

## تأثير تغيير الضغط في معدل التآكل الداخلي لأنابيب النفط

م. أحمد حمدان\*

د.م. محمد فتحي غنمة\*\*\*

د.م. مهلب الداود\*\*

### الملخص

يعدُّ التآكل من أهم المشكلات في عملية إنتاج النفط، إذ ينتج عنه تصدع مفاجئ وخسائر مرتفعة التكلفة الاقتصادية في المنشآت النفطية، وقد اقترحت حلول مناسبة تُمكن 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 أسهم في الزيادة أو الحد من انتشار التآكل أمراً ملحاً يتطلب مزيداً من الاهتمام.

خلّلت في هذا البحث المعطيات الحقلية لقيم الضغط داخل ثلاثة من أنابيب النفط الخام والتركيز على القيم في الأيام التي شهدت تغييراً غير منتظم، ودُرِسَ خلال المدة نفسها معدل التآكل الداخلي لأنابيب النفط بطريقة الوزن المفقود، إذ لوحظ أنّ ارتفاع قيم الضغط إلى ما فوق 2 MPa يرافقه ارتفاع في قيم معدل التآكل الداخلي إلى ما فوق الحد الأعظمي المسموح به للتآكل، وهو 4 أجزاء بالألف من الإنش في السنة (MPY)، في حين يكون معدل التآكل الداخلي ضمن المجال المسموح به عند انخفاض الضغط إلى حدود 1 MPa.

**الكلمات المفتاحية:** أنابيب النفط - معدل التآكل الداخلي - الضغط - طريقة الوزن المفقود.

\* أعد هذا البحث في سياق رسالة الماجستير للمهندس أحمد حمدان بإشراف الدكتور مهلب الداود ومشاركة الدكتور المهندس محمد فتحي غنمة.

\*\* مدرس في قسم هندسة التصميم الميكانيكي، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق

\*\*\* مدرس في قسم هندسة التصميم الميكانيكي، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق

**1- المقدمة**

ينقل النفط والغاز غالباً عبر شبكة من الأنابيب مسافات مختلفة إذ تُعدّ هذه الطريقة من الطرائق الشائعة بالنقل لأنها رخيصة التكلفة، ولكن في الجانب السلبي لهذه الطريقة توجد عدة مخاطر كخطر التسرب والانفجار وغيرها من الأخطار الأمر الذي يؤدي إلى تخفيض الإنتاج والمجازفة بالسلامة البيئية.

يعدّ التآكل الداخلي في أنابيب النفط الخام من المشكلات بالغة الصعوبة من حيث القدرة على حلّها في الصناعة النفطية بسبب تنوع مكونات النفط الخام وتعقيد تأثيرها، الأمر الذي يجعل من الصعوبة إحصاء البارامترات جميعها التي تسبب التآكل، ومن ثمّ توضيح تأثيراتها كلّ على حدة. [1]

إنّ وجود أنواع مختلفة من الحموض والغازات مثل ثاني أكسيد الكربون في النفط الخام، فضلاً عن الأكسجين الناتج عن وجود نسبة من الماء في النفط الخام، والأملاح المعززة لحدوث التآكل، يمكن أن تسبب حدوث أشكال معقدة من التآكل الداخلي، مما يضع الباحثين أمام تحديات في هذه الدراسات بأن يتنبؤوا بالفعالية التآكلية للنفط الخام وتأثيراتها الميتالورجية في المعدن، ومن هنا فإنه لا يمكن استخدام معظم النماذج المستخدمة في هذه الحالة للتنبؤ بالقدرة الأكلية للنفط الخام مع وجود متغيرات متعددة بداية من الجريانات وتأثيرها وانتهاءً بالتأثير الكيميائي في المعدن، إذ يمكن ضم أغلب العوامل التي تتضافر لتسبب كل منها شكلاً من أشكال التآكل الداخلي ينتج عنها مجتمعة التآكل الداخلي الكلي. ولكن للأسف تكون معظم هذه العوامل غير مسيطر عليها إذ تكون تابعة لطبيعة البئر النفطي، إذ يمكن فقط تحديد معدل الإنتاج وكمية مثبط التآكل (Corrosion inhibitor) المضافة إلى النفط الخام، وخفض الإنتاج يكلف خسائر اقتصادية كبيرة وهو مرفوض من قبل الشركات النفطية العاملة، في حين

الزيادة غير المدروسة لمثبط التآكل تخفض من جودة النفط، ومن ثمّ تؤدي إلى العودة إلى المشكلة الاقتصادية نفسها.

