الجمهورية العربية السورية
جامعة حماة
كلية طب الأسنان
قسم تقويم الأسنان والفكين

تقييم تحرر شوارد النيكل والكروم من الأسلاك التقويمية المصنوعة من النيكل تيتانيوم والكروم كوبالت والفولاذ غير القابل للصدأ

(دراسة مخبرية)

بحث علمي أعد لنيل درجة الماجستير في علوم طب الأسنان

اختصاص تقويم الأسنان والفكين

إعداد الباحثة

رمـــا أكـــرم الخـــوري

إشراف

الأستاذ الدكتور أحمد برهان

أستاذ مساعد في قسم تقويم الأسنان والفكين

2018 م - 1439هـ

الشـــكر و العـــرفان

بدايةً أحمد **الله** _ عزوجل _ على توفيقه لي لإنجاز هذا البحث فالحمد **لله** أولاً و أخيراً .

أتوجه بجزيل الشكر للأستاذ الدكتور **أحمد برهان** الذي تكرم بالإشراف على هذا البحث و قدم لي يد العون و المساعدة و لم يبخل علي بوقته الثمين و قام بتصحيح أخطائي و هفواتي فله مني كل الاحترام والتقدير .

أتوجه بالشكر الجزيل للجنة الحكم الكريمة التي تكرمت بوقتها الثمين وقامت بتحكيم هذه الرسالة متمثلةً بالأستاذة الدكتورة **رباب الصباغ** عميدة كلية الصيدلة و أستاذة تقويم الأسنان والفكين في قسم تقويم الأسنان والفكين في كلية طب الأسنان بجامعة حماة، والأستاذ الدكتور **حسان فرح** رئيس قسم تقويم الأسنان والفكين في كلية طب الأسنان بجامعة حماة الذين قدما كل الدعم والتسهيلات اللازمة خلال فترة إنجاز هذا البحث، فلهما مني كل الاحترام.

لجامعتي الغالية جامعة حماة تحية من القلب وكل الشكر للأستاذ رئيس الجامعة الأستاذ الدكتور محمد زياد سلطان على كل ما قدمه لنا من دعم وتسهيلات . .

الشكر الجزيل لإدارة كلية طب الأسنان ممثلة بالأستاذ الدكتور **حسان حلبية** عميد كلية طب الأسنان و الأستاذ الدكتور **بسام النجار** نائب العميد للشؤون العلمية و الأستاذ الدكتور **حسان فرح** نائب العميد للشؤون الإدارية والذين قدموا كل ما يلزم لإنجاز هذا البحث .

وأتوجه بالشكر الجزيل للدكتور **فراس سلطان** القائم على مخبر الكيمياء الحديثة في كلية الطب البيطري لمساهمته في إنجاز الاختبارات الخاصة بعينات البحث.

الشكر الجزيل لأعضاء الهيئة التدريسية في كلية طب الأسنان و في قسم تقويم الأسنان والفكين بشكل خاص الذين لم يبخلوا علي بوقتهم أو بعلمهم خلال الفترة التي درست فيها علم تقويم الأسنان والفكين ، فلن أنسى عظيم فضلهم علي.

لا أنسى أن أقدم الشكر أيضاً إلى **جميع الموظفين العاملين في قسم تقويم الأسنان و الفكين** بكلية طب الأسنان جامعة حماة على تعاونهم معي أثناء إنجاز هذا البحث.

أتوجه بالامتنان العميق **لأفراد عائلتي الكريمة متمثلة بوالدي ووالدتي العزيزين وأخوتي الرائعين (زينة، ميسا، شادي)** على كل ما قدموه لي من دعم و مساندة وحب منذ بداية هذه الدراسة حتى انتهائها .

إلى من كان دخوله إلى حياتي دافعاً جميلاً للعمل والنجاح **إيلي** .

أخيراً و ليس آخراً الشكر كل الشكر إلى جميع **زملائي و أصدقائي** الذين و قفوا بجانبي وساندوني أثناء فترة إنجاز هذا البحث فقد كان لكل منهم أثره الخاص أثناء الفترة التي أنجزت فيها هذا البحث.

