

دراسة مقارنة تأكل أسلاك النيكل تيتانيوم النحاسية وأسلاك النيكل تيتانيوم الأوستينيتية التقويمية

إشراف الأستاذة الدكتورة رباب الصباغ

إعداد: أحمد حسان حامد

أستاذ مساعد في تقويم الأسنان والفكين

طالب ماجستير في قسم تقويم الأسنان والفكين

كلية طب الأسنان - جامعة حماة

كلية طب الأسنان - جامعة حماة

الملخص:

هدف البحث: المقارنة بين سرعة تآكل أسلاك النيكل تيتانيوم وأسلاك النيكل تيتانيوم النحاسية في اللعاب الصناعي وبعد تعرضها لظروف الوسط الفموي.

المواد والطرق: تم تقسيم 48 نهاية وحشية من أسلاك النيكل تيتانيوم و48 نهاية وحشية من أسلاك النيكل تيتانيوم النحاسية إلى مجموعتين متساويتين: الأولى تركت بدون استخدام، أما الثانية فتم تعريضها للبيئة الفموية لاثني عشر متطوعاً لمدة 3 أسابيع. ثم استخدام جهاز تحديد سرعة التآكل الإلكتروني Model 1359 من شركة ACM Instruments لتحليل سرعة التآكل الكهركيميائي للعينات المدروسة.

النتائج: أظهرت الدراسة عدم وجود فارق جوهري في سرعة التآكل الكهركيميائي بين نوعي الأسلاك المدروسة بالنسبة للأسلاك المدورة. بينما كان هناك فارق جوهري في سرعة التآكل الكهركيميائي بين النوعين في الأسلاك المضلعة، في الأسلاك العلوية المضلعة كان تآكل أسلاك النيكل تيتانيوم أكبر من مثيلتها من أسلاك النيكل تيتانيوم، وعلى العكس بالنسبة للأسلاك المضلعة السفلية حيث كانت سرعة تآكل أسلاك النيكل تيتانيوم أكبر وبفارق جوهري عن مثيلتها من أسلاك النيكل تيتانيوم النحاسية.

الاستنتاجات: أظهر كلا نوعي الأسلاك المدروسة تأثيراً بظروف الوسط الفموي، حيث أظهرت تخامداً في سرعة التآكل الكهركيميائي .

الكلمات المفتاحية:

تآكل كهركيميائي، أسلاك تقويمية، النيكل تيتانيوم، النيكل تيتانيوم النحاسية.

A Comparative Study Of Corrosion Between Copper NiTi and A-NiTi Orthodontic Archwires

Abstract

Aim of the study: Comparison of the corrosion rate of nickel-titanium and copper nickel-titanium archwires in artificial saliva and after its exposure to the oral environment.

materials and methods: 48 distal ends of nickel-titanium archwires and 48 distal ends of copper nickel-titanium archwires were divided into two equal groups: the first was left unused, the second group was exposed to the oral environment of 12 volunteers for 3 weeks. Then, an electronic corrosion velocity locator, Model 1359 from ACM Instruments, was used to analyze the electrochemical corrosion velocity of the studied samples.

Results: The study showed that there is no significant difference in the velocity of electrochemical corrosion between the two types of archwires studied with respect to the round archwires; While there was a significant difference in the velocity of electrochemical corrosion between the two types in rectangular archwires, in the upper rectangular wires the corrosion of copper nickel-titanium archwires was greater than that of the nickel-titanium archwires, and in contrast to the lower rectangular wires where the corrosion velocity of the nickel-titanium archwires was greater and difference was significant in comparison to nickel titanium copper archwires.

Conclusion: Both types of the studied archwires were affected by the oral environment, as they showed a decreasing in the velocity of electrochemical corrosion.

Key words:

Electrochemical corrosion, orthodontic archwires, nickel -titanium, copper nickel-titanium

المقدمة Introduction:

أصبح من المعلوم أن الخلائط التقويمية تتعرض للاهتراء داخل الوسط الفموي. حيث يمكن للتآكل أن يحد من القوة Strength الأعظمية لها مؤدية إلى فشل المواد السنية ميكانيكياً.

كما تعتبر مقاومة تآكل الأسلاك التقويمية عاملاً مهماً جداً لأن تعرضها للتآكل يقود للخشونة في سطحها مضعفاً إياها ومحرراً للعناصر الكيميائية من الخليطة المكونة لها.^[1] كما أن لتآكل الخلائط التقويمية تأثيرات أخرى تتمثل في تلون الميناء الأسنان نتيجة امتصاصها لمنتجات تآكل الحاصرات والأسلاك.

تمت مناقشة موضوع التقبل الحيوي للخلائط السنية منذ أكثر من 20 سنة وقد طرحت الدراسات المتعلقة بهذا الموضوع العديد من الأسئلة دون تقديم إجابات واضحة لها مما جعل أطباء تقويم الأسنان مشوشين في انتقاء المواد الأكثر أماناً لمرضاهم^[2]

فقد ازداد الاهتمام بشكل كبير مؤخراً بالتقبل الحيوي للخلائط السنية حيث جذبت المعادن المتحررة من المواد المتقبلة حيوياً اهتمام الباحثين الذين اعتقدوا أن هذه الشوارد تحرض رد فعل في جسم الإنسان.^[3]

أسلاك خليطة النيكل تيتانيوم النحاسية Copper NiTi:

في بعض الخلائط يضاف النحاس من أجل زيادة قوتها والحد من مقدار فقدان الطاقة الحادث أثناء عملها ويعتبر النحاس والكوبالت من أكثر المعادن المستخدمة كمعدن إضافي ثالث في حالة الخلائط المنشطة حرارياً.^[4]

تخفّض إضافة النحاس من الاختلاف بين قوى التحميل وإزالة التحميل ما ينتج عنه تقديم قوى أكثر ثباتاً عند التنشيط القليل. بكلمات أخرى، تكون قوى إزالة التحميل قريبة من قوى التحميل.

وتعزز إضافة النحاس أيضاً من نعومة السطح ما يجعل خشونته مماثلة لأسلاك TMA. ويلعب المحتوى النحاسي دوراً هاماً في التحكم بدرجة حرارة التحول transformation للخليطة.^[5]

تعريف التآكل:

يُعرف التآكل بأنه تضرر المعدن الناتج عن تفاعلات كيميائية أو كهركيميائية بين المعدن والبيئة المحيطة، ولا يقتصر التآكل على المعادن فيمكن لأي مادة أن تتضرر في بيئتها، حيث ينتفخ البلاستيك بوجود المذيبات وينحل الإسمنت في المياه العكرة ويتعفن الخشب مع مرور الزمن. تتآكل المعادن تآكلاً متجانساً أو نخرياً أو تشقياً أو غيره، ولكن بآليات متشابهة، ويعد الصدأ شكلاً من أشكال التآكل للمعادن الحديدية. ويحدث التآكل مهما كان اختيار المعدن صحيحاً وجودة التصميم للمعدات ولكن بمعدلات مقبولة.^[6]

أهمية دراسة التآكل بالنسبة للخلائط التقويمية:

تعتبر مقاومة التآكل واحدة من أكثر العوامل أهمية عند اختيار الخلائط التي تستخدم ضمن البيئة الفموية.

يسبب التآكل الذي تتعرض له الخلائط السنية تأثيرات حيوية ووظيفية وجمالية. أيضاً يمكن للشوارد المتحررة من هذه الخلائط نتيجة تآكلها أن تمس الخلايا الحية، وتخرق النسيج الصلبة والرخوة المتاخمة للخليطة، أو تتوزع في أنحاء الجسم عبر القناة الهضمية.

من المعروف أن الخلائط التقويمية تتعرض للتآكل داخل البيئة الفموية، والأجهزة التقويمية تبقى لفترة طويلة نسبياً بتماس مع الأنسجة السنية والفموية، وهذا يعطي الأهمية الكبيرة لدراسة موضوع تعرضها للتآكل.^[7]

تبيان المشكلة:

بما أنه من الصعب إيجاد مادة مستقرة بشكل كامل في العضوية الحية دون علائم للتآكل فقد حظيت الدراسات المتعلقة بتآكل الخلائط التقويمية اهتماماً كبيراً من قبل الباحثين، ويعتبر تآكل الأسلاك التقويمية عاملاً هاماً جداً لأن تعرضها للتآكل يؤدي إلى خشونة في سطحها مضعفاً إياها ومحرراً العناصر الكيميائية المكونة لها.

من خلال المراجعة النظرية نجد أهمية دراسة الخلائط المكونة للأسلاك التقويمية التي تبقى فترة كبيرة في الفم لكونها تشكل عاملاً مهماً من عوامل التوافق الحيوي، وقد تناولت العديد من الدراسات تقييم تآكل المعادن التي تدخل في تركيب الخلائط المكونة للأسلاك التقويمية وخصوصاً النيكل لكونه من العناصر ذات التأثير السمي، وقد كانت النتائج الدراسات تتفق حيناً وتختلف حيناً آخر.

ولما كانت دراسة التوافق الحيوي للأجهزة التقويمية الثابتة تتم من خلال تحديد مقدار التآكل الذي يحدث نتيجة وجود المعدن ضمن البيئة الفموية وذلك من خلال دراسات مخبرية وسريية، خاصة وأن الوسط الفموي يحوي مجموعة كبيرة من المتغيرات المتعددة التي تؤثر على التآكل المحتمل ونشاط الخليطة (تفاوت درجة الحموضة، الحرارة، الجهود المطبقة).

ومع اختلاف المعالجات التي تتعرض لها أسلاك النيكل تيتانيوم وأسلاك الـ النيكل تيتانيوم النحاسية خلال مراحل تصنيعها وافتقار الأدبيات الطبية إلى دراسات عن اختلاف سرعة التآكل بين نوعي الأسلاك المذكورة، لهذا كان إجراء هذا البحث.

الهدف من البحث:

مقارنة سرعة التآكل الكهروكيميائي بين أسلاك النيكل تيتانيوم فائقة المرونة NiTi وأسلاك النيكل تيتانيوم المنشطة حرارياً والتي تحوي على النحاس NiTiCu

المواد والطرق:

وصف العينة:

تألفت عينة البحث من 96 سلك تقويمي قسمت إلى مجموعتين متساويتين:

المجموعة الأولى:

48 سلكاً نيكل تيتانيوم تم توزيعهم إلى أربع مجموعات متساوية:

12 سلكاً مضلع نيكل تيتانيوم علوية

12 سلكاً مدور نيكل تيتانيوم علوية

12 سلكاً مضلعة نيكل تيتانيوم سفلية

12 سلكاً مدورة نيكل تيتانيوم سفلية

المجموعة الثانية:

48 سلكاً نيكل تيتانيوم نحاسي تم توزيعهم إلى أربع مجموعات متساوية:

12 سلكاً مضلع نيكل تيتانيوم نحاسي علوية

12 سلكاً مدور نيكل تيتانيوم نحاسي علوية

12 سلكاً مضلعة نيكل تيتانيوم نحاسي سفلية

12 سلكاً مدورة نيكل تيتانيوم نحاسي سفلية

وتم قطع كل سلك إلى جزئين بواسطة قاطعة مستقيمة:

1- جزء كما تقدمه الشركة المنتجة (New) يوضع في اللعاب الصناعي

2- جزء معرض لظروف الوسط الفموي (Used) يتم وضعه على حاصرات الضواحك الأولى والثانية وتيوب الرحي الأولى من الجهتين اليمنى واليسرى وعلى الفكين العلوي والسفلي على متطوعين من طلاب كلية طب الأسنان - جامعة حماة .

بعد إيجاد العدد المطلوب من المتطوعين (12 طالباً من طلاب جامعة حماة- كلية طب الأسنان) وزعت على هؤلاء الطلاب ورقة المعلومات والموافقة المعلمة ووافقوا على التطوع للمشاركة في هذه الدراسة

المواد والأجهزة المستخدمة في البحث:

- جهاز قياس درجة الحموضة PH من شركة WPA
- جهاز حمام مائي من شركة Memmert
- جهاز حمام بالأمواج فوق الصوتية من شركة Jeken
- جهاز تحديد سرعة التآكل الإلكتروني Model 1359 من شركة ACM Instruments بريطاني الصنع.

طريقة إجراء البحث:

تمت دراسة نوعين من الأسلاك التقويمية:

1- أسلاك نيكل تيتانيوم.

2- أسلاك نيكل تيتانيوم نحاسية.

تم اختيار 12 سلكاً قوسياً من المجموعات الثمانية أنفة الذكر على أن يكون كلا نوعي الأسلاك من إنتاج شركة American Orthodontics بقياسين 0.016 ، 0.016*0.022. نصف هذه الأسلاك سيتم إجراء الفحوصات عليها (قياس التآكل الكهركيميائي بعد غمرها باللعاب

الصناعي) في حالتها الأصلية كما جاءت من الشركة بينما النصف الآخر فيتم تعريضها لظروف الوسط القموي ثم إجراء الفحوصات ذاتها عليها. ويتم ذلك كما يلي:
نقص كل من الأسلاك باستخدام قاطعة أسلاك تقويمية معقمة إلى نصفين:
فحصل على 96 نصف سلك نيكل تيتانيوم و96 نصف سلك نيكل تيتانيوم نحاسي وزعت إلى مجموعتين :

أولاً: المجموعة الشاهدة (مجموعة الأسلاك الجديدة):

تمثل أسلاك النيكل تيتانيوم الجديدة (48 قطعة سلكية) وأسلاك النيكل تيتانيوم النحاسية الجديدة (48 قطعة سلكية) دون أي تداخل عليها وتم بناء هذه المجموعة على الشكل التالي :

بعد أن حصلنا على 48 نصف سلك نيكل تيتانيوم و 48 نصف سلك نيكل تيتانيوم نحاسي قمنا بعزل كل نصف سلك على حدة وسيتم قياس التآكل الكهروكيميائي عليها بعد أن تغمر في 2 مل من محلول اللعاب الصناعي وتوضع في حاضنة لمدة 3 أسابيع بدرجة حرارة 37 درجة مئوية.

تحضير اللعاب الصناعي:

وهو اللعاب الاصطناعي المستخدم في عدة دراسات سابقة في تآكل أسلاك النيكل تيتانيوم. ويتم تعديل درجة حموضة المحلول باستخدام حمض كلور الماء الممدد لتصل إلى $pH=2$ ويحفظ في درجة حرارة 37 درجة مئوية [8].

من أجل ضبط قيم Ph الوسط والحصول على قيمة حمضية موحدة لمحلول اللعاب الصناعي أثناء فحص جميع العينات تم استخدام جهاز قياس درجة الحموضة PH من شركة WPA

تم تحضير محلول لعاب Fusayama الاصطناعي المعدل والمكون من :

تركيز mg/L	المركب
400	كلوريد الصوديوم NaCl
400	كلوريد البوتاسيوم KCl
795	كلوريد الكالسيوم المائي $CaCl_2 \cdot 2H_2O$
690	بيفوسفات الصوديوم الحامضية $NaH_2PO_4 \cdot H_2O$
300	سيوكبريتيد البوتاسيوم KSCN
5	كبريتيد الصوديوم المائي $Na_2S \cdot 9H_2O$
1000	اليولة Urea

الجدول (1) تركيب اللعاب الصناعي^[8]

ثانياً: المجموعة الاستردادية: (مجموعة الأسلاك المعرضة للوسط الفموي):

سيتم تطبيق النصف الآخر من الأسلاك على مرضى في قسم تقويم الأسنان والفكين كلية طب الأسنان جامعة حماة

معايير الإدخال:

1- نصف المرضى من الذكور والنصف الآخر من الإناث وجميع المرضى بعمر (16-24) سنة

2- جميع المرضى من غير المدخنين.

3- ليس لدى المرضى أي أمراض جهازية عامة

4- صحة فموية جيدة وعدم وجود مظاهر التهاب لثة وسيتم استخدام المشعرات التالية للتأكد من

ذلك

a- مشعر اللويحة السنوية 1963 Silness and Loe

b- مشعر التهاب اللثة 1963 Silness and Loe

5- لا يوجد نخور سنوية (فحص سريري وشعاعي)

6- تنفس أنفي .

7- عدم وجود حشوات معدنية لدى المرضى .

8- عدم تناول المشروبات الغازية خلال فترة التجربة .

9- عدم تناول أي مادة دوائية أثناء فترة التجربة .

معايير الإخراج :

أي مريض لا يحقق واحداً أو أكثر من معايير الإدخال سيتم إخراجهم من الدراسة.

48 نصف سلك نيكل تيتانيوم و 48 نصف سلك نيكل تيتانيوم نحاسي ستتعرض لظروف الوسط الفموي.

حيث نقوم بتطبيق حاصرات ضاحك أول- ضاحك ثاني - أنبوب رحي أولى في كل نصف فك ونطبق بالجهة اليمنى أسلاك نيكل تيتانيوم وفي الجهة اليسرى أسلاك نيكل تيتانيوم نحاسية (أو العكس)

في البداية نقوم بتطبيق الأسلاك المدورة (0.016) إنش وبعد 3 أسابيع نقوم بتطبيق الأسلاك المضلعة (0.016*0.022) إنش

بالتالي كل متطوع سيحمل 8 قطع سلكية خلال مدة زمنية تبلغ 6 أسابيع.



الشكل (1) تطبيق الأسلاك التي ستتعرض لظروف الوسط الفموي

تم تنظيف الأسلاك بعد أن تزال باستخدام بدايةً حمام مائي بدرجة حرارة 37 درجة مئوية بواسطة جهاز حمام مائي من شركة Memmert.

ثم تم تعريضها لحمام بالأموح فوق الصوتية بواسطة جهاز حمام بالأموح فوق الصوتية من شركة Jeken.

بعدها يتم دراسة مقدار التآكل بواسطة جهاز تحديد سرعة التآكل الإلكتروني Model 1359 من شركة ACM Instruments بريطاني الصنع.

طريقة الإختبار :

ثم إدخال بعض المعطيات للحاسب الموصول بالجهاز مثل التركيب الكيميائي للسلك وتكافؤ العناصر الداخلة في تركيب الخليطة والوزن النوعي يتم رسم المنحني البياني الذي يعبر عن العلاقة بين تيار التآكل والكمون الكهربائي، وبالتالي يمكن رسم منحنيات الاستقطاب التي تم استخدامها

طريقة تافل :

يتم رسم منحنيات الاستقطاب للتفاعل الكاثودي والأنودي .وتوضح المنحنيات العلاقة بين فرق الكمون وشدة التيار الكهربائي.

يتم استقراء التيارات في منطقتي تافل للحصول على تيار التآكل وذلك في نقطة تقاطع المماسين لمنحني الاستقطاب الكاثودي والأنودي .

سيتم استخدام جهاز تحديد سرعة التآكل الإلكتروني طراز MODEL 1395 من شركة ACMB البريطانية الذي يعتمد طريقة تقييم التآكل الكهروكيميائية من خلال قياس سعة المكثفة المتكونة من سطح المعدن و سطح السائل الملامس له وذلك بقياس شدة التيار التآكلي ثم حساب معدل التآكل بوحدة (mm/year) ويمكن توضيح ذلك كما يلي:

$$G = M.I.t/n.F$$

وزن المادة التي يخسرها المعدن بالتآكل (gr)

حيث M:الوزن الجزيئي.(gr/mol)

n: عدد الإلكترونات المتبادلة في التفاعل الإلكتروليتي الناتج.

I : شدة التيار.(A)

t: الزمن.(sec)

F: ثابت فاراداي (C/mol) = 96500

سرعة التآكل بوحدة (gr/sec)

نقسم طرفي العلاقة السابقة على الكثافة (gr/cm³) d ، والسطح (cm²) A ، ونستبدل

النسبة M/n بما يكافئها وهو الوزن المكافئ E.W

$$\frac{E.W.I}{F.d.A}$$

CR = سرعة التآكل بوحدة (cm/sec)

وبتحويل الثواني إلى أعوام والسنتيمتر إلى ميليمتر نحصل على:

$$CR = I_{corr} \cdot k \cdot EW / d \cdot A$$

CR معدل التآكل (mm/year)

EW الوزن النوعي المكافئ للمادة المتآكلة (gr/mol)

I_{corr} كثافة تيار التآكل (mA/cm²)

d كثافة المادة المتآكلة (gr/cm³)

A مساحة السطح cm²

K ثابت

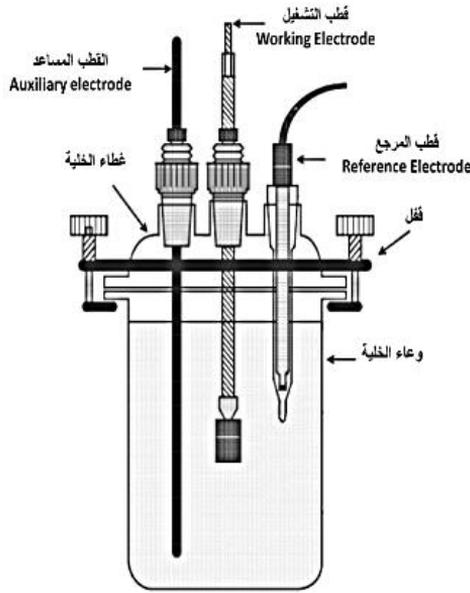
وهذه العلاقة هي التي يستخدمها الجهاز لحساب سرعة التآكل مباشرة من تيار التآكل [5].



الشكل (2) وضع الإلكترودات المعيارية في وسط الاختبار

طريقة توصيل دائرة الاختبار:

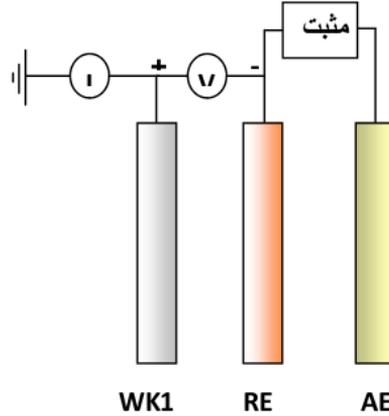
عندما يراد دراسة تآكل معدن ما في وسط معين، فيمكن تحقيق ذلك بتطبيق نظام الأقطاب الثلاثة ولكن بتثبيت جهد القطب المساعد في هذه الحالة، ويعمل قطب التشغيل (المعدن المختبر) على إمرار كل التيار الضروري لإحداث التوازن اللازم على القطب المساعد



الشكل (3) طريقة توصيل دائرة الاختبار

بالاستعانة بجهاز تثبيت الجهد، يوصل الطرف الموجب للجهاز مع قطب التشغيل (المعدن المراد اختباره) والطرف السالب مع القطب المساعد كما في الشكل (4) ويتم التحكم بقيمة الجهد الخاصة بالقطب المساعد بواسطة قطب مرجعي موصول إلى مأخذه الخاص به في الجهاز، حيث يقوم الجهاز بتثبيت جهد القطب المساعد (مقارنة مع القطب المرجعي) وعند عدة قيم، ومن ثم يتم مراقبة التغيرات الحاصلة على الكُمون و شدة التيار في قطب التشغيل، الضرورية لمواكبة التغيرات الحاصلة على القطب المساعد.

تمكننا هذه التجارب من رسم منحنى الاستقطاب الخاص بقطب التشغيل ، وحساب سرعة التآكل انطلاقاً من معرفة تيار التآكل ، ويتم ذلك في زمن صغير نسبياً ، مقارنة مع الزمن اللازم لإجراء الاختبارات التقليدية للتآكل التي تعتمد على تقييم التآكل بالطريقة الوزنية.

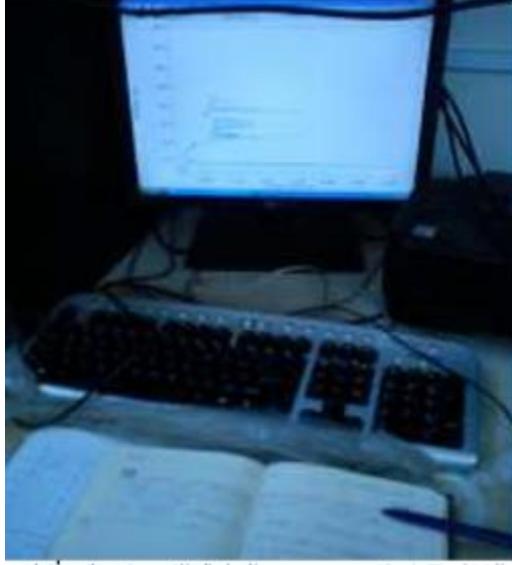


الشكل (4) [6]

مراحل إجراء الاختبار:

- 1- تحضير العينات.
- 2- وضع القطبين المساعد والمرجعي وقطب التشغيل الذي يمثله السلك المدروس، مع مراعاة وضع هذه الأقطاب بشكل متقابل ما أمكن ذلك.
- 3- وصل هذه الأقطاب بالشكل المطلوب يؤدي لتشكيل خلية كهروكيميائية.
- 4- إدخال البيانات اللازمة للجهاز مثل نوع السلك والتركيب الكيميائي ومساحة السطح المدروس ودرجة حرارة الوسط.
- 5- إجراء الاختبار بواسطة جهاز تحديد سرعة التآكل الإلكتروني والذي يرسم منحنى الجهد مع التيار والذي يعبر عن السلوك الكهروكيميائي للعينة.

6- يقوم الجهاز برسم منحنيات استقطاب تافل وحساب معدل التآكل وكثافة تيار التآكل بعد رسم منحنى السلوك الكهروكيميائي.



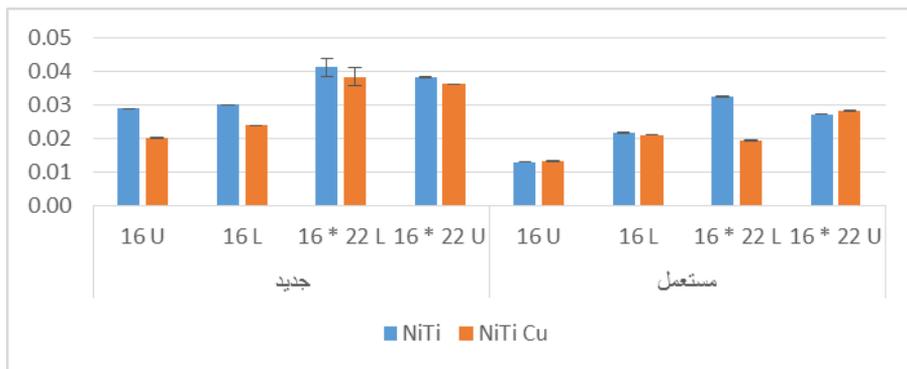
الشكل (5) رسم منحنيات الاستقطاب

النتائج:

تراوح المتوسط الحسابي لسرعة التآكل الكهروكيميائي للأسلاك المصنوع من خليطة النيكل تيتانيوم بين 0.0130 مايكرومتر/3 أسابيع في سلك U 16 و 0.0413 مايكرومتر/3 أسابيع في سلك L 22 * 16. وفي الأسلاك المصنوعة من خليطة النيكل تيتانيوم النحاسية تراوح بين 0.0133 مايكرومتر/3 أسابيع في سلك U 16 و 0.0385 مايكرومتر/3 أسابيع في سلك L 22 * 16.

تركييب السلك	نوع السلك	حالة السلك	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	أدنى قيمة	أعلى قيمة	مجال الثقة 95%	
							الحد الأدنى	الحد الأعلى
NiTi	16 L	جديد	0.0301	0.0001	0.0300	0.0302	0.0301	0.0302
		مستعمل	0.0217	0.0001	0.0215	0.0219	0.0216	0.0218
	16 U	جديد	0.0289	0.0026	0.0240	0.0302	0.0270	0.0307
		مستعمل	0.0130	0.0001	0.0128	0.0131	0.0129	0.0130
	16 * 22 L	جديد	0.0413	0.0001	0.0412	0.0414	0.0412	0.0413
		مستعمل	0.0325	0.0001	0.0323	0.0327	0.0324	0.0326
	16 * 22 U	جديد	0.0384	0.0002	0.0381	0.0385	0.0383	0.0385
		مستعمل	0.0273	0.0001	0.0271	0.0275	0.0272	0.0274
NiTi Cu	16 L	جديد	0.0239	0.0001	0.0238	0.0240	0.0239	0.0240
		مستعمل	0.0211	0.0001	0.0209	0.0213	0.0210	0.0212
	16 U	جديد	0.0202	0.0001	0.0201	0.0203	0.0201	0.0202
		مستعمل	0.0133	0.0001	0.0132	0.0134	0.0132	0.0133
	16 * 22 L	جديد	0.0385	0.0001	0.0384	0.0386	0.0384	0.0385
		مستعمل	0.0194	0.0001	0.0191	0.0196	0.0193	0.0195
	16 * 22 U	جديد	0.0363	0.0001	0.0362	0.0364	0.0362	0.0363
		مستعمل	0.0283	0.0001	0.0282	0.0284	0.0283	0.0284

جدول (2) الإحصاء الوصفي لسرعة التآكل الكهروكيميائي للسلك حسب تركيبه ونوعه وحالته



مخطط (1) المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لسرعة التآكل الكهروكيميائي للسلك حسب تركيبه ونوعه وحالته

1. التفاعل الثلاثي (3-way interaction):

استخدم اختبار تحليل التباين الثلاثي (3-way ANOVA) لدراسة تأثير تركيب السلك ونوعه وحالته على سرعة التآكل الكهروكيميائي. وقد كان هناك تفاعل ثلاثي بين تركيب السلك ونوعه وحالته ($p < 0.0005$).

P	F	
0.000	4.171	تركيب السلك * نوعه * حالته

جدول (3) اختبار تحليل التباين الثلاثي لدراسة تأثير تركيب السلك ونوعه وحالته على سرعة التآكل

الكهروكيميائي

2. التفاعلات الثنائية البسيطة (Simple 2-way interactions):

تركيب السلك ونوعه : تُقبل الجوهرية الإحصائية عندما تكون قيمة $p < 0.025$ عند اختبار التفاعل الثنائي البسيط بين تركيب السلك ونوعه.

كان هناك تفاعل ثنائي بسيط جوهري إحصائياً بين تركيب السلك ونوعه وذلك في كل من الأسلاك الجديدة والمستعملة ($p < 0.0005$).

حالة السلك	F	P
جديد	111.076	0.000
مستعمل	534.313	0.000

جدول (4) التفاعل الثنائي البسيط بين تركيب السلك ونوعه على سرعة التآكل الكهروكيميائي

تركيب السلك وحالته: تُقبل الجوهرية الإحصائية عندما تكون قيمة $p < 0.0125$ عند اختبار التفاعل الثنائي البسيط بين تركيب السلك وحالته.

كان هناك تفاعل ثنائي بسيط جوهري إحصائياً بين تركيب السلك وحالته وذلك في جميع أنواع الأسلاك المستخدمة في الدراسة ($p < 0.0005$).

P	F	نوع السلك
0.000	181.929	16 L
0.000	480.522	16 U
0.000	632.418	16 * 22 L
0.000	60.974	16 * 22 U

جدول (5) التفاعل الثنائي البسيط بين تركيب السلك وحالته على سرعة التآكل الكهروكيميائي

نوع السلك وحالته: تُقبل الجوهريّة الإحصائية عندما تكون قيمة $p < 0.0125$ عند اختبار التفاعل الثنائي البسيط بين نوع السلك وحالته.

كان هناك تفاعل ثنائي بسيط جوهرياً إحصائياً بين نوع السلك وحالته وذلك في كلٍّ من أسلاك NiTi وأسلاك NiTi Cu ($p < 0.0005$).

P	F	تركيب السلك
0.000	140.962	NiTi
0.000	572.325	NiTi Cu

جدول (6) التفاعل الثنائي البسيط بين نوع السلك وحالته على سرعة التآكل الكهروكيميائي

المناقشة:

1. أولاً: تأثير تركيب السلك على سرعة التآكل الكهروكيميائي:

أ- في الأسلاك الجديدة:

أظهرت دراستنا أن أسلاك NiTi تتعرض للتآكل بشكل أكبر ويفارق جوهرياً إحصائياً في كل الأنواع المدروسة (المضلعة، المدورة) - (العلوية والسفلية).

وهنا نختلف مع نتائج (D'Anto, 2012)^[9] الذي لم يلاحظ فروقاً جوهرياً في خشونة سطح أسلاك النيكل تيتانيوم فائقة المرونة والمنشطة حرارياً الجديدة، يمكن أن نعزو سبب

الاختلاف إلى أن كلا نوعين الأسلاك من شركة مختلفة عن الأخرى واحتواء الأسلاك المنشطة حرارياً في دراستنا على النحاس وغير الموجود في الدراسة المذكورة.

بينما اتفقنا مع (Perinetti et al,2010)^[10] الذي وجد أن أسلاك النيكل تيتانيوم فائقة المرونة الجديدة أكثر خشونة من تلك المنشطة حرارياً.

ب- في الأسلاك المستعملة:

1- أظهرت دراستنا عدم وجود فارق جوهري إحصائياً بين نوعي الأسلاك المدروسة في الأسلاك المدورة (العلوية والسفلية).

2- أظهرت دراستنا أن الأسلاك المضلعة السفلية من نوع NiTi تتعرض للتآكل بفارق جوهري إحصائياً أكبر من أسلاك CuNiTi.

3- وعلى العكس فقد أظهرت دراستنا أن أسلاك المضلعة العلوية من نوع NiTi تعرضت للتآكل بشكل أقل وبفارق جوهري إحصائياً عن أسلاك CuNiTi.

نفسر اختلاف ترتيب سرعة التآكل الكهركيميائي في مجموعات أسلاك NiTiCu عن مثلتها في أسلاك NiTi ربما لوجود مادة النحاس والذي يحسن من خواص الخليطة المكونة للسلك.

ويمكن القول أننا وجدنا في دراستنا أن سطوح أسلاك النيكل تيتانيوم النحاسية صمدت أكثر في مواجهة ظروف الوسط الفموي وخصوصاً أنها مصممة لتعبر عن كامل صفات الذاكرة الشكلية في درجة الحرارة 35 درجة مئوية على اعتبار أن أسلاك النيكل تيتانيوم النحاسية تعتبر أحد أشكال أسلاك نيكل تيتانيوم المنشطة حرارياً.

اتفقت دراستنا مع دراسة (غزال & الصباغ، 2014) اللذان وجد أسلاك النيكل تيتانيوم فائقة المرونة حررت كمية أكبر من النيكل -وتحرر الشوارد يعتبر أحد مظاهر التآكل- من أسلاك النيكل تيتانيوم المنشطة حرارياً بعد غمرها باللعاب الصناعي، لكن اختلفت دراستنا معه بوجود فروق جوهرية بين النوعين في الدراسة الحالية بينما لم تكن كذلك في دراسته، مع العلم بوجود التشابه بشكل كبير بين الشروط المتبعة بين دراسته ودراستنا، إلا أن دراستنا اعتمدت أسلاك منشطة حرارية تحوي النحاس بالإضافة إلى اعتمادنا طريقة تنظيف للأسلاك مغايرة عما اتبعه في دراسته وذلك باستخدامنا في دراستنا تنظيف الأسلاك بالأمواج فوق الصوتية.

وانفقت دراستنا مع دراسة (Kuhta,2009) ^[11] الذي وجد فروقاً جوهرية واضحة في تحرر شوارد النيكل من أسلاك النيكل تيتانيوم فائقة المرونة والمنشطة حرارياً.

2. ثانياً: تأثير مقطع السلك (مدور- مضلع)، وتوضعه (علوي- سفلي) على سرعة التآكل الكهروكيميائي:

1- أسلاك الـ NiTi :

أ- في الأسلاك الجديدة:

أظهرت دراستنا وجود فروق إحصائية في سرعة التآكل الكهروكيميائي بين كل مجموعتين من المجموعات الأربعة المدروسة وعلى الترتيب التالي (من الأدنى للأعلى) :

16 U -1

16 L -2

16*22 U -3

16*22 L -4

ب- في الأسلاك المستعملة:

كما هو الحال في الأسلاك الجديدة فقد أظهرت دراستنا وجود فروق جوهرية إحصائياً في سرعة التآكل الكهروكيميائي بين كل مجموعتين من المجموعات الأربعة المدروسة وبنفس الترتيب السابق.

من النتائج السابقة نجد:

1- أن الأسلاك المضلعة تتعرض للتآكل بشكل أكبر من الأسلاك المدورة ونفس ذلك بأن طبوغرافية السلك المضلع تعرض على ازدياد التآكل بشكل أكبر بسبب زيادة مساحة السطح.

2- أن الأسلاك السفلية تتعرض للتآكل بشكل أكبر من الأسلاك العلوية ونفس ذلك بأن الظروف الفموية التي تتعرض لها الأسلاك السفلية هي أفسى بسبب وجود اللعاب بشكل أكبر.

2- أسلاك الـ NiTiCu :

أ- في الأسلاك الجديدة:

أظهرت دراستنا وجود فروق جوهرية إحصائياً في سرعة التآكل الكهروكيميائي بين كل مجموعتين من المجموعات الأربعة المدروسة وبنفس الترتيب السابق.

ب- في الأسلاك المستعملة:

أيضاً أظهرت دراستنا وجود فروق جوهرية إحصائياً في اختلاف سرعة التآكل الكهروكيميائي ولكن بترتيب مختلف عن الأسلاك الجديدة:

16 U -1

16*22 L -2

16 L -3

16*22 U -4

لم نجد تفسير لاختلاف ترتيب سرعة التآكل الكهروكيميائي في مجموعات أسلاك NiTiCu عن مثيلتها في أسلاك NiTi، ولكن بقي عامل كون السلك مزلعاً مؤثراً في ازدياد سرعة تآكل السلك.

ونختلف في هذه النتيجة مع (Perinetti et al,2010) [12] الذي سجل زيادة التآكل السطحي لأسلاك النيكل تيتانيوم المنشطة حرارياً مقارنة مع أسلاك النيكل تيتانيوم فائقة المرونة وخصوصاً عند تعرضها لدرجة PH منخفضة إلا أن دراسته كانت مخبرية تقارن بين نوعين من شركات مختلفة اكتفى فيها بتعريض الأسلاك لدورات حرارية صممت لتمثيل التغيرات الحرارية التي تسجل في الفم عند تناول أطعمة باردة وأخرى ساخنة وذلك في أوساط مختلفة من اللعاب الصناعي لها درجات حموضة مختلفة (غمر ساكن)، ويمكن أن نعزو سبب الاختلاف إلى اختلاف شروط التجربة من حيث نوع اللعاب الصناعي وكون الباحث درس نوعي الأسلاك من شركتين مختلفتين. كما أن الأسلاك المستخدمة في دراستنا في تجربتنا ذات أبعاد 0.016 و 0.016*0.022 إنش والتي قد تبدي إجهاداً أقل ونعومة أكبر في سطح السلك عند تعرضها للدورات الحرارية والإجهاد الميكانيكي مقارنة مع الأسلاك ذات الأبعاد الأصغر (Bourauel,2008). [13]

ويبدو أن التآكل الذي تعرض له نوعي الأسلاك كان بسيطاً نسبياً وخشونتها السطحية كانت بالحدود الجيدة والمقبولة سريرياً، وهو ما سجله أيضاً (Zineils,2007) [14] في معظم أسلاك النيكل تيتانيوم بعد استخدامها في الوسط الفموي بغض النظر عن التركيب الكيميائي.

3. ثالثاً: تأثير حالة السلك (جديد، مستعمل) على سرعة التآكل الكهروكيميائي:

في كلا مجموعتي الدراسة (أسلاك NiTi, NiTiCu) وبمختلف مقاطع السلك (مدور، مزلع) وفي أسلاك الفكين العلوي والسفلي فقد أظهرت دراستنا أن سرعة التآكل

الكهركيميائي تكون أكبر ويفارق جوهرى إحصائياً في مجموعة الأسلاك الجديدة عن مجموعة الأسلاك القديمة، ويمكن أن نعزو ذلك إلى أن توضع السلك في اللعاب الطبيعي وضمن ظروف البيئة الفموية يؤدي إلى تشكيل طبقة من أوكسيد الخليطة المكونة للسلك تعمل كطبقة حماية تؤدي إلى تخامد التآكل مع مرور الوقت.

اختلفت دراستنا مع ما وجدته (Alcock,2009) [15] الذي لم يسجل تأثيراً يذكر لخشونة سطح أسلاك النيكل تيتانيوم المنشطة حرارياً بعد الاستعمال السريري (لمدة وسطية 91 يوماً) وذلك بعد فحصها بمجهر القوة الذرية-علماً أن الخشونة السطحية هي أحد المظاهر التي تدل على التآكل، قد يكون السبب في ذلك أنه لم يدرس سوى النهايات الوحشية للأسلاك ولم يدرس سطحها، كما قام بتطهير الأسلاك بعد استعمالها في الوسط الفموي لإزالة اللويحة من على سطوح الأسلاك بواسطة جهاز الأمواج فوق الصوتية وهي مغمورة بمحلول sodium dodecyl sulphate (SDS) بتركيز 2% لمدة 5 دقائق، ثم مسحها بلفافات قطنية بنفس المحلول السابق لمدة دقيقة، ثم غسلها بالماء المقطر لمدة 20 ثانية، ثم غمر الأسلاك بالكحول الإيثيلي 70% لمدة دقيقتين ثم جففت باستخدام الهواء قبل فحصها تحت المجهر، وهي خطوات مغايرة لدراستنا، لم نتبعها خشية تأثيرها على خواص الأسلاك وعلى نتائج الدراسة.

من ناحية أخرى فإننا نتفق مع (Eliades,2000) [16] الذي وجد أن طبوغرافية وبنية سطح أسلاك النيكل تيتانيوم تتغير عند تعرضها للوسط الفموي نتيجة مهاجمة السطح بشكل تآكل نقطي Pitting Corrosion أو تآكل على شكل شقوق Crevice Corrosion أو تشكيل غلاف بروتيني قد يصبح متكلساً ومنتظماً بعد فترات الاستعمال الطويلة مع الأخذ بعين الاعتبار الاختلافات الفردية بين ظروف الوسط الفموي لكل مريض.

اختلفت دراستنا مع (suarez,2010)^[17] الذي سجل في دراسته المخبرية عدم وجود تغيرات في خشونة سطح أسلاك النيكل تيتانيوم المستخدمة في التقويم اللساني بعد غمرها الساكن، ويمكن أن نعزو سبب الاختلاف مع دراستنا إلى اختلاف الوسط الذي غمرت به الأسلاك حيث كان غمر الأسلاك في هذه الدراسة في محلول ملحي Saline solution.

الاستنتاجات:

- 1- لا فارق بين نوعي الأسلاك NiTi, NiTiCu المدورة من حيث سرعة التآكل الكهروكيميائي.
- 2- تعتبر أسلاك NiTiCu المضلعة السفلية أقل تعرضاً للتآكل الكهروكيميائي من مثيلتها من أسلاك NiTi وبفارق جوهري إحصائياً.
- 3- تعتبر أسلاك NiTiCu المضلعة العلوية أكثر تعرضاً للتآكل الكهروكيميائي من مثيلتها من أسلاك NiTi وبفارق جوهري إحصائياً.
- 4- تتعرض الأسلاك المضلعة للتآكل الكهروكيميائي بشكل أكبر من الأسلاك المدورة وبفارق جوهري إحصائياً في كلا النوعين المدروسين من الأسلاك.
- 5- تتخامد سرعة التآكل الكهروكيميائي بعد وضع السلك في الوسط الفموي في كلا النوعين المدروسين من الأسلاك.

التوصيات:

- 1- نوصي باستخدام كلا نوعي أسلاك النيكل تيتانيوم والنيكل تيتانيوم النحاسية بالنسبة للأسلاك المدورة نظراً لمقدار التآكل الكهروكيميائي المتقارب بينهما.
- 2- بالنسبة للأسلاك المضلعة السفلية نوصي باستخدام أسلاك نيكل تيتانيوم النحاسية نظراً لتفوقها من ناحية قلة التآكل الكهروكيميائي عن نظيرتها من أسلاك النيكل تيتانيوم.

3- بالنسبة للأسلاك المضلعة العلوية نوصي باستخدام أسلاك نيكل تيتانيوم نظراً لتفوقها من ناحية قلة التآكل الكهروكيميائي عن نظيرتها من أسلاك النيكل تيتانيوم النحاسية.

المراجع :

- [1] Eliades T, Athanasiou AE. In vivo aging of orthodontic alloys: implications for corrosion potential, nickel release, and biocompatibility. *Angle Orthod.* 2002 Jun;72(3):222-, n.d.
- [2] Fernandes DJ, Peres RV, Mendes AM, Elias CN. Understanding the shapememory alloys used in orthodontics. *ISRN Dent.* 2011;2011:132408. doi:10.5402/2011/132408. Epub 2011 oct 3, n.d.
- [3] Gravina, M.A., Canavarro, C., Elias, C.N., Chaves, M. das G.A.M., Brunharo, I.H.V.P., Quintão, C.C.A., 2014. Mechanical properties of NiTi and CuNiTi wires used in orthodontic treatment. Part 2: Microscopic surface appraisal and metallurgical characteristics. *Dental Press J. Orthod.* 19, 69–76. <https://doi.org/10.1590/2176-9451.19.1.069-076.oar>
- [4] D'antò, V., Rengo, C., Simeone, M., Riccitiello, F., & Amato, M. (2012). Effect of autoclaving on the surfaces of TiN-coated and conventional
- [5] Fischer-Brandies, H., Es-Souni, M., Kock, N., Raetzke, K., Bock, O., 2003. Transformation Behavior, Chemical Composition, Surface Topography and Bending Properties of Five Selected 0.016'' × 0.022'' NiTi Archwires. *Journal of Orofacial Orthopedics*
- [6] Fateh, A., Aliofkhazraei, M., Rezvanian, A.R., 2020. Review of corrosive environments for copper and its corrosion inhibitors. *Arabian Journal of Chemistry* 13, 481–544.
- [7] B.S. Covino, Jr. 2003, Introduction to Forms of Corrosion, Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection, Vol 13A, ASM Handbook, ASM International, , p 189, n.d.
- [8] Saifi, H., Ouchenane, S., Bourenane, R., Boukerche, S., Joiret, S.,

- Takenouti, H., 2019. Electrochemical Behavior Investigation of Cysteine on Nickel Corrosion in Acidic Medium. *J Fail. Anal. and Preven.* 19, 1597–1606. <https://doi.org/10.1007/s11668-019-00761-4>
- [9] Oshida, Y., Sachdeva, R.C.L., Miyazaku, S., 1992. Microanalytical Characterization and Surface Modification of TiNi Orthodontic Archwires. *Bio-Medical Materials and Engineering* 2, 51–69. <https://doi.org/10.3233/BME-1992-2201>
- [10] Chen HR 2010. Shape Memory Alloys: Manufacture, Properties and Applications, Nova Science Puplichers Inc., ISBN 978- -9 5-, n.d.
- [11] Perinetti G, Contardo L, Ceschi M, Antonioli F, Franchi L, Baccetti T, Di Lenarda R. Surface corrosion and fracture resistance of two nickeltitanium-based archwires induced by fluoride, PH, and thermocycling. An in vitro comparative study. *Eur J Orthod.* 2010 Nov 1, n.d.
- [12] Kuhta M, Pavline D, Slaj M, Varga S, Lapter-Varga M, Slag M. Type of archwire and level of acidity: effects on the release of metal ions from orthodontic appliances. *Angle Orthod.* 2009 Jan;79(1):102-, n.d
- [13] Bourauel, C., & Jäger, A. (2008). Corrosion susceptibility and nickel release of nickel titanium wires during clinical application. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, 69(6), 411-423, n.d.
- [14] Zinelis, S., Eliades, T., Pandis, N., Eliades, G., Bourauel, C., 2007. Why do nickel-titanium archwires fracture intraorally? Fractographic analysis and failure mechanism of in-vivo fractured wires. *American Journal of Orthodontics and*

Dentofacial Orthopedics 132, 84–89

- [15] Alcock, J. P., Barbour, M. E., Sandy, J. R., & Ireland, A. J. (2009). Nanoindentation of orthodontic archwires: The effect of decontamination and clinical use on hardness, elastic modulus and surface roughness. *Dental Materials*, 25(8), 1039-1043., n.d.
- [16] Eliades T, Athanasiou AE. In vivo aging of orthodontic alloys: implications for corrosion potential, nickel release, and biocompatibility. *Angle Orthod.* 2002 Jun;72(3):222-, n.d.
- [17] Suarez C, Vilar T, Gil J, Sevilla P. In vitro evaluation of surface topographic changes and nickel release of lingual orthodontic archwire. *J mater Sci Mater Med* 2010 Feb;21(2):675-983. E pub 2009 Oct 14, n.d.