هناك العديد من البحوث التي أجريت في مجال تقييم التآكل الداخلي في أنابيب النفط الخام الناجم عن وجود ثاني أكسيد الكربون بكميات كافية فيه لإحداث التآكل، وقد قام بعض الباحثين بالتركيز على عامل واحد من العوامل الأكلية في النفط الخام مثل ثاني أكسيد الكربون، ومن ثمّ دراسة خصائصه وآلية التآكل [1-2-3]، بينما وجه الآخرون اهتمامهم نحو تأثير النفط الخام الحاوي في بعض الأملاح في زيادة نسبة التآكل وذلك بقياس محتوى الأملاح الكلي مثل أملاح كلور المغنيزيوم وكلور الكالسيوم [4-5]، واهتم أحدهم بدراسة الحالات الخاصة كدراسة سلوك التآكل للأنابيب الفولاذية عند اختلاف التدفق ووضعوا مخططات لحساب معدل التآكل باختلاف نسبة الماء المتدفق [6]، وذهب بعض الباحثين إلى دراسة التحليل المنطقي لمناطق وجود خطر التآكل وقاموا بعمل إحصائيات تاريخية للبيانات لوضع معاملات يستند إليها لبيان مدد الفحص [1-7]، وفي دراسة أخرى استنتجت معدلات التآكل مع ازدياد درجات الحرارة ونسبة الكبريت لعدة أنواع من الفولاذ بنسب مختلفة من الكروم [8].

**2- العمل التجريبي:****2-1 المواد المستخدمة:**

استُخدمَ في هذا البحث النفط وشرائح معدنية (Coupon) من نوع معدن أنابيب النفط نفسه الموجودة في شركة دير الزور للنفط ليُدْرَسَ عليها دراسة معدل التآكل الداخلي فضلاً عن الاختبارات الأخرى.

**2-2 الاختبارات المطبقة:**

أجريت الاختبارات التالية على عينات من الأنابيب لمقارنتها بالمواصفة المعتمدة من قبل شركة دير الزور - توتال للنفط، وهي GS EP PLR 201 الأنابيب.

### • اختبار التحليل الكيميائي:

أُجْرِيَ التحليل الكيميائي على عينتين من الفولاذ موضوع البحث وفي ثلاث نقاط من سطح العينة باستخدام جهاز التحليل الطيفي (SPECTRO MAXx) المبيّن بالشكل (1)، وذلك لمعرفة نسب العناصر الداخلة في تركيب سبيكة المعدن المدروس ومطابقتها للمواصفة المذكورة.



الشكل (1) جهاز التحليل الطيفي.

### • اختبار القساوة:

أُجْرِيَ اختبار القساوة الماكروية بطريقة فيكرز على أجزاء من معدن الأنابيب للتأكد من قساوتها ومعرفة مدى مطابقتها للمواصفات العالمية النازمة لذلك.

### • اختبار الشد:

أُجْرِيَ اختبار الشد على عينتين من معدن الأنابيب (PT1- PT2) للتأكد من مطابقة خصائص الشد للمعدن مع المواصفات العالمية النازمة لذلك.

### • قياس الضغط:

أُخِذَتْ قيم الضغط من خلال ساعة قياس عند الفاصل الاختباري (Test Splitter) بالقرب من مكان وجود الشرائح المعدنية موضوع البحث خاصة في الأيام التي تغير فيها نشاط البئر النفطي، وقد استمرت الدراسة من الشهر الخامس من عام 2010 إلى الشهر الخامس من عام 2011، وبصورة عامة يكون الضغط مرتفعاً إذا كان أكبر من 2 MPa، في حين يكون متوسطاً عندما يكون

ضمن المجال 1-2 MPa، أمّا الضغط المنخفض فهو أقل من 1 MPa وذلك وفقاً لمواصفات المعمول بها في شركة توتال [9]

### • حساب معدل التآكل الداخلي عن طريق الوزن المفقود من شرائح الاختبار:

تعدّ هذه الطريقة من أكثر الطرائق انتشاراً إذ تستخدم لمعرفة معدل التآكل الداخلي للأنابيب ولمعرفة تأثير العوامل البيئية المختلفة في خصائص المعدن خلال مدة معينة، ويجري هذا الاختبار وفق الخطوات الآتية:

§ تُوزَنُ الشريحة الاختبارية من معدن الأنابيب المدروسة نفسها بميزان ذي حساسية عالية.

§ تثبت الشريحة الاختبارية على الحامل داخل مجرى الأنبوب.

§ عند انتهاء مدة التجربة تُخْرَجُ الشريحة الاختبارية.

§ تنظيف الكوبون من البقايا الملحية والهيدرو كربونية المترسبة.

§ الوزن النهائي وحساب معدل التآكل الداخلي من المعادلة الآتية (1): [9]

$$GR = \frac{[(W1-W2) \times 365]}{S \times p \times (T2-T1) \times 0.00254}$$

إذ:

CR: معدل التآكل الداخلي مقدراً بـ [MPY].

[MPY]: ميلي إنش بالسنة.

W1: وزن الشريحة الاختبارية قبل وضعها داخل الأنبوب [g].

W2: وزن الشريحة الاختبارية بعد نزعها من الأنبوب [g].

S: المساحة السطحية للشريحة المعرضة للتآكل [cm<sup>2</sup>].

p: كثافة المادة المصنوعة منها الشريحة المعدنية [g/cm<sup>3</sup>].

T1: تاريخ وضع الشريحة [day].

T2 : تاريخ نزع الشريحة [day].

### 3- النتائج والمناقشة:

#### 3-1 التحليل الكيميائي:

يبين الجدول (1) القيم المتوسطة للقراءات الناتجة عن جهاز التحليل الطيفي. إذ وجد أن العناصر الداخلة في تركيب السبيكة مطابقة للمواصفة (GS EP PLR 201).

الجدول (1) نتائج التحليل الطيفي للعينات.

	C %	Ca %	P %	Ti %	Mo %
P1	0.151	0.003	0.0155	0.003467	0.026967
P2	0.163	0.0006	0.015867	0.001567	0.004067
	Mn %	S %	V %	Ni %	Cr %
P1	0.877	0.0072	0.0026	0.275	0.0725
P2	0.575	0.0067	0.001033	0.0061	0.020133
	Al %	Si %	Cu %		
P1	0.029	0.320	0.0798		
P2	0.027	0.238	0.019767		

#### 3-2 اختبار القساوة:

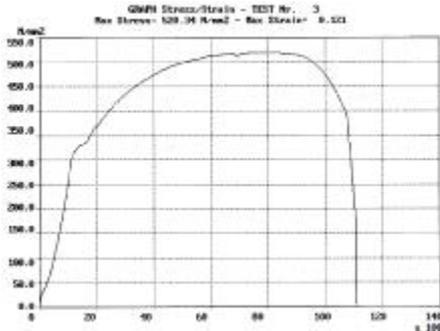
يبين الجدول (2) القيم المتوسطة لنتائج اختبار القساوة بطريقة فيكرز وبعد مقارنتها بالمواصفة (GS EP PLR 201). وجد أن القيم مقبولة.

الجدول (2) قيم القساوة الماكروية بطريقة فيكرز

رقم العينة	القساوة (HV)
1	142
2	151

#### 3-3 اختبار الشد:

يبين الجدول (3) النتائج المأخوذة من اختبار الشد المبين في الشكلين (2) و (3) وعند مقارنة النتائج بالمواصفة (GS EP PLR 201) كانت القيم ضمن الحدود المسموح بها.



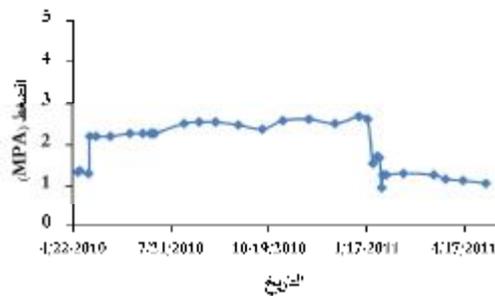
الشكل (3) مخطط الشد للعينه PT2 من الأنابيب.

الجدول (3) نتائج اختبار الشد.