إقـــــرار

أصرح بأن هذا البحث بعنوان

((تقييم تحرر شوارد النيكل والكروم من الأسلاك التقويمية المصنوعة من النيكل تيتانيوم والكروم كوبالت والفولاذ غير القابل للصدأ))

(دراسة مخبرية)

هو العمل الأصلي للباحثة ولم يسبق أن قُبل للحصول على أية شهادة ولا هو مُـقَـدَّم حالياً للحصول على شهادة أخرى

الباحثة: رما أكرم الخوري

فهرس المحتويات:

الموضوع	رقم الصفحة
1-المقدمة	1
2-المراجعة الأدبية	4
2-1- الأسلاك التقويمية	5
2-1-1- الصفات التي يجب أن تتمتّع بها الأسلاك التقويميّة	5
2-1-2- الخلائط المستخدمة في صناعة الأسلاك التقويميّة	6
2-1-2-1- الذهب	6
2-1-2-2- الفولاذ غير القابل للصدأ	8
2-1-2-3- خلائط الكروم – كوبالت – نيكل	12
2-1-2-4- خلائط التيتانيوم	15
2-2- التآكل	21
2-2-1- مفهوم التآكل	21
2-2-2- أهمية دراسة التآكل	21
2-2-3- أنواع التآكل الذي تتعرَّض له الخلائط التقويمية	22
2-3- النيكل	26
2-3-1- عنصر النيكل في الجدول الدوري	26
2-3-2- استخدامات النيكل في مجال طب الأسنان وتقويم الأسنان بشكل خاص...	26
2-3-3- سلبيات النيكل والحدود المسموح بها	27
2-4- الكروم	29
2-4-1- عنصر الكروم في الجدول الدوري	29
2-4-2- استخدام الكروم في مجال طب الأسنان وتقويم الأسنان بشكل خاص	29

2-4-3- التأثيرات السلبيّة للكروم	29
2-5- التحليل بطيف الامتصاص الذري	30
2-5-1- مبدأ الطريقة	30
2-5-2- الأنظمة المستخدمة في تقنيّة الامتصاص الذري	30
تبيان المشكلة	36
3-الأهداف وفرضيات العدم	37
3-1- أهداف البحث	38
3-2- فرضيات العدم	39
4-المواد والطرائق	40
4-1- تحديد حجم العينة	41
4-2- بناء العينة	42
4-3- المواد المستخدمة للبحث	44
4-4- الجهاز المستخدم في البحث	44
4-4-1- مكونات الجهاز	45
4-4-2- طريقة عمل الجهاز	46
4-5- طريقة العمل	46
4-6- طريقة تحليل العينات	50
4-6-1- تحضير المحاليل القياسية	50
4-6-2- تحضير العينات لقياس شوارد النيكل والكروم	51
5-النتائج	55
5-1- المقارنة بين قيم الشوارد المتحررة من كافة أنواع الأسلاك معاً	56
5-2- المقارنة بين أنواع الأسلاك من حيث تحرر شوارد النيكل ضمن درجة حموضة (pH=5)	58
5-3- المقارنة بين أنواع الأسلاك من حيث تحرر شوارد النيكل ضمن درجة حموضة (pH=7)	62

5-4- المقارنة بين أنواع الأسلاك من حيث تحرر شوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=5)	66
5-5- المقارنة بين أنواع الأسلاك من حيث تحرر شوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=7)	70
5-6- المقارنة بين نوع الشوارد المتحررة من الأسلاك ضمن درجة pH=5	74
5-7- المقارنة بين نوع الشوارد المتحررة من الأسلاك ضمن درجة pH=7	75
5-8- المقارنة بين قيم شوارد النيكل المتحررة من الأسلاك ضمن درجتي pH مختلفتين .	76
5-9-المقارنة بين قيم شوارد الكروم المتحررة من الأسلاك ضمن درجتي pH مختلفتين ..	77
6-المناقشة	78
6-1- المقارنة بين أنواع الأسلاك من حيث تحرر شوارد النيكل	81
6-2- المقارنة بين أنواع الأسلاك من حيث تحرر شوارد الكروم	83
6-3- تأثير اختلافpH اللعاب الاصطناعي على تحرر الشوارد من الأسلاك التقويمية	83
6-4- المقارنة بين نوع الشوارد المتحررة من الأسلاك	85
6-5- تقييم التقبل الحيوي للأنواع المختلفة من الأسلاك التقويمية	85
7-الاستنتاجات	86
8-التوصيات والمقترحات المستقبلية	88
9-الملخص	90
10-قائمة المراجع	95

فهرس الأشكال التوضيحية و الرسوم البيانية

رقم الشكل	اسم الشكل	رقم الصفحة
1	شكل البلورات في الطورين المارتنسيتي والأوستنيتي الذي تمر به أسلاك النيكل تيتانيوم	16
2	العلاقة بين الحمولة (أو الجهد) والانحراف (أو التوتر)	20
3	أسلاك نيكل تيتانيوم فائقة المرونة والحرارية	42
4	أسلاك الفولاذ غير القابل للصدأ	43
5	أسلاك النيكل – الكروم – كوبالت أزرق	43
6	جهاز الامتصاص الذري المستخدم في الدراسة	45
7	حجرة المصابيح الخاصة بالجهاز	46
8	اللعاب الاصطناعي ذو درجة الحموضة 7	48
9	اللعاب الاصطناعي ذو درجة الحموضة 5	48
10	الأسلاك ضمن الأطباق البلاستيكية المعقمة	48
11	الأطباق مختومة جيدا بعد وضع الأسلاك ضمنها وغمرها في 25مل من اللعاب الاصطناعي	49
12	جهاز الحاضنة	49
13	المحلول القياسي لعنصر الكروم 1000ميكروغرام/ل	50
14	المحلول القياسي لعنصر النيكل1000ميكروغرام/ل	50
15	واجهة البرنامج الخاص بجهاز الامتصاص الذري	51
16	وضع 1مل من اللعاب الاصطناعي ضمن أنابيب بندروف الخاصة بجهاز الامتصاص الذري	51
17	الفرن الغرافيتي أثناء تسخين العينات	53
18	غسل رأس الماصة اتوماتيكيا	53

19	مخطط بياني يمثل تراكيز شوارد النيكل المتحررة ضمن درجة حموضة (pH=5) في جميع أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حرارياً – SS – ألجيلوي)	61
20	مخطط بياني يمثل تراكيز شوارد النيكل المتحررة ضمن درجة حموضة (pH=7) في جميع أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشط حراريا – SS – ألجيلوي)	65
21	مخطط بياني يمثل تراكيز شوارد الكروم المتحررة ضمن درجة حموضة (pH=5) في جميع أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشط حراريا – SS – ألجيلوي)	69
22	مخطط بياني يمثل تراكيز شوارد الكروم المتحررة ضمن درجة حموضة (pH=7) في جميع أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشط حراريا – SS – ألجيلوي)	73
23	مخطط بياني يمثل مقارنة بين قيم شوارد النيكل و الكروم المتحررة من الأسلاك ضمن درجة pH=5	74
24	مخطط بياني يمثل مقارنة بين قيم شوارد النيكل و الكروم المتحررة من الأسلاك ضمن درجة pH=7	75
25	مخطط بياني يمثل مقارنة بين قيم شوارد النيكل المتحررة من الأسلاك ضمن درجتي pH مختلفتين(5 -7)	76
26	مخطط بياني يمثل مقارنة قيم شوارد الكروم المتحررة من الأسلاك ضمن درجتي pH مختلفتين(5 -7)	77

فهرس الجداول

رقم الجدول	اسم الجدول	رقم الصفحة
1	مكونات محلول اللعاب الاصطناعي	47
2	نتائج اختبار تحليل التباين وحيد الاتجاه One-way ANOVA Test لقيم تحرر شوارد النيكل وشوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=5) ودرجة حموضة (pH=7) وذلك عند مقارنة المتوسطات بين كافة أنواع الأسلاك المدروسة معاً	56
3	الإحصاءات الوصفية لقيم تحرر شوارد النيكل ضمن درجة حموضة (pH=5) في جميع أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائق المرونة – NiTi المنشط حراريا – SS – الجيلوي)	58
4	نتائج استخدام اختبارات Post Hoc Tests على قيم تحرر شوارد النيكل ضمن درجة حموضة (pH=5) وذلك عند مقارنة المتوسطات بين أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حراريا – SS – الجيلوي) والمطبق عليها اختبار ANOVA	59
5	الإحصاءات الوصفية لقيم تحرر شوارد النيكل ضمن درجة حموضة (pH=7) في جميع أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حراريا – SS – الجيلوي)	62
6	نتائج استخدام اختبارات Post Hoc Tests على قيم تحرر شوارد النيكل ضمن درجة حموضة (pH=7) وذلك عند مقارنة المتوسطات بين أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حراريا – SS – الجيلوي) والمطبق عليها اختبار ANOVA	63
7	الإحصاءات الوصفية لقيم تحرر شوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=5) في جميع أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حراريا – SS – الجيلوي)	66
8	نتائج استخدام اختبارات Post Hoc Tests على قيم تحرر شوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=5) وذلك عند مقارنة المتوسطات بين أنواع الأسلاك المدروسة (NiTiفائقة المرونة – NiTi المنشطة حراريا – SS – الجيلوي) والمطبق عليها اختبار ANOVA	67

9	الإحصاءات الوصفية لقيم تحرر شوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=7) في جميع أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حراريا – SS – الجيلوي)	70
10	نتائج استخدام اختبارات Post Hoc Tests على قيم تحرر شوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=7) وذلك عند مقارنة المتوسطات بين أنواع الأسلاك المدروسة (NiTiفائقة المرونة – NiTi المنشطة حراريا – SS – الجيلوي) والمطبق عليها اختبار ANOVA	71
11	نتائج اختبار Paired-sample t-test وذلك لحساب قيمة الاحتمالية P-value عند المقارنة بين قيم الشوارد المتحررة من الأسلاك ضمن درجة pH=5	74
12	نتائج اختبار Paired-sample t-test وذلك لحساب قيمة الاحتمالية P-value عند المقارنة بين قيم الشوارد المتحررة من الأسلاك ضمن درجة pH=7	75
13	نتائج اختبار Paired-sample t-test وذلك لحساب قيمة الاحتمالية P-value عند المقارنة بين قيم شوارد النيكل المتحررة من الأسلاك ضمن درجتي pH مختلفتين	76
14	نتائج اختبار Paired-sample t-test وذلك لحساب قيمة الاحتمالية P-value عند المقارنة بين قيم شوارد الكروم المتحررة من الأسلاك ضمن درجتي pH مختلفتين	77

الاختصارات العلمية

الاختصار	باللغة الانكليزية	باللغة العربية
Ni	Nickel	النيكل
Cr	Chromium	الكروم
NiTi	Nickel-Titanium	النيكل تيتانيوم
SS	Stainless Steel	الفولاذ اللاصدئ
ug/l	Microgram/liter	ميكروغرام/لتر
PPB	Particle Per Pillion	جزء بالمليار
ASS	Atomic Absorption Spectrophotometer	مطياف الامتصاص الذري

المصطلحات العلمية

Corrosion	التآكل
Formability	قابلية التشكيل
Biocompatibility	التقبل الحيوي
Stiffness	القساوة
Elastic modulus	معامل المرونة
Distortion	تشوه
Resilience	الرجوعية
Elasticity	المرونة
Oxidation	الأكسدة
Reduction	الإرجاع
Friction	احتكاك
Transport Temperature Range	المدى الحراري الانتقالي
Austenite Phase	الطور الأوستنيتي
Martensite Phase	الطور المارتنسيتي

Syrian Arab Republic
Hama university
Faculty of Dentistry
Department of Orthodontics

Assessment of Nickel and Chromium Ions Release from Nickel-Titanium, Chrom-Cobalt and Stainless Steel Orthodontic Wires (an In Vitro Study)

Scientific Research to Acquire the Master Degree in Orthodontics and Dentofacial Orthopedics

Presented by

Dr. Rama Akram Al-Khoury

Supervised by

Dr. Ahmad Burhan

Assistant Professor
in the Department of Orthodontics
and Dentofacial Orthopedics

1439 - 2018هـ

1

المقدمة

Introduction

المقدمة:

تمَّت مناقشة موضوع التقبّل الحيوي للخلائط السنيّة منذ أكثر من 20 عاماً، وقد طرحت الدراسات المتعلّقة بهذا الموضوع العديد من الأسئلة دون تقديم إجاباتٍ واضحةٍ لها، ممّا جعل أطباء التّقويم مشوَّشين في انتقاء المواد الأكثر أماناً لمرضاهم.

(Wataha, 2000)

فقد ازداد الاهتمام بشكل كبير مؤخّراً بالتقبّل الحيوي للخلائط السنيّة، حيث جذبت المعادن المتحرِّرة من المواد المتقبّلة حيويّاً اهتمام الباحثين الذين اعتقدوا أنَّ هذه الشّوارد تحرِّض ردّ فعل في جسم الإنسان، ويدعى بردّ الفعل تجاه الجسم الأجنبي.

(Kerosuo & Kanerva, 1997)

ومن المتّفق عليه أنَّ التقبّل الحيوي للخلائط المعدنيّة مرتبطٌ إلى حدٍ كبيرٍ بمقدار تحرّر الشوارد منها، فبعض المعادن، مثل (النيكل، الكروم، الكوبالت..)، والتي تدخل في تركيب الأجهزة التّقويمية الثابتة من الممكن أن تُسبِّب الحساسيّة عند بعض المرضى.

(Kusy, 2002)

وقد نال كلاً من عنصري النيكل والكروم الاهتمام الأكبر بسبب كثرة تأثيراتها الجانبية.

(Huang et al, 2004)

حيث وُجِد أنَّ 10–30% من النّساء، و1–3% من الذكور لديهم حساسيّة تجاه النيكل.

(Meding , 2003)

وبالإضافة إلى موضوع الحساسيّة، فقد نُسِبت بعض التغيّرات السرطانيّة والسميّة إلى النيكل بالدرجة الأولى، وبشكل أقل إلى الكروم.

(Savarino et al, 2002)

وقد تمَّت مشاهدة العديد من المظاهر السريريّة المرافقة لتحرّر هذه الشوارد من الأجهزة التقويميّة الثابتة، مثل التهاب اللثّة، ضخامة لثوية، تقشّر الشفّة، حرقة، طعم معدني، التهاب شفّة زاوي....وغيرها.

(Staerkjaer & Menne, 1990)

ولمّا كانت الأسلاك التقويميّة تُشكِّل حجر الزاوية الذي يستند عليه علم تقويم الأسنان، وبما أنَّ هذه الأسلاك تبقى في الفم لفترةٍ طويلةٍ نسبياً من 18–24 شهراً، لذلك كان من الطبيعي أن تخضع هذه الأسلاك لبعض التحلُّل (التآكل Corrosion) البيولوجي في البيئة الفمويّة.

(Petoumenou et al, 2009)

فقد وُجِدَ أنَّ المعادن المتحرِّرة من الأسلاك التقويميّة يمكن أن تُسبّب ردود فعل سميّة إذا تجاوزت الحد الأقصى الموصى به (مستوى الاستهلاك اليومي).

(Barrett et al, 1993)

ولمَّا كانت دراسة التوافق الحيوي للأجهزة التقويميّة الثابتة (حاصرات، أسلاك، أطواق) تتم من خلال تحديد كمية الأيونات المتحرِّرة من عملية الانحلال الناتج عن التآكل وذلك في الدراسات المخبريّة والسريريّة .

(Schmaltz, 2008)

فمن هنا جاءت فكرة البحث لتقييم تحرُّر هذه الشوارد من الأسلاك التقويمية ، ومقارنة تآكل الأنواع المختلفة للأسلاك التقويميّة.

2

المراجعة الأدبية

Literature Review

المراجعة الأدبية:

الأجهزة التقويمية الثابتة:

تتألّف الأجهزة التقويميّة الثابتة من العناصر التالية:

1- العناصر الحياديّة: مثال: الأطواق، الحاصرات، الأنابيب.

2-العناصر الفعّالة: مثال: الأسلاك والنوابض الملفوفة والحلقات المطاطية.

(Singh, 2007)

تُقسَم المعالجة التقويميّة الشاملة إلى ثلاث مراحل :

1- مرحلة الرّصف والتسوية Alignment and Leveling.

2- مرحلة إغلاق الفراغات وتصحيح العلاقة الأماميّة الخلفية .

3- مرحلة الإنهاء Finishing.

يستخدم خلالها أنواعاً مختلفةً من الأسلاك التقويميّة، لتوليد القوى الضروريّة لتأمين الحركة السنيّة.

(Proffit et al, 2007)

2-1- الأسلاك التقويمية Orthodontic Archwires:

تُمثّل الأسلاك الجزء الأساسي في الجّهاز التقويمي الثابت، حيث تقوم بتوليد القوى اللازمة لتحريك الأسنان، وتنتقل هذه القوى عبر الحاصرات إلى الأسنان.

عند اختيار الأسلاك يجب على المقوّم أن يأخذ عدّة عوامل بعين الاعتبار، مثل: المرونة، قابلية التشكيل (Formability)، إمكانية اللحام عليها، ويعتبر التقبّل الحيوي (Biocompatibility) والتآكل (Corrosion) السريري للأسلاك من أهم العوامل.

(Brantly, 2000)

2-1-1- الصفات التي يجب أن تتمتّع بها الأسلاك التقويميّة:

1- نابضيّة رجوعية عالية (Springback).

2- قساوة جيدة (Stiffness).

3- قابلية التشكيل (Formability).

4- احتكاك (Friction) سطحي قليل.

5- تقبل حيوي (Biocompatibility).

6- قابلية اللّحام عليها.

حيث تختلف الصفات التي يجب توافرها في الأسلاك باختلاف مرحلة المعالجة.

(Singh, 2007)

2-1-2- الخلائط المستخدمة في صناعة الأسلاك التقويميّة :

تتألّف معظم الأسلاك التقويمية من الخلائط التالية :

أ- الفولاذ غير القابل للصدأ (SS).

ب-خلائط الكوبالت - كروم- نيكل.

ج- خلائط التيتانيوم وتشمل: بيتا تيتانيوم – نيكل تيتانيوم.

د- الأسلاك التجميلية.

(Brantley, 2000)

2-1-2-1- الذّهب Gold:

كانت الخلائط الثمينة أوّل الخلائط المستخدمة في صناعة الأسلاك التقويمية، حيث استخدم الذّهب قديماً، فقد استخدمت خلائط الذّهب بشكل واسع قبل عام 1930، وامتازت هذه الخلائط كونها: خاملة، متقبّلة حيوياً، ومستقرة مع الزمن. بينما كانت المواد الأخرى المتاحة آنذاك غير قادرة على تحمّل ظروف الوسط داخل الفموي.

- اعتماداً على تصنيف ADA (American Dental Association) تُقسَم خلائط الذّهب إلى نوعين :

TYPE 1 : خلائط غنيّة بالذّهب.

TYPE 2 : خلائط فقيرة بالذّهب.

(Singh, 2007)

مكونات الخليطة :

ذهب : 15– 65 %

نحاس : 11– 18 %

فضة : 10– 25 %

بلاديوم :5– 10 %

بلاتينيوم : 5– 10 %

نيكل : 1– 2 %

زنك كمية قليلة.

(Singh, 2007)

المزايا والمساوئ:

المزايا:

1- قابلية تشكيل (Formability) كبيرة.

2- تزداد قوى الشَّد عند معاملة هذه الخلائط بالحرارة.

3- معامل المرونة (Elastic modulus) منخفض.

4- قابلية اللّحام.

5- تقبُّل حيوي (Biocompatibility) ممتاز.

(Singh, 2007)

المساوئ:

1-ارتفاع الثمن.

2- تحرير قوى خفيفة.

3- انخفاض النابضيّة الرجوعية (springback).

(Singh, 2007)

لكن لم يعد يُستَخدم الذّهب حالياً بسبب غلاء ثمنه بالمقارنة مع الخلائط الأخرى.

(Brantley, 2000)

2-1-2-2- الفولاذ غير القابل للصدأ :

دخل الستانلس ستيل SS مجال طب الأسنان منذ عام 1919، ومنذ مطلع الأربعينات تمَّ اعتماد هذه المادة في مجال تقويم الأسنان، حيث يعتبر مفيداً لكونه مقاوماً للأكسدة (Oxidation) والتآكل (Corrosion)، وهذا يعود لاحتوائه على نسبة منخفضة من الكربون والكبريت، واحتوائه على نسبة مرتفعة من الكروم والنيكل.

يقوم الكروم بحماية الفولاذ بطبقة من أكاسيد الكروم المقاومة للتآكل، ويقوم النيكل بتثبيت بنية الفولاذ الأوستنيتية (Austanite) في حال تعرُّضه لدرجة حرارة منخفضة.

(Eliades & Brantley, 2001)

تركيبها:

1- حديد: 71 %

2- كروم: 18 %

3- نيكل: 8 %

4- كربون أقل من 0.2 %

(Singh, 2007)

المحاسن والمساوئ:

المحاسن :

1- متقبَّل حيوياً (Biocompatibility).

2- سعره منخفض.

3- قابلية التشكيل (Formability).

4- يمكن إجراء اللّحام عليه لكن بحذر، لأنَّ مناطق اللّحام يمكن أن تتأكسد.

(Brantley, 2000)

المساوئ :

1- يطبِّق قوى عالية بانحراف صغير، وذلك نظراً لقساوته العالية ومرونته القليلة. ولزيادة مرونته يمكن أن يتم عمل عرى لزيادة الطول، أو استخدام أسلاك بأقطار صغيرة، وهنا

تكون السيطرة أقل.

2- نسبياً فإنّ النابضيّة (الرجوعية) منخفضة، وذلك عند مقارنته بالبيتا تيتانيوم والنيكل تيتانيوم.

3- يمكن أن يصبح عرضة للتآكل بين الحبيبي (Intergranular corrosion) عند إجراء اللّحام عليه .

(Brantley, 2000)

التصنيف :

1- الفولاذ الأوستنيتي (300 series) Austentic steel.

2- الفولاذ المارتنسيتي (400 series) Martensitic steel.

3- الفولاذ الفريتي Frritic steel.

4- الفولاذ المزدوج Duplex steel.

5- الفولاذ المقسَّى بالترسيب Precipitation- Hardenable (PH) steel.

6- خلائط الكوبالت Cobalt containing alloy.

(Clauda & Matasa, 2000)

1) الفولاذ الأوستنيتي (300 series) Austentic steels:

يستخدم في معظم الوصلات التقويمية attachments، وتركيبياً هذا النوع من الفولاذ هو عبارة عن محلول متصلّب، يعتبر مقاوماً للتآكل والأكسدة.

تكون البنية الأوستنيتية للفولاذ غير مستقرة في حال انخفاض درجة الحرارة حيث تتحول للبنية الفريتية ferrite، ولكن في حال إضافة عناصر أوستنيتية، مثل النيكل أو المنجنيز أو النيتروجين، يمكننا المحافظة على البنية الأوستنيتية (المقاومة بشدة للتآكل) حتَّى في درجة حرارة الفم. ولكن حتَّى مع إضافة هذه العناصر، يظل هذا النوع من الفولاذ غير مستقر بسبب إمكانية التحوّل لبنية فريتية أو مارتنسيتية إذا تعرّض لتبريد شديد.

(Clauda & Matasa, 2000)

2) الفولاذ المارتنسيتي (400 series) Martensitic steel:

منذ مطلع السبعينات بدأت عملية إضافة مواد أخرى غير الكربون إلى ال SS، وذلك لضغط بنيته الميكرونية Microstructure، وذلك لزيادة مقاومة الشّد tensile strength، وكانت النتيجة خلائط أقوى ولكن أقل مