المادة الواجب حقنها اعتماداً على كمية الماء المرافق للنفط فقط وعدد الجزيئات الواجب توافرها من المادة الكيميائية في لتر من الماء المرافق وذلك بحسب توصيات الشركة المصنعة للمادة.

الشكل (31.4) تجهيزات حقن مضاد التآكل.

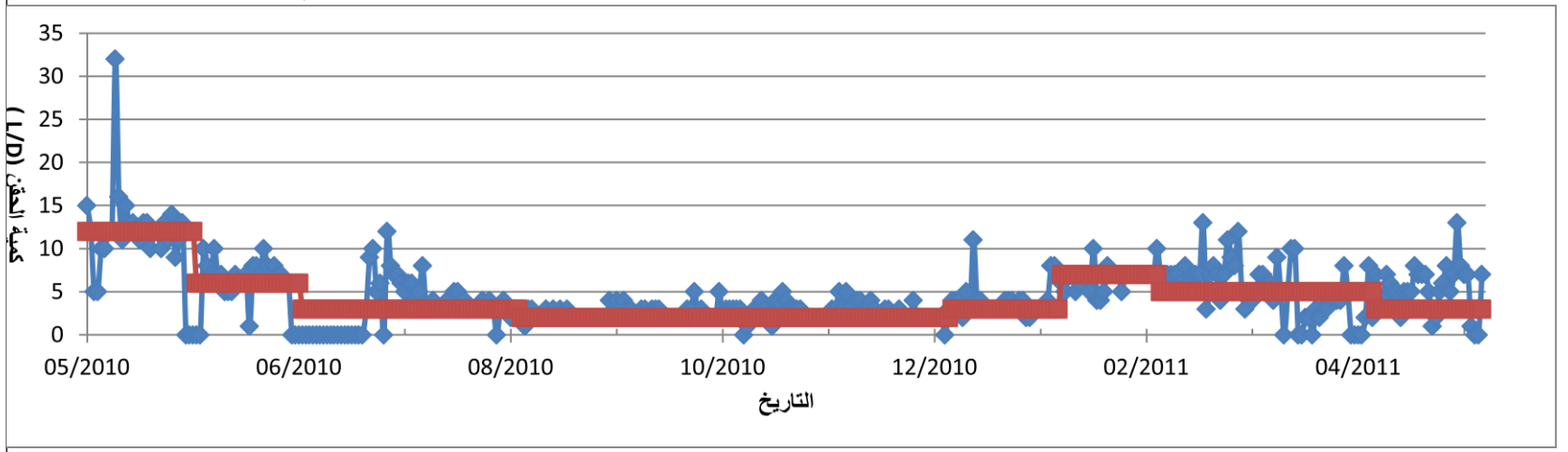
الشكل (32.4) موضع الحقن على خط النفط.

إنَّ توقف الحقن الكيميائي خلال فترة وجيزة يسبب أضرار جسيمة إذ تزال طبقة الفيلم الذي يحمي المعدن تدريجياً وخصوصاً رافق تلك الفترة ارتفاع في الضغط، وبالتالي يبقى المعدن مكشوف مع إمكانية استمرار التآكل.

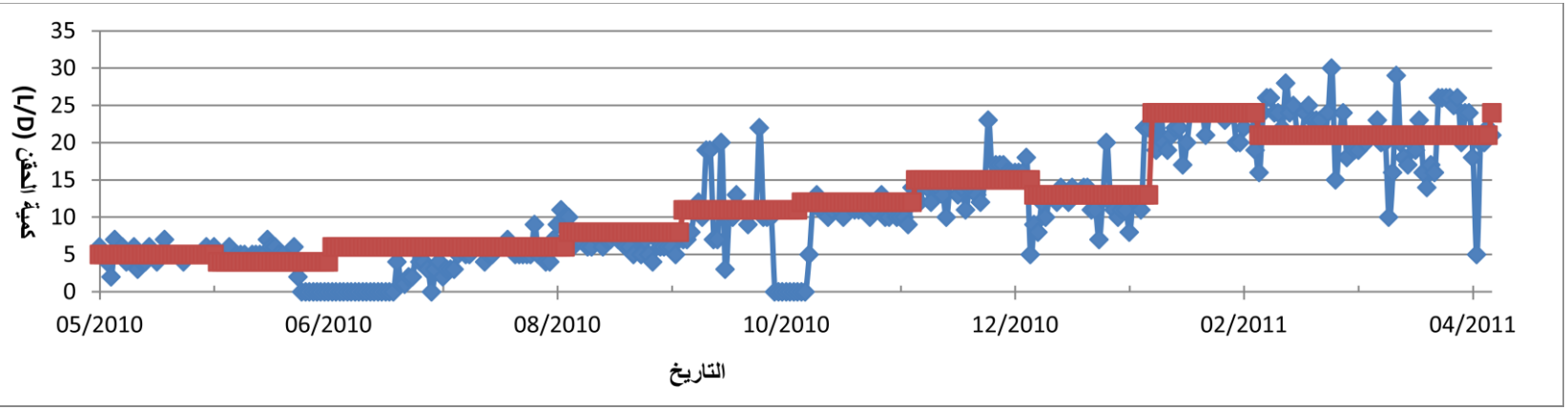
تُبين الأشكال (33.4)، (34.4)، (35.4)، (36.4) تغير كمية المادة المطلوب حقنها والكمية المحقونة فعلياً خلال الفترة المدروسة. حيث نجد أن المادة المضادة للتآكل توقفت في فترات عدة وهذا التوقف عائد في مجمله لسببين فإما تأخر في توريد الشحنة من قبل المصنع أو لأعطال أصابت المضخات، لكن لم يعمل على زيادة نسبة هذه المادة في الأشهر التي تلت هذا التوقف لتدارك وترميم الطبقة الزيتية المضادة للتآكل وذلك لاعتماد مقدار هذه النسبة على فحص الماء المرافق للنفط فقط دون ادخال عوامل تصحيحية أخرى على المعادلة المحددة لتلك النسبة مما يستدعي ضرورة إعادة النظر في هذه الطريقة وادخال العوامل المعتمدة على الخبرة لتقييم النسبة، عدا عن ذلك هناك عدم تطابق بين الكمية المطلوبة والممثلة بالخط المستقيم و الكمية المحقونة فعلاً من مضاد التآكل وهذا عائد لعدة أسباب منها سوء المضخات المستخدمة لهذا الغرض لكثرة أعطالها وعدم إمكانية التحكم بها بشكل جيد وبالتالي يستدعي ذلك استبدال هذه المضخات تدريجياً بأخرى يمكن التحكم بدقتها بشكل أفضل وذات مصدر يمكن من استيراد القطع البديلة باستمرار.



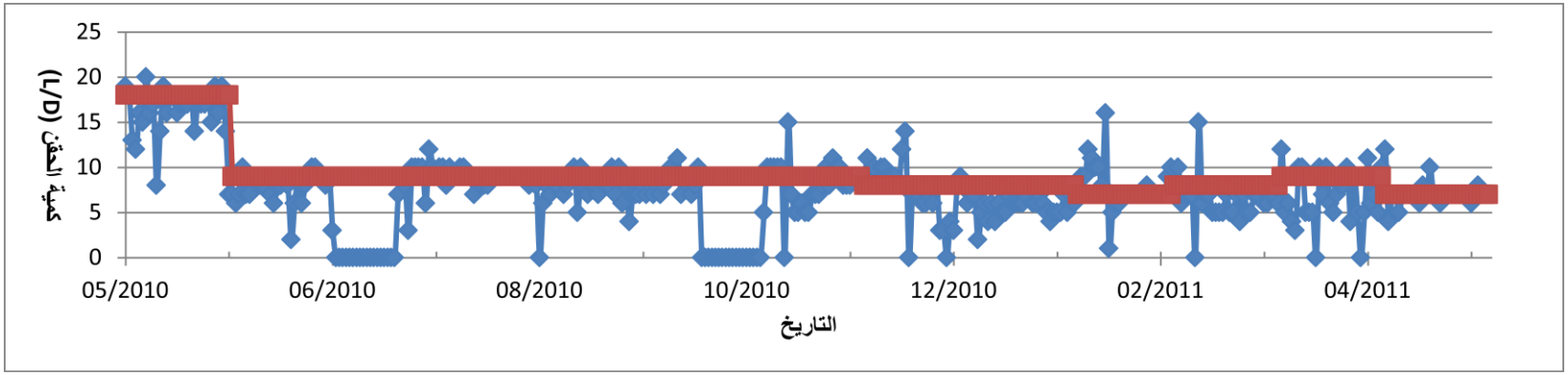
الشكل (33.4) تغير كمية حقن مضاد التآكل للخط JAF 101، الخط المستقيم الأحمر: الكمية المطلوب حقنها في الشهر



الشكل (34.4) تغير كمية حقن مضاد التآكل للخط الخط المستقيم: الكمية المطلوب حقنها في الشهر



الشكل (35.4) تغير كمية حقن مضاد التآكل للخط (JAF 114). الخط المستقيم الأحمر: الكمية المطلوب حقنها في الشهر



الشكل (36.4) تغير كمية حقن مضاد التآكل للخط JAF 115. الخط المستقيم الأحمر: الكمية المطلوب حقنها في الشهر

5.4 حساب معدل التآكل الداخلي بطريقة الوزن المفقود:

1.5.4 اختبار الوزن المفقود لأنابيب النفط في الحقل:

- تم احتساب معدل التآكل الداخلي وفقاً للوزن المفقود للشرائح المعدنية بعد نزعها من خطوط نقل النفط كما هو مبين بالفقرة (8.2.2) وحسب المعادلة (1) مقدراً بـ MPY
- مقدار حد التآكل المسموح به وضع بالاعتماد على التوصيات من قبل الشركة الصانعة للأنابيب **CASCO** بناء على دراسات خاصة.
- المساحة الجانبية السطحية للكوبون والمعرضة للسائل $33\ cm^2$.
- كثافة الفولاذ المستخدم $7.8\ g/cm^3$.
- فترة الدراسة من 2010/5 إلى 2011/5.

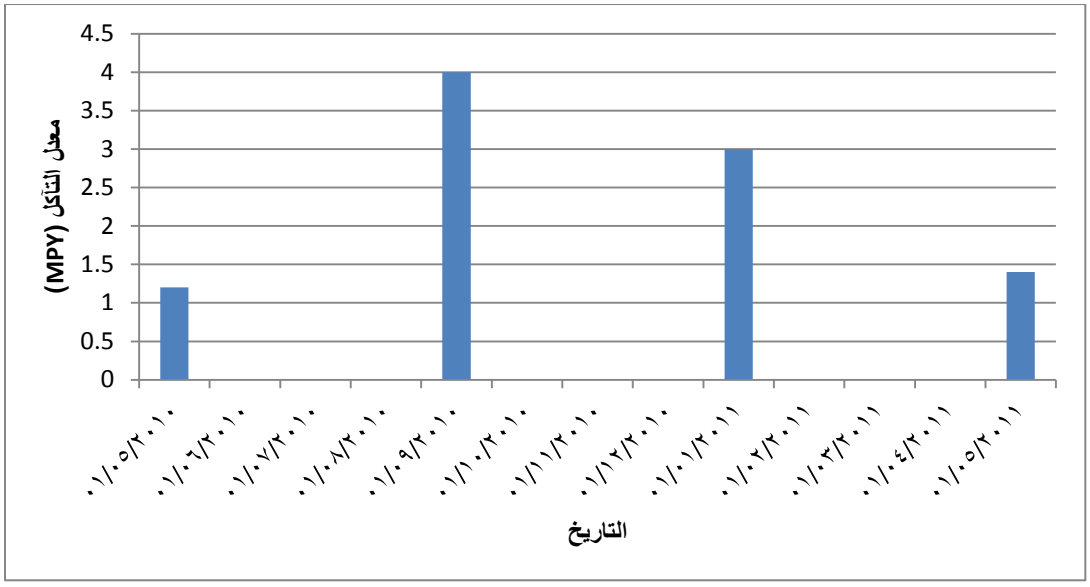
تبين الجداول التالية وزن الشريحة المعدنية قبل ادخالها، وبعد إخراجها تم أخذ مقادير الوزن المفقود لمعرفة الوزن المفقود.

يبين الجدول التالي (4.4) حساب معدل التآكل الداخلي للخط **JAF 101** بطريقة الوزن المفقود.

الجدول (4.4) حساب معدل التآكل لخط (jaf 101).

الموقع	رقم الكوبون التسلسلي	الوزن الأولي (g)	الوزن المتبقي(g)	تاريخ الوضع	تاريخ النزع	MPY
Jaf 101	VZ 055	36.5622	36.348	09/02/2010	20/05/2010	1.2
	YQ 607	36.5169	35.681	20/05/2010	15/09/2010	**4**
	XR 242	36.5211	35.885	15/09/2010	12/01/2011	3
	XE984	36.689	36.364	12/01/2011	18/05/2011	1.4

أما الشكل (37.4) فيبين تغير قيمة معدل التآكل خلال الفترة المدروسة، ويظهر من خلاله أنَّ هذا معدل التآكل كان في الفترة المدروسة ضمن الحدود المسموح بها المطلوبة من قبل الشركة المصنعة باستثناء الفترة من الشهر الخامس إلى التاسع من عام 2010.



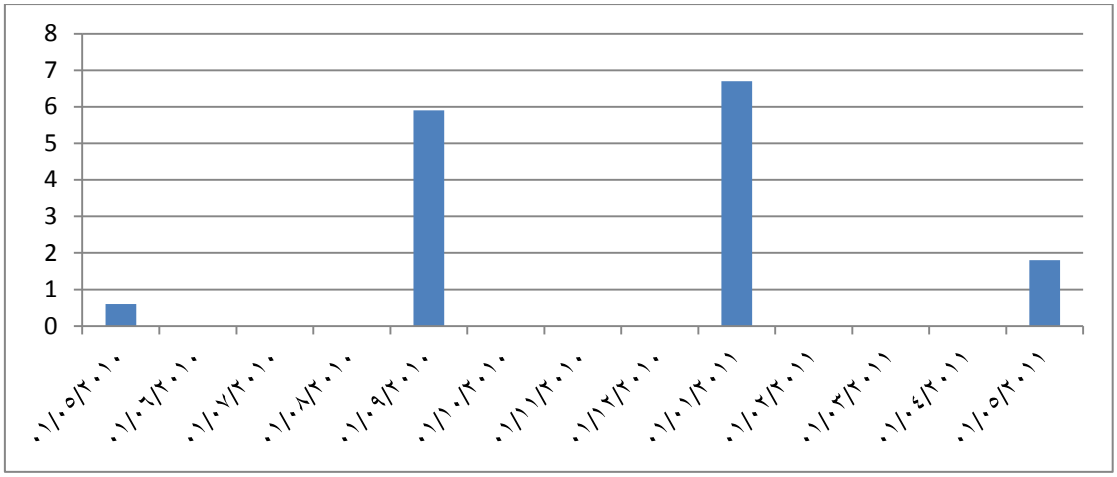
الشكل (37.4) معدل التآكل الداخلي لخط (JAF 101).

يبين الجدول (5.4) حساب معدل التآكل الداخلي للخط **JAF 112** بطريقة الوزن المفقود.

الجدول (5.4) حساب معدل التآكل لخط (JAF 112).

الموقع	رقم الكوبون التسلسلي	الوزن الأولي (g)	الوزن المتبقي (g)	تاريخ الوضع	تاريخ النزع	**MPY**
Jaf 112	YQ 618	35.8561	35.75002	10/02/2010	20/05/2010	0.6
	YQ 609	36.6975	35.4419	20/05/2010	15/09/2010	**5.9**
	XE 980	36.8734	35.4533	15/09/2010	12/01/2011	**6.7**
	YQ 545	36.4761	36.0674	12/01/2011	18/05/2011	1.8

يظهر الشكل (38.4) تغير قيمة معدل التآكل الداخلي لخط الأنابيب JAF 112 حسب طريقة الوزن المفقود ويظهر من خلاله أنَّ هذا المعدل كان في الفترة المدروسة ضمن الحدود المسموح بها المطلوبة من قبل الشركة المصنعة باستثناء الفترة من الشهر الخامس من عام 2010 إلى الشهر الأول من عام 2011.



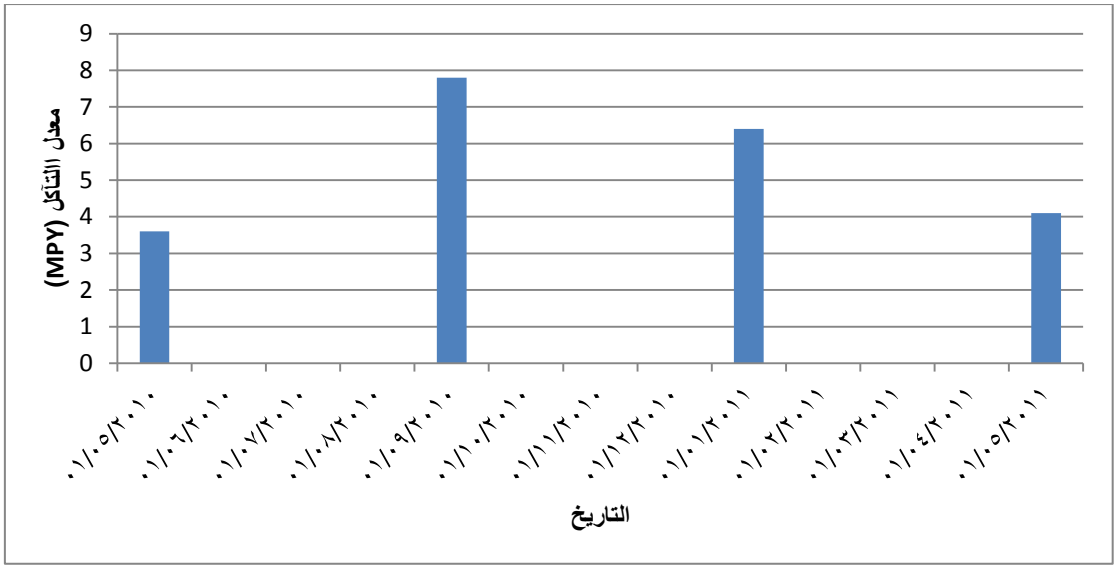
الشكل (38.4) معدل التآكل الداخلي لخط (JAF 112).

يبين الجدول (6.4) حساب معدل التآكل الداخلي للخط **JAF 114** بطريقة الوزن المفقود.

الجدول (6.4) حساب معدل التآكل لخط (jaf 114).

الموقع	رقم الكوبون التسلسلي	الوزن الأولي (g)	الوزن المتبقي (g)	تاريخ الوضع	تاريخ النزع	**MPY**
Jaf 114	YQ 610	36.2192	35.58435	10/02/2010	20/05/2010	3.6
	YQ 547	36.8794	35.2206	20/05/2010	15/09/2010	**7.8**
	XR 231	36.061	34.7028	15/09/2010	12/01/2011	**6.4**
	YQ 607	35.6173	34.6937	12/01/2011	18/05/2011	**4.1**

يظهر الشكل (39.4) تغير معدل التآكل الداخلي لخط الأنابيب JAF 114 حسب طريقة الوزن المفقود ويظهر من خلاله أنَّ هذا المعدل كان في الفترة المدروسة أعلى من الحدود المسموح بها المطلوبة من قبل الشركة المصنعة.



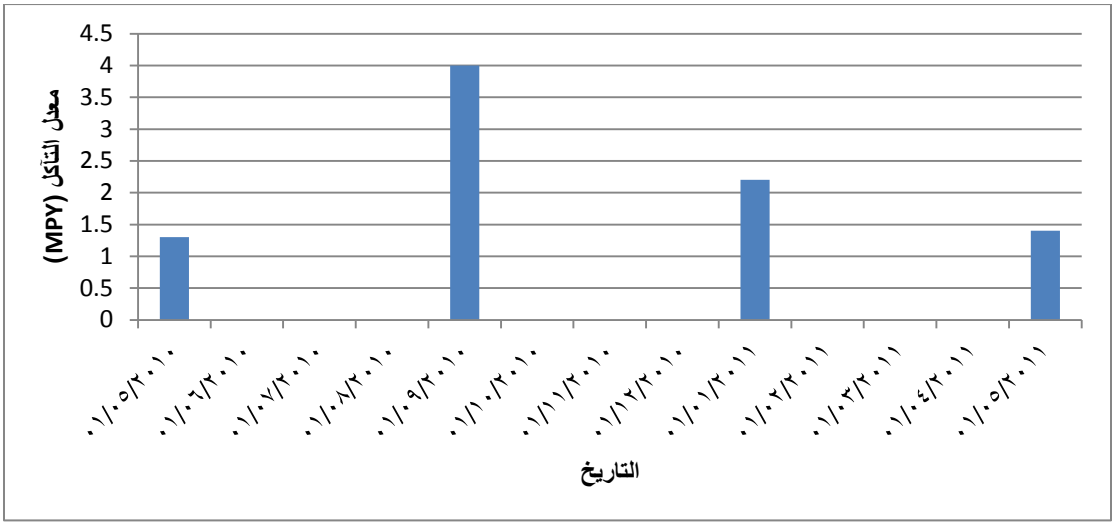
الشكل (39.4) معدل التآكل الداخلي لخط (JAF 114).

يبين الجدول (7.4) حساب معدل التآكل الداخلي للخط **JAF 115** بطريقة الوزن المفقود.

الجدول (7.4) حساب معدل التآكل الداخلي للخط (JAF 115).

الموقع	رقم الكوبون التسلسلي	الوزن الأولي (g)	الوزن المتبقي(g)	تاريخ الوضع	تاريخ النزع	**MPY (ميلي إنش بالسنة)**
Jaf 115	YQ 553	35.9372	35.711	10/02/2010	20/05/2010	3.6
	YQ 602	36.7418	35.9045	20/05/2010	15/09/2010	**4**
	XE 986	36.2100	35.747	15/09/2010	12/01/2011	2.2
	YQ546	36.0136	35.703	12/01/2011	18/05/2011	1.4

يظهر الشكل (40.4) ناتج حساب معدل التآكل الداخلي لخط الأنابيب JAF 115 حسب طريقة الوزن المفقود ويظهر من خلاله أنَّ هذا المعدل كان في الفترة المدروسة ضمن الحدود المسموح بها المطلوبة من قبل الشركة المصنعة باستثناء الفترة من الشهر الخامس إلى التاسع من عام 2010 حيث وصل إلى الحد الأعلى المسموح به.



الشكل (40.4) معدل التآكل الداخلي لخط (JAFRA 115).

يبين الجدول (8.4) خلاصة المعطيات السابقة حيث بمقارنة نتائج تغير معدل التآكل الداخلي مع تغير العوامل المسببة لهذا التآكل يمكن التوصل إلى العناصر التي أثرت مع بعضها لإحداث التآكل الداخلي.

الجدول (8.4): العوامل التي أثرت على معدل التآكل الداخلي، 1: مؤثر 0: غير مؤثر،

	JAF 101	JAF 112	JAF 114	JAF 115
الضغط	1	1	1	0
درجة الحرارة	0	0	1	0
تغيرات كمية النفط الخام الصافي المستخرج	0	0	0	1
تغيرات كمية الماء المرافق للنفط	0	0	1	0
تغيرات كمية الغاز المرافق للنفط	0	1	1	0
تغير قيم الحموضة	0	0	0	0
كمية حقن مثبط التآكل الكيميائي	1	1	0	1

2.5.4 اختبار الوزن المفقود باستخدام جهاز التآكل الكيميائي:

- تمَّ استخدام الجهاز المبين في الشكل (13.3) السابق لدراسة تأثير شاردة الكلور ومثبط التآكل على معدل التآكل الداخلي حيث لا توجد قيم مرجعية تبين الخطر الناتج عن شاردة الكلور وإمكانية تلافي هذا الخطر عن طريق حقن مثبط التآكل.
- تمَّ الحصول على شاردة الكلور بالتجربة من حمض كلور الماء بتركيز 36% حيث يتفكك بالتفاعل إلى شاردة الكلور التي تؤدي إلى تآكل المعدن و غاز الهيدروجين.
- المعادلة المستخدمة لحساب معدل التآكل الداخلي:

$$CR = \frac{[(W1 - W2) * 365 * 24]}{S * \rho * (T2 - T1) * 0.00254}$$

1.2.5.4 تأثير وجود الجريان على معدل التآكل:

إنَّ أغلب تجارب التآكل الكيميائي التي تُجرى ضمن المخابر تكون ضمن محلول راكد من السائل المسبب للتآكل مما يؤدي إلى تشكل طبقة من الغاز أو نواتج التآكل توصل المعدن إلى حالة الخمول، أمّا في الواقع يتعرض المعدن المعرض للتآكل ضمن وسط متجدد مما يؤدي إلى استمرار ظاهرة التآكل. شروط التجربة:

- الضغط الجوي النظامي
- درجة حرارة ^{o}C 50-60
- مدة التجربة ساعة واحدة.
- كمية حمض كلور الماء 15 مل لكل لتر من الماء.
- كمية مثبط التآكل 25 ppm (جزء بالمليون جزء)

يبين الجدول (9.4) معدل التآكل عند غمر الشرائح المعدنية بمحلول حمض كلور الماء وبدون جريان،

الجدول (9.4) نتائج معدل التآكل بطريقة الغمر بسائل التآكل بدون جريان

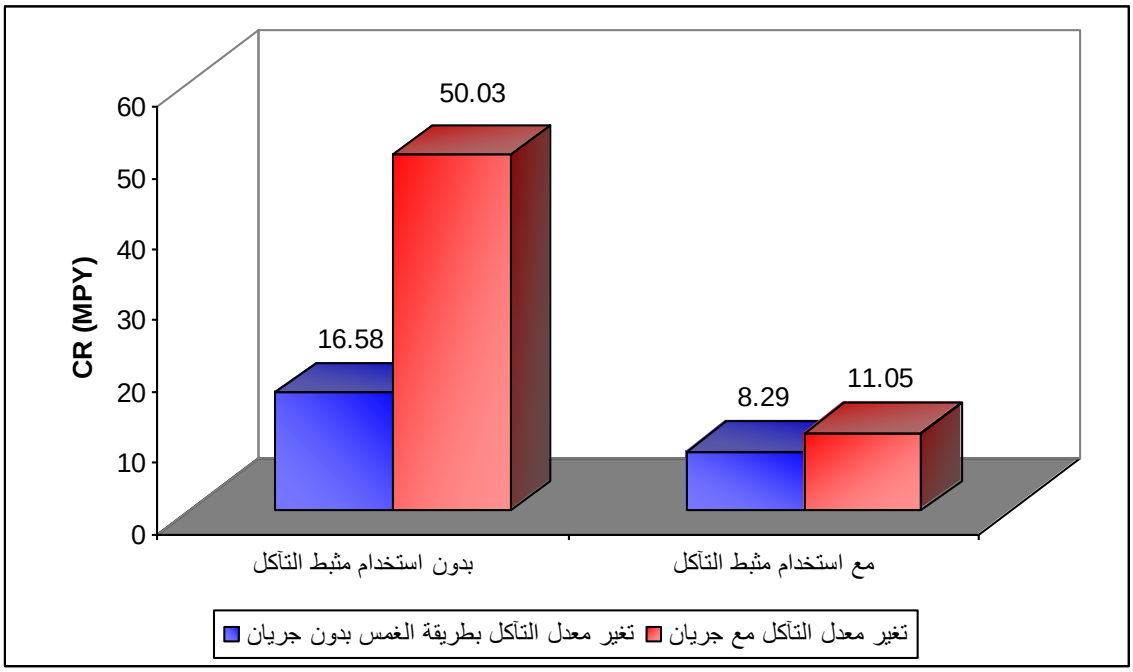
	رقم الكوبون التسلسلي	الوزن الأولي (g)	الوزن المتبقي(g)	**MPY**
بدون وجود مثبط تآكل	NK 520	29.25	29.238	16.58
مع وجود مثبط تآكل	WX 788	32.491	32.485	8.29

يبين الجدول (10.4) معدل التآكل عند غمر الشرائح المعدنية بمحلول حمض كلور الماء مع وجود جريان تأمنه المضخة.

الجدول (10.4) نتائج معدل التآكل بطريقة الغمر بسائل التآكل مع وجود جريان

	رقم الكوبون التسلسلي	الوزن الأولي (g)	الوزن المتبقي(g)	**MPY**
بدون وجود مثبط تآكل	AF 897	32.977	32.935	58.03
مع وجود مثبط تآكل	NK 520	29.179	29.171	11.05

يبين الشكل (41.4) الموازنة بين معدل التآكل مع استخدام مثبط التآكل ومعدله بدون استخدام مضاد التآكل وذلك في طريقتي الغمر بدون جريان وفي حالة وجود جريان للسائل المسبب للتآكل. حيث يظهر زيادة معدل التآكل وبشكل كبير في غياب وجود مضاد التآكل في حال وجود الجريان أو بغيابه لكن بنسب متفاوتة، فبينما يكون التغير قليلاً في حال وجود مثبط التآكل يصل التغير في معدل التآكل في غيابه إلى مستويات عالية.



الشكل (41.4) تأثير الجريان ومثبط التآكل على معدل التآكل

من النتائج السابقة نجد أنَّ:

- لا يمكن استخدام طريقة الغمس للحصول على نتائج في هذه أنواع التآكل التي يحدث فيها جريان للمادة الآكالة.
- الاختلاف في النتائج يحدث نتيجة:

1- مضاد التآكل: حيث يقوم مضاد التآكل ببناء غشاء حول سطح المعدن وبالتالي يعمل السائل على تجريف هذا الغشاء أولاً ليصل إلى المعدن الأمر الذي يبين فعالية مضاد التآكل في حماية المعدن.

2- تشكل غاز الهيدروجين بالقرب من سطح المعدن عند حدوث التفاعل الكيميائي بين حمض كلور الماء وسطح المعدن، حيث يعمل غاز الهيدروجين على التجمع حول الكوبون إلى أن يشكل جراباً غازياً يؤدي إلى حالة الخمول وتوقف عملية التآكل. أما في حالة الجريان المستمر للمادة المسببة للتآكل فإنَّ غاز الهيدروجين المتشكل يُعمل على إزالته باستمرار نتيجة جريان السائل وبالتالي يبقى سطح المعدن مكشوف ويستمر التفاعل بين الحمض والمعدن مما يؤدي إلى معدل تآكل كبير.

2.2.5.4 تأثير تغير كمية حمض كلور الماء على معدل التآكل:

شروط التجربة:

- الضغط الجوي النظامي
- درجة حرارة ^{o}C 50-60
- تركيز حمض كلور الماء 36%
- مدة التجربة ساعة واحدة.

يبين الجدول (11.4) تغير معدل التآكل عند غمر الشرائح المعدنية بمحلول حمض كلور الماء مع الجريان عند تغير كمية حمض كلور الماء الموجودة في لتر ماء.

الجدول (11.4) نتائج معدل التآكل بطريقة الغمر بسائل التآكل مع وجود جريان

حمض كلور الماء في لتر من الماء (ml)	رقم الكوبون التسلسلي	الوزن الأولي (g)	الوزن المتبقي (g)	**MPY**
25	NK 520	29.232	29.179	73.23
15	AF 897	32.977	32.935	58.03
5	WX 788	32.485	32.479	8.29

من النتائج نجد:

- بزيادة كمية حمض كلور الماء يزداد معدل التآكل.
- يتخطى معدل التآكل الحد الأعظمي المسموح به عند جميع الكميات المدروسة من حمض كلور الماء و ذلك عند عدم وجود أي عوامل أخرى.

3.2.4.5 تأثير وجود مثبط التآكل مع حمض كلور الماء على معدل التآكل:

شروط التجربة:

- الضغط الجوي النظامي
- درجة حرارة ^{o}C 50-60
- التدفق
- تركيز حمض كلور الماء 36%
- كمية حمض كلور الماء 15 مل لكل لتر من الماء.
- مدة التجربة ساعة واحدة.
- كمية مثبط التآكل 25 ppm

يبين الجدول (12.4) تغير معدل التآكل عند تغير كمية حمض كلور الماء الموجودة في لتر ماء وذلك بوجود مثبط التآكل.

الجدول (12.4) يبين نتائج معدل التآكل بطريقة الغمر بسائل التآكل مع وجود جريان

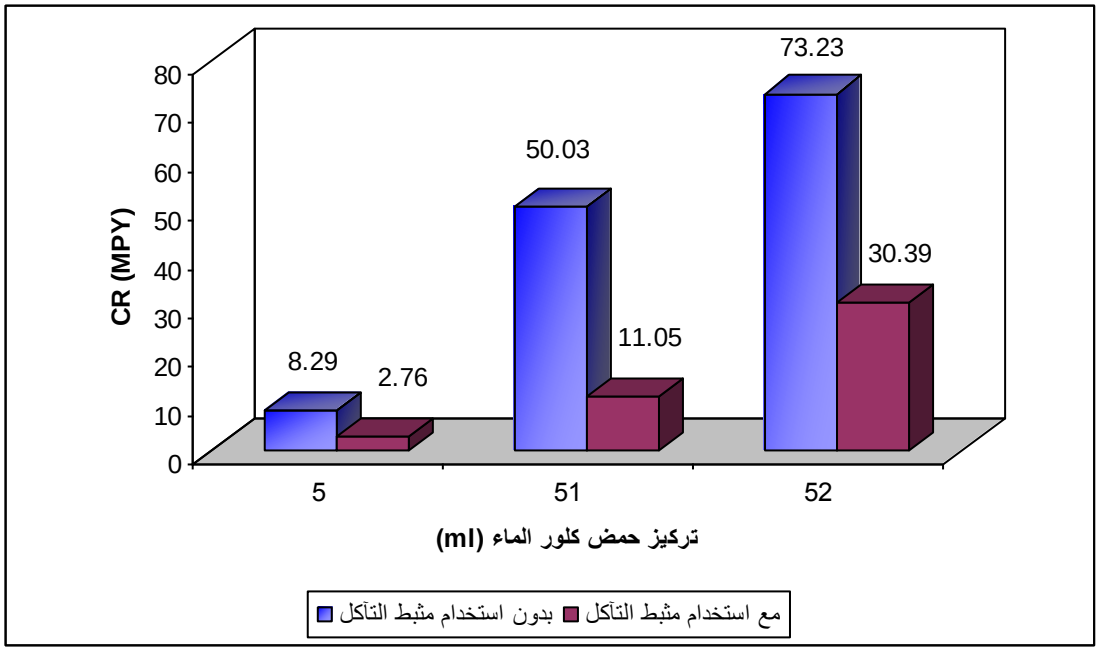
حمض كلور الماء في لتر من الماء (ml)	رقم الكوبون التسلسلي	الوزن الأولي (g)	الوزن المتبقي (g)	**MPY**
25	WX 788	32.513	32.491	30.39
15	NK 520	29.179	29.171	11.05
5	AF 897	32.935	32.933	2.76

من النتائج نجد:

- بزيادة كمية حمض كلور الماء يزداد معدل التآكل.
- معدل التآكل مقبول مسموح عند كمية 5 ml من حمض كلور الماء في لتر من الماء.

- يتخطى معدل التآكل الحد الأعظمي المسموح به عندما تكون الكمية 15، 25 ml من حمض كلور الماء موجودة في لتر من الماء وعند عدم وجود عوامل أخرى.

يبين الشكل (42.4) تأثير زيادة كمية حمض كلور الماء بوجود مثبط التآكل وعدم وجوده.



الشكل (42.4) تأثير الجريان على معدل التآكل

من الشكل السابق نجد أنَّ:

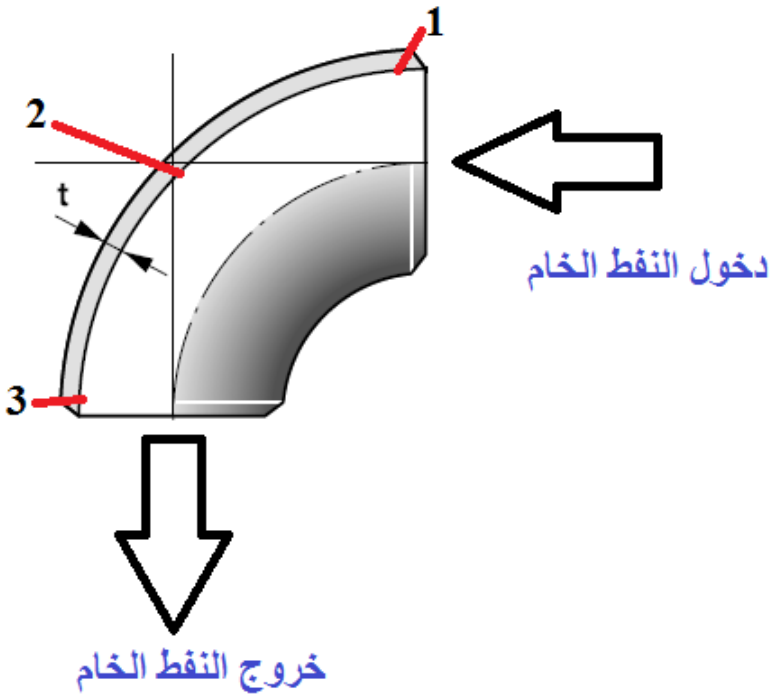
- معدل التآكل يزداد بزيادة كمية حمض كلور الماء.
- يساعد مثبط التآكل على خفض معدل التآكل.
- يختلف معدل التآكل في حالة الركود عنه في حالة الجريان.

6.4 حساب معدل التآكل الداخلي بطريقة الأمواج فوق الصوتية:

تم إجراء اختبار قياس سماكة الجدار المعدني بالأمواج فوق الصوتية على أكواع خطوط النفط JAF 101, JAF 112, JAF 114, JAF 115 الواقعة عند رأس البئر لأنها تعد أكثر الأماكن خطراً من ناحية التآكل الداخلي بسبب تغيير الاتجاه.

يجرى الاختبار في ثلاث مواقع لكل كوع بتسلسل موافق لاتجاه الجريان وذلك لتقييم العمر الافتراضي للأنابيب، حيث يبين الشكل (43.4) مواقع إجراء الاختبارات بالأمواج فوق الصوتية.

يتم من خلال هذا الاختبار تحديد إذا وصلت سماكة المعدن للحد الأدنى المسموح بها من قبل الشركة الصانعة بسبب التآكل الداخلي والمقدرة ب (75%) من السماكة التصميمية الأساسية وبالتالي خطر حدوث تسرب.



الشكل (43.4) أماكن القياس بالأمواج فوق الصوتية على الكوع.

يبين الجدول (13.4) نتائج القياس بالأمواج فوق الصوتية لأكواع الخط **JAF 101** حيث وضعت نتيجة أقل قيمة مقاسة للسماكة.

الجدول (13.4) نتائج اختبار الأمواج فوق الصوتية للخط (JAF 101).

	الموقع	أقل سماكة مقاسة (mm)	معدل التآكل الوسطي (MPY)	النسبة المئوية للسماكة المتبقية (%)
JAF 101 العمر (14 سنة) (4") السماكة التصميمية (13.50 mm)	الكوع الأول-1	11.3	6.19	83.70
	2	11.9	4.50	88.15
	3	12.2	3.66	90.37
	الكوع الثاني-1	11.1	6.75	82.23
	2	10.7	7.88	79.26
	3	10.7	7.88	79.26
	الكوع الثالث-1	11.9	4.50	88.15
	2	11.6	5.38	85.93
	3	11.9	4.50	88.15

من الجدول (13.4) نجد أن:

- الكوع الثاني والممثل لبداية توسع الأمان للأنابيب هو الأكثر تضرراً.
- معدلات التآكل بمجملها أعلى من الحد المسموح به (4 MPY).
- النقطتين الثانية والثالثة من الكوع الثاني اقتربتا من الحد الأدنى.

يبين الجدول (14.4) نتائج القياس بالأمواج فوق الصوتية لأكواع الخط **JAF 112** حيث وضعت نتيجة أقل قيمة مقاسة للسماكة.

الجدول (14.4) نتائج اختبار الأمواج فوق الصوتية للخط (JAF 112).

JAF 112 العمر (7 سنوات) (4") السماكة التصميمية (13.50 mm)	الموقع	أقل سماكة مقاسة (mm)	معدل التآكل الوسطي (MPY)	النسبة المئوية للسماكة المتبقية (%)
	الكوع الأول-1	11.6	5.35	85.93
	2	10.9	7.32	80.74
	3	11.6	5.35	85.93
	الكوع الثاني-1	11.0	7.04	81.48
	2	11.6	5.35	85.93
	3	11.3	6.19	83.70

تم أخذ كوعين فقط على خط JAF 112 لوجود مكان لوصلة يمكن تركيبها مستقبلاً بدل الكوع الثالث، حيث من الجدول (14.4) نجد أنَّ:

- الكوع الأول والثاني بنفس درجة الضرر تقريباً.
- معدلات التآكل بمجملها أعلى من الحد المسموح به (4 MPY) وبشكل متوسط نسبياً.
- النقاط بمجملها أعلى من الحد الأدنى المسموح به.

يبين الجدول (15.4) نتائج القياس بالأمواج فوق الصوتية لأكواع الخط **JAF 114** حيث وضعت نتيجة أقل قيمة مقاسة للسماكة.

الجدول (15.4) نتائج اختبار الأمواج فوق الصوتية للخط (JAF 114).

	الموقع	أقل سماكة مقاسة (mm)	معدل التآكل الوسطي (MPY)	النسبة المئوية للسماكة المتبقية (%)
JAF 114 العمر (5 سنوات) (4") السماكة التصميمية (13.5 mm)	الكوع الأول-1	11.2	18.12	82.96
	2	11.3	17.34	83.70
	3	11.5	15.76	85.19
	الكوع الثاني-1	11.8	13.40	87.41
	2	11.9	12.61	88.15
	3	12.1	11.03	89.63
	الكوع الثالث-1	10.4	24.43	77.04
	2	11.0	19.70	81.48
	3	11.4	16.55	84.44

من الجدول (15.4) نجد أن:

- مجمل الأكواع بنفس النسبة تقريباً من الضرر ونقطة دخول المزيج للكوع (النقطة الأولى) هي الأشد تضرراً ضمن الكوع الواحد.
- معدلات التآكل بمجملها أعلى من الحد المسموح به 4 MPY وبشكل كبير نسبياً بالنسبة لعمر الخط.
- النقطة الأولى من الكوع الثالث والذي يقع عند التوسع الأمان للخط تمثل نقطة خطر لأنها اقتربت من السماكة الدنيا المسموح بها.

يبين الجدول (16.4) نتائج القياس بالأمواج فوق الصوتية لأكواع الخط **JAF 115** حيث وضعت نتيجة أقل قيمة مقاسة للسماكة.

الجدول (16.4) نتائج اختبار الأمواج فوق الصوتية للخط (JAF 115).

	الموقع	أقل سماكة مقاسة (mm)	معدل التآكل الوسطي (MPY)	النسبة المئوية للسماكة المتبقية (%)
JAF 115 العمر (4 سنين) (6") السماكة التصميمية (14.275 mm)	الكوع الأول-1	13.7	5.7	96
	2	13.8	4.7	96.7
	3	13.2	10.6	92.5
	الكوع الثاني-1	13	12.6	91.1
	2	13.2	10.6	92.5
	3	13.6	6.6	95.3
	الكوع الثالث-1	13.4	8.6	93.9
	2	13.8	4.7	96.7
	3	13.7	5.7	96

من الجدول (16.4) نجد أن:

- مجمل الأكواع بنفس النسبة تقريباً من نقصان السماكة.
- معدلات التآكل بمجملها أعلى من الحد المسموح به 4 MPY وبشكل غير كبير نسبياً.
- السماكة المتبقية لا تزال مرتفعة مقارنة بالسماكة الدنيا المسموح بها والكوع في حالة سليمة وبالتالي الخط بحالة سليمة كلياً.

من النتائج نجد أنَّ الخط JAF 101 وهو الأقدم قد عمر طويلاً ووصل إلى نسبة تآكل مقاربة للخطوط الحديثة وهذا يعود إلى أن النفط في بداية استخراجه في الموقع المدروس 1996 كانت نسبة الماء المرافق فيه قليلة وبالتالي معدل التآكل قليل جداً، إلا أنه في السنوات التالية ازدادت نسبة الماء

المرافق تدريجياً ولهذا بتنا نحصل على سماكة معدنية متبقية للأنبوب متقاربة بين الخطوط الموضوعة في الخدمة منذ سنوات قليلة مثل الخط JAF 112 والخطوط الموضوعة منذ بداية التشغيل الأمر الذي يجعل الحاجة ملحة في هذا الوقت لمراقبة شديدة لمعدلات التآكل.

الخط JAF 114 كان الأكثر تضرراً من ناحية النقصان بالسماكة لجدار الأنبوب المعدني بالرغم من العمر القصير نسبياً، وإذا أضفنا إلى هذه النتائج ما تم التوصل إليه من اختبار الوزن المفقود نجد أنَّ هذا الخط يتعرض إلى متغيرات باستمرار تؤدي إلى زيادة في معدل التآكل الداخلي، بينما نجد أنَّ نتائج ومتغيرات الخط JAF 115 كانت ضمن الحدود المسموح بها.

النتائج:

1- وُجد أنَّ نتائج:

- التحليل الكيميائي.
- اختبار القساوة.
- اختبار الشد

مطابقة للمواصفة GS EP PLR 201.

2- يزداد معدل التآكل الداخلي بحسب الدراسة الحقلية وذلك:

- بزيادة ضغط النفط الخام إلى الضغط العالي فوق 2 MPa.
- بتوقف حقن مثبط التآكل مدة كافية لتجريف طبقة الحماية المتشكلة.
- بزيادة كمية الماء المرافق (وسط التآكل).

3- لا يظهر تأثير درجة الحرارة بمجال تراوح 60 - 80 درجة مئوية على معدل التآكل الداخلي بشكل واضح ومستقل عن بقية العوامل الأخرى.

4- درجة الـ PH أعلى من 3 وبالتالي لا تساهم في ظاهرة التآكل من ناحية الحموضة.

5- يزداد معدل التآكل الداخلي بحسب الدراسة بجهاز التآكل الكيميائي:

- بتناقص المادة المثبطة للتآكل.
- بزيادة كمية شاردة الكلور.
- بوجود الجريان مقارنة مع حالة الغمس بدون جريان.

6- يساعد مثبط التآكل على تثبيط التآكل بشكل جزئي عند زيادة كمية حمض كلور الماء.

7- في أنابيب النفط التي تزداد فيها كمية الماء المرافق يزداد التآكل الداخلي فيها عند الأكواع وذلك من خلال دراستها بطريقة الأمواج فوق الصوتية.

8- تكون نقطة الصدم الأولى عند دخول النفط الخام الى الكوع أكثر عرضة للتآكل من باقي نقاط الصدم.

التوصيات:

1- زيادة حقن مثبط التآكل عند:

- زيادة الضغط إلى الضغط العالي.
- زيادة كمية ملح كلور الصوديوم.

2- توضع رأس حقن مثبط التآكل يجب أن يكون بحسب طبيعة الجريان.

3- التقليل ما أمكن من فترات رفع الضغط بواسطة تقنية الغاز المرافق.

4- تصوير النقطة الأولى من الكوع الثالث للخط JAF 114 لمعرفة حجم وشكل الضرر الحاصل.

5- دراسة إمكانية أن يكون حرف U على خط النفط عند رأس البئر بزوايا منفرجة.

6- القيام بدراسة تحدد فيها مناطق الخطر بحسب طبيعة جريان النفط الخام.

المراجع:

1- Maneesh Singh, Tore Markeset "A methodology for risk-based inspection planning of oil and gas pipes based on fuzzy logic framework" ,Engineering Failure Analysis 16 (2009), pp. 2098–2113.
2- Zadeh LA. "From computing with numbers to computing with words – from manipulation of measurements to manipulation of perceptions". Int J Appl Math Comput Sci 2002;12(3):307–24.
3- Anoop MB, Rao KB, Rao TVSRA. "Application of fuzzy sets for estimating service life of reinforced concrete structural members in corrosive environment". Eng Struct 2002;24:1229–42.
4- Bucolo M, Fortuna L, Nelke M, Rizzo A, Sciacca T. "Prediction models for the corrosion phenomena in pulp and paper plant". Control Eng Pract 2002;10:227–37.
5- Guimaraes ACF. A new methodology for the study of FAC phenomenon based on a fuzzy rule system. Ann Nucl Energy 2003;30:853–64.
6- Petermeier H, Benning R, Delgado A, Kulozik U, Hinrichs J, Becker T.Hybrid model of the fouling process in tubular heat exchangers for the dairy industry. J Food Eng 2002;55:9–17.
7- Z.D. Cui, S.L. Wu, C.F. Li, S.L. Zhu, X.J. Yang "Corrosion behavior of oil tube steels under conditions of multiphase flow saturated with super-critical carbon dioxide" Materials Letters 58 (2004) 1035– 1040
8- Z.D. Cui, S.L. Wu, S.L. Zhu, X.J. Yang "Study on corrosion properties of pipelines in simulated produced water saturated with supercritical CO2" Applied Surface Science 252 (2006) 2368–2374
9- ZHANG.R.; GOPAL.M; and JEPSON.W.P "Development of a Mechanistic Model for Predicting Corrosion Rate in Multiphase Oil/Water Flows." Corrosion/1997, Paper No 601, (Houston, TX: NACE International,)
10- NYBORG.R., 2002 "Overview of CO2 Corrosion Models for Wells and Pipelines." CORROSION/2002, paper no. 233 (Houston, TX: NACE International,).
11- NESIC. S.; WANG. S.; CAI. J. and XIAO. Y., 2004 "Integrated CO2 Corrosion – Multiphase Flow Model." NACE 2004, Paper No.04626, pp.1-25,
12- HIGH. M. S.; WAGNER, J., and NATARAJAN, S., 2000 "Mechanistic Modeling of Mass Transfer in the Laminar Sublayer in Downhole Systems." Corrosion/2000, Paper No. 62, (Houston, TX: NACE International.
13- NYBORG.R.; ANDERSON.P.; and NORDSVEEN.M.; 2000 "Implementation of CO2 Corrosion Models in a Three-Phase Fluid Flow Model." Corrosion/2000, Paper No. 48 (Houston, TX: NACE International)
14- Shiaw-Wen Tien, Wen-Tsung Hwang, Chih-Hung Tsai "Study of a risk-based piping inspection guideline system." ISA Transactions 46 (2007) 119–126

15- A.K. Vuppu, W.P. Jepson, "Study of sweet corrosion in horizontal multiphase carbon steel pipelines", Proceedings of the 4th Annual Offshore and Polar Engineering Conference, Paper No. OCT-7494, 1994, Houston, TX.

16- CORDELL.J; and VANZANT.H, 2000-."All about pigging." Published by on-steam system Ltd, Cirencester, UK

17- CLARIDA. D.; JOHNSTON. J; MCCONNELL. M; and STRONG.R., 1997 "Corrosion and fouling experiences in crude units using low base strength neutralizers." Material Performance, Vol.36, No.7, P.46,

18- أ.إبراهيم ، ي.جوهر. "هندسة التآكل" كلية الهندسة الكيميائية والبترولية بجامعة البعث – حمص – 2007/2006.

19- Fontana, M.G., "Corrosion Engineering", Third Edition, Mcgraw-Hill, Singapore, 1986

20- Byars, H.G., Houston, Texas, 1999"Corrosion Control In Petroleum Production", Second Edition, National Association Of Corrosion Engineers International.

21- ر.عنائي، ه.القيسي "سلوك المواد الهندسية (التأكل)." 2000

22- " CORROSION PRINCIPLES " INSPECÇÃO glap ARL

23- M.LAMSAKI "Corrosion under isolation on offshore facilities." DALHOUSIE university

24- Acid Rain And Water: http://www.ec.gc/acidrain/acidwater.html [2007.17.7]

25- The Control Of Corrosion Under Thermal Insulation And Fireproofing Materials – A System Approach. National Association Of Corrosion Engineers, NACE Standerd RP0198-2004, NACE International, Houston, USA, 2004.

26- خ.عزيمة "هندسة التآكل" كلية الهندسة الميكانيكية – جامعة دمشق - دمشق

27- James B. Bushman. "Corrosion and Cathodic Protection Theory" P.E. Principal Corrosion Engineer Bushman & Associates, Inc Medina, Ohio USA.

28- الموسوي " بحث عن المعادن (الحديد)".

29- Rames R.Frank and Michel Enzien "Environmentally Acceptable Methods Control Pipeline Corrosion.", May 1997 . USA

30- William H.Hartt. "Cathodic Protection Of Steel and Concrete ." Department Ocean Engineering . Florida Atlantic Uneversity . Boca Raton , Florida 33431.1977. USA

31- Corrosion in main Oil & Gas Units: Pipelines, The Total Corrosion Course, November 2008.

32- Internal Corrosion: Causes, assessment, mitigation, monitoring, The Total Corrosion Course, November 2008.

33- شبكة المهندسين العرب " هندسة التآكل "

34- CASCO for oil pipes industry , Hand book Co_2 Corrosion, USA 1996

35- Recommendations for Preventing Hydrogen-Induced Cracking (HIC) in Upstream Operations, EPR EPR.23PS.89

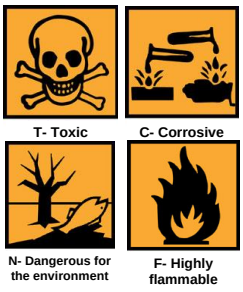
36- Mc Farland, S, "Practical Experience Of Corrosion Under Insulation – Detecion And Mitigation." IOM Corrosion Under Insulation Conference, Sheffield, United Kingdom, 2004.
37- Twomey, M. "Detecting Corrosion Under Insulation" Hydrocarbon Processing, Vol. 76, Pp 76, Jan. 1997.
38- "Biologically Induced Corrosion" NACE 1985
39- Miller, J. M., "Development In NDT Techniques For Use In The Offshore Industry", Institution Of Electrical Engineers, London, United Kingdom, 1999.
40- CASCO for oil pipes industry , Hand book inspection for Corrosion, USA 1996
41- J.Bruce Nestleroth, Richard J. Davis, Battelle "Application of eddy currents induced by permanent magnets for pipeline inspection"., 505 King Ave, Columbus, OH 43201, USA
42- http://www.ndt.net/article
43- Kwun, H. And Light, G. M., "Magnetostictive Sensor Technology Proven In Process Application" Oil And Journal, May 22, 2000.
44- An Introduction To Corrosion Monitoring. master document NO.0147 ,ISSUE E JUNE 05, Santa Fe.Argentina.
45- E. Bardal, J. M. Drugli "Materials Science And Engineering" – *Corrosion Detection and Diagnosis*
46- J.YIN "IN-place detection of internal and external corrosion for underground casing pipes." Texas A&M university- 1995
47- D. Howard "CORROSION DETECTION DEVICES" Westinghouse Savannah River Company Army Corrosion Summit—2004
48- Main concepts of phased array ultrasonic technology Olympus NDT's R/D Tech®
49- Erhared, A.,G.Schenk, W.Mohrle, and H-J.Montag." ultra phased array technique for austenitic weld inspection" 15th WCNDT, 2000
50– Ciorau, P."Contribution to Detection and sizing linear defects by phased array ultrasonic techniques." UK, 2004.
51- Granillo,J. and M.Moles. 2005" portable phased array applications"
52- " potential of ultrasonic phased arrays for faster, better and cheaper inspections" http://www.ndt.net/article/v05n10/lafont2/lafont2.htm.
53- ح. هدلة "قياس التدفق" كلية الهندسة الميكانيكية بجامعة دمشق – دمشق – 2009
54- Jung-Ryul Lee, Hyomi Jeong, Chia Chen Ciang, Dong-Jin Yoon, Seung-Suk Lee "Application of ultrasonic wave propagation imaging method to automatic damage visualization of nuclear power plant pipeline" Chonbuk National University 2010 - Republic of Korea

الملحق

الاستخدام الآمن لمثبط التآكل

مثبط التآكل EC 1154A

الشّركة المزوّدة	Nalco Ltd		السمات العامة	أخطار التهيج، أخطار بيئية.
التّركيب	سلاسل الهيدروكربون الطويلة Diethylenetriamine Imidazoline, Thioglycolic Acid and 2-Butoxyethanol.		R-phrase	R23/24/25, R34, R52/53
المظهر	سائل بني برائحة لاذعة		S-phrase	S23C, S24/25, S26, S36/37/39, S45
التّطبيق	مثبط تآكل			

المخاطر الرئيسيّة		العمل الآمن
سامة عن طريق الاستنشاق، و في حال تلامسها مع الجلد، وإذا ما ابتلع. عندما تكون بتركيز عالي تكون مهيجة للعيون والأنف والحنجرة والرئتين. قد يسبب رذاذ المنتج أو أبخرته الصداع والغثيان والتقيؤ والنعاس، وذهول أو الإغماء. يمكن أن يسبب الاكتئاب في الجهاز العصبي المركزي. مادة مخرشة. تسبب حروقاً في العين وتلف الأنسجة. ضارة للكائنات المائية، فقد تسبب على المدى الطويل آثار سلبية في البيئة المائية.		تجنب انسكابها وملامستها للجلد والعين. يجب أن تكون التهوية جيدة. تجنب استنشاق أبخرة المادة. يجب أن تستخدم جهاز لحماية التنفس إذا تجاوز تركيز المادة في الهواء المستوى المقبول. أزل جميع مصادر الاشتعال. ممنوع التدخين. يجب أن تكون معدات الطوارئ متوفرة بسهولة (للحرائق، والانسكابات، التسريبات، وما إلى ذلك).

لمنع حصول حادث		في حال حصول الحادث
ضع نظارات الحماية جهز مصادر للماء (نافورة لغسل العين، دش استحمام) بجانب مكان استعمال هذه المادة.		**الاستنشاق:** استخدام في حالات الطوارئ المناسبة الجهاز حماية التنفس على الفور لإخراج الضحية المتضررة من استنشاق المادة. اخرج المصاب إلى الهواء الطلق، وعالج الأعراض. إذا استمرت الأعراض، استدعِ الطبيب. **ملامسة الجلد:** يغسل فوراً مع الكثير من الصابون والماء. إذا
اغتسل بسرعة عندما يبتل الجلد. يمنع الأكل والشرب والتدخين أثناء العمل. اغتسل في نهاية كل فترة عمل وقبل تناول الطعام والتدخين واستخدام المرحاض.		

ارتدِ نظارات واقية من المواد الكيميائية والقناع الواقي للوجه. يجب أن تستخدم جهاز الحماية للتنفس إذا تجاوز تركيز المادة في الهواء المستوى المقبول. يجب توفير التهوية للجو الخارجي العامة والمحلية.		ظهرت تطور في الأعراض تطلب المشورة الطبية. **ملامسة العين :** يجب الحصول على عناية طبية فورية.يعد اتخاذ إجراءات فورية أمر أساسي في حالة ملامسة العين. اغسل العين على الفور بالماء لمدة 15 دقيقة على الأقل مع بقاء الجفون مفتوحة.
أزل فوراً الملابس الملوثة. ارتدِ الملابس المناسبة لمنع تكرار ملامسة الجلد أو الملامسة لفترة طويلة. استخدام قفازات واقية مصنوعة من : المطاط الطبيعي أو البلاستيك. لا تستخدم قفازات المطاط الصناعي.		**الابتلاع :** يجب الحصول على عناية طبية فورية. لا تحرض المصاب على التقيؤ لأنه يحتوي على المقطرات البترولية و / أو المذيبات العطرية. إذا كان واعيا اغسل فم المصاب وأعطه ماء نقي للشرب. **ملاحظة إلى الطبيب :** بناء على ردود الفعل الفردية للمريض، تتم السيطرة على الأعراض والحالة السريرية.

إطفاء الحرائق	في حال حدوث انسكاب	التّخزين
استعمل : المطافئ الرغوية مطافئ ثاني أكسيد الكربون مطافئ المسحوق الكيميائي الجاف والمطافئ المخصصة لاطفاء حرائق الفئة ب. للحرائق الكبيرة ، استخدم المطافئ المائية الرذاذية أو الضبابية لتبليل كامل المواد المشتعلة. لا تستخدم المياه في الإطفاء ما لم تتوفر كمية كبيرة منه.	يتم استيعابها بالفيرميكوليت، الرمال الجافة، مواد تماسك أو التربة ويتم وضعها بالحاويات. لا تلوث مصادر المياه أو الصرف الصحي. يجب أن يوضع على الحاويات التي تجمع بها المادة المنسكبة المسمى بشكل صحيح ورمز الخطر.	تخزن بعيداً عن الحرارة ومصادر الاشتعال. يجب أن تتوافر طفايات الحريق المناسبة في منطقة التخزين وبالقرب منها. يجب أن تؤرض الاتصالات لتفادي الشحنات الكهربائية الساكنة. يجب أن تكون حاويات المادة من الفولاذ غير القابل للصدأ والبولي اثيلين عالي الكثافة. ولا تستخدم لهذه الغاية الـ VITON، النيوبرين، والفولاذ الكربوني C1018، نيتريل، EPDM

التّخلّص	النّقل	حالات يجب تجنّبها
إعادة تدوير: ينبغي التخلص منها وفقا للوائح الحكومية . وتقديم الحلول لغير القابلة للتدوير وإلى التخلص منها عبر شركة مرخصة. وينبغي التخلص من العبوات الفارغة بإعادة تدويرها، استرداد أو التخلص من النفايات.	**UN-number: 2810**	تجنب تعرضها للحرارة المرتفعة جداً لا يجب مزجها مع القلويات القوية.

Syrian Arab Republic
Damascus University
Faclty of Mechanical &
Electrical Engineering
Mechanical Design
Engineering Department

The Internal Corrosion Rate of Oil Pipes Using Weight Loss and Ultrasonic Testing

Graduation Project prepared to obtain a Master degree of
Material Science Engineering

By
Student. Engineer: Ahmad Abdullah HAMDAN

Supervised by
Dr. Eng. Mohallab AL-DAWOOD **Dr.Eng. Mohammad Fathy Ganuma**