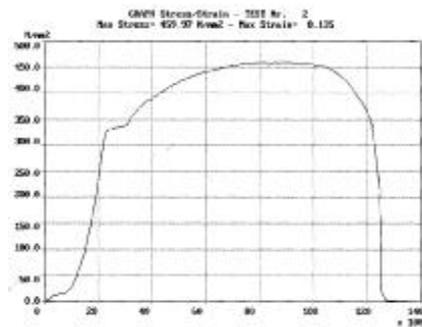
PT2	PT1	العينه
15.3	14.24	العرض (mm)
10.3	11	السماكة (mm)
157.59	156.75	المساحة (mm <sup>2</sup> )
29	32	الاستطالة (%)
0.64	0.73	YS/TS
520.34	460	اجهاد الشد (MPa)
334	338.5	اجهاد الخضوع (MPa)

#### 4-3 الضغط:

يبين الشكل (4) تغير قيم الضغط لخط النفط JAF 101 خلال المدة المدروسة مقدراً بـ MPa إذ لوحظ في الخط ارتفاع الضغط واستقراره عند مستوى مرتفع في بداية الشهر الخامس من عام 2010، إذ حوّل البئر إلى الضغط العالي عن طريق 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 لمواظمتها مع الفاصل ذي الضغط المتوسط.



الشكل (4) يبين تغير قيم الضغط لخط النفط (JAF 101).



الشكل (2) مخطط الشد للعينه PT1 من الأنابيب.

السحب؛ وذلك بسبب زيادة فتح صمام التدفق تدريجياً للمحافظة على إنتاج معين.

إنَّ زيادة الضغط يمكن أن تسبب زيادة ضغط غاز ثاني أكسيد الكربون لأنه يشكل نسبة من الكمية الإجمالية للغاز الموجود ضمن الأنبوب الذي 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 الذي يزيد معدل التآكل. فضلاً عن التأثير الكيميائي الذي يحتاج إلى مدة زمنية ليحدث التأثير الخطر للتآكل، يكمن الخطر الحقيقي بازدياد سرعة الجريان نتيجة زيادة الضغط الذي بدورها تسبب تآكلاً حتى في المناطق التي يغيّر فيها التيار جهته وهنا تكمن الخطورة.

### 3-5 قياس معدل التآكل بطريقة الوزن المفقود:

احتُسبَ معدل التآكل الداخلي مقدراً بالميلي إنش بالسنة (MPY)، وفقاً للوزن المفقود للشرائح المعدنية بعد نزاعها من خطوط نقل النفط وبحسب المعادلة (1) وذلك بعد أخذ المعطيات الآتية:

- مقدار التآكل الداخلي المسموح به وضع بالاعتماد على توصيات الشركة الصانعة للأنايبب CASCO وهو 4 MPY.

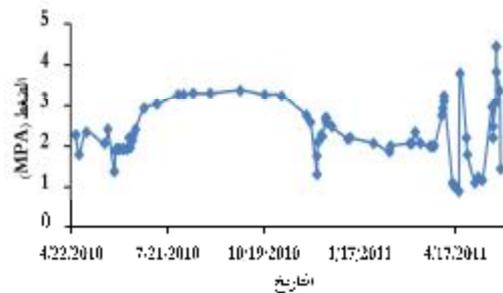
[9]

- مدة الدراسة من 2010/5 إلى 2011/5.
- المساحة الجانبية السطحية للكوبون والمعرضة للسائل  $0.33 \text{ cm}^2$

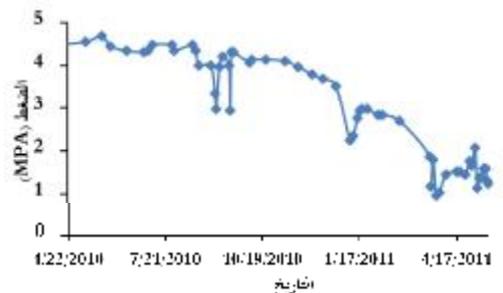
- كثافة الفولاذ المستخدم  $8.7 \text{ g/cm}^3$

يبين الشكل (7) الكوبون قبل إدخاله ضمن أنبوب النفط، والشكل (8) يظهر الكوبون عند إخراجها من الأنبوب النفطي ونزاعه من حامله، أمّا الشكل (9) فيبين الكوبون بعد تنظيفه من البقايا الملحية والنفطية.

يبين الشكل (5) تغيّر قيم الضغط لخط النفط JAF 112 خلال المدة المدروسة مقدراً بـ (MPa). وقد 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. أمّا في نهاية الشهر الثالث من عام 2011 فأجريت ثلاث زيادات في عملية الحقن نتيجة وجود انسداد في مجرى غاز السحب مع تغيير في فتحة صمام التدفق، ممّا أدى إلى تغيّرات كبيرة في الضغط.



الشكل (5) يبيّن تغيّر قيم الضغط لخط النفط JAF 112.



الشكل (6) يبيّن تغيّر قيم الضغط لخط النفط JAF 114.

يبين الشكل (6) تغيّر قيم الضغط لخط النفط JAF 114 خلال المدة المدروسة مقدراً بـ (MPa). إذ 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

الجدول (4) يبين حساب معدل التآكل لخط Jaf 101.

رقم الكوبون	VZ 055	YQ 607	XR 242	XE981
مباي برش بالسد	1.2	4	3	1.4
تاريخ التركيب	20/05/2010	15/09/2010	12/1/2011	18/05/2011
تاريخ الرفع	9/2/2010	20/06/2010	18/09/2010	12/1/2011
الوزن المسمى (غم)	36.348	38.681	38.885	36.364
ثابت الأوزن (غم)	36.5622	36.5169	36.5211	36.689

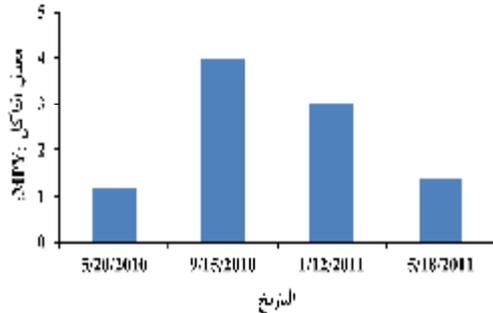


الشكل (7) الكوبون قبل إدخاله ضمن أنبوب النفط.

أما الشكل (10) فيبين تغيير قيمة معدل التآكل خلال المدة المدروسة، ويظهر من خلاله أن هذا معدل التآكل كان ضمن الحدود المسموح بها المطلوبة من قبل الشركة المصنعة خلال المدة المدروسة باستثناء النتيجة التي ظهرت بعد إزالة الكوبون في المدة من الشهر الخامس إلى التاسع من عام 2010.



الشكل (8) نزع الكوبون من حامله



الشكل (10) معدل التآكل الداخلي لخط Jaf 101.

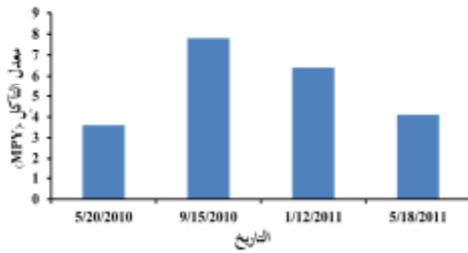
يبيّن الجدول (5) حساب معدل التآكل الداخلي للخط JAF 112 بطريقة الوزن المفقود.

أما الشكل (11) فيبين تغيير قيمة معدل التآكل الداخلي لخط الأنابيب Jaf 112 بحسب طريقة الوزن المفقود ويظهر من خلاله أن هذا المعدل كان ضمن الحدود المسموح بها المطلوبة من قبل الشركة المصنعة في المدة المدروسة باستثناء النتيجة التي ظهرت بعد إزالة الكوبون في المدة من الشهر الخامس من عام 2010 إلى الشهر الأول من عام 2011.



الشكل (9) الشريحة الاختبارية بعد تنظيفها من البقايا النفطية والملحية.

الجدول التالي (4) يبين حساب معدل التآكل الداخلي للخط JAF 101 بطريقة الوزن المفقود خلال مدة الدراسة.



الشكل (12) معدل التآكل الداخلي لخط Jaf 114.

## الاستنتاجات:

من نتائج الاختبارات (التحليل الكيميائي، والقساوة، والشد) ومن المقارنة بين تغيّرات قيم الضغط بتغيّرات قيم معدل التآكل الداخلي وُجد أنّ:

- 1- التركيب الكيميائي لمعدن الأنبوب وقيم القساوة ونتائج اختبار الشد مقبولة مقارنة بالمواصفة المذكورة.
- 2- زيادة الضغط داخل أنبوب النفط إلى ضغط أعلى من 2 MPa يؤدي إلى زيادة معدل التآكل الداخلي إلى ما فوق الحد المسموح 4 MPY.
- 3- إنّ زيادة الضغط الآتية لا تظهر تغيّراً على معدل التآكل الداخلي إذا ما استمرت مدة طويلة.
- 4- تكون التغيّرات في قيمة معدل التآكل الداخلي في حال استقرار الضغط ناتجة عن مجموعة متغيّرات أخرى، إلا أنّ هذه التغيّرات في هذه الدراسة في هذه الحالة بقيت ضمن الحدود المسموحة.

## التوصيات:

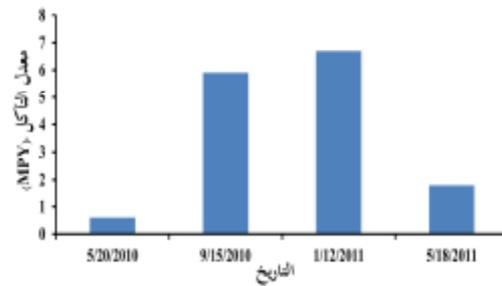
إنّ زيادة الضغط يؤدي إلى زيادة الاحتكاك والتلامس بين المعدن والمواد التي تسبب التآكل عن طريق إزالة الطبقة التي تحمي الأنبوب من الداخل والمكونة من مادة كيميائية مثبّطة للتآكل، لذا ينبغي زيادة كمية مثبّط التآكل الكيميائي (Corrosion inhibitor) عند زيادة الضغط داخل الأنبوب إذ تساعد الكمية الإضافية على ترميم الطبقة التي جرفت نتيجة ارتفاع الضغط وتقلّص هذه الكمية من خلال تحاليل الماء المرافق للنفط ومعرفة مقدار تضرر الطبقة الحامية.

## مسرد المصطلحات

MPY (Mil Per Year)	جزء بالألف من الإنش في السنة
MPa	ميغا باسكال

الجدول (5) حساب معدل التآكل لخط Jaf 112.

رقم الكوبون	YQ 618	YQ 609	XE 980	YQ 545
ملي إنش بالسنة	0.6	5.9	6.7	1.8
تاريخ الترخ	20/05/2010	15/09/2010	12/1/2011	18/05/2011
تاريخ الوضع	10/2/2010	20/05/2010	15/09/2010	12/1/2011
الوزن المسمي (g)	35.75002	35.4419	35.4533	36.0674
الوزن الأولي (g)	35.8561	36.6975	36.8734	36.4761



الشكل (11) معدل التآكل الداخلي لخط Jaf 112.

الجدول (6) يبيّن حساب معدل التآكل الداخلي للخط Jaf 114 بطريقة الوزن المفقود.

الجدول (6) يبيّن حساب معدل التآكل لخط Jaf 114.

رقم الكوبون	YQ 610	YQ 547	XR 231	YQ 607
ملي إنش بالسنة	5.6	7.8	6.4	4.1
تاريخ الترخ	20/05/2010	15/09/2010	12/1/2011	18/05/2011
تاريخ الوضع	10/2/2010	20/05/2010	15/09/2010	12/1/2011
الوزن المسمي (g)	35.58435	35.2206	34.7028	34.6937
الوزن الأولي (g)	36.2192	36.8794	36.061	35.6173

يظهر الشكل (12) تغيّر معدل التآكل الداخلي لخط الأنابيب Jaf 114 بحسب طريقة الوزن المفقود ويظهر من خلاله أنّ هذا المعدل كان في المدة المدروسة أعلى من الحدود المسموح بها المطلوبة من قبل الشركة المصنعة.

#### 4- المراجع\*

- 1- Maneesh Singh, Tore Markeset, "A methodology for risk-based inspection planning of oil and gas pipes based on fuzzy logic framework", University of Stavanger, Norway, 2008.
- 2- NESIC. S.; WANG. S.; CAI. J. and XIAO. Y "Integrated CO2 Corrosion – Multiphase Flow Model", 2004 NACE 2004.
- 3- HIGH. M. S.; WAGNER, J., and NATARAJAN, S "Mechanistic Modeling of Mass Transfer in the Laminar Sublayer in Downhole Systems" , 2000 Corrosion/2000, Paper No. 62, Houston, TX: NACE International.
- 4- CORDELL.J; and VANZANT.H "All about pigging", 2000-.Published by on-steam system Ltd, Cirencester, UK.
- 5- CLARIDA. D.; JOHNSTON. J; MCCONNELL. M; and STRONG.R "Corrosion and fouling experiences in crude units using low basestrength neutralizers", 1997 Material Performance, Vol.36.
- 6- Fontana, M.G., "Corrosion Engineering", Third Edition, Mcgraw-Hill, Singapore, 1986
- 7- أ.إبراهيم ، ي.جوهر "هندسة التآكل" كلية الهندسة الكيميائية والبتروولية بجامعة البعث - حمص 2007/2006.
- 8- ر.عناني، ه.القيسي " سلوك المواد الهندسية (التآكل).
- 9- CASCO – TOTAL corrosion reference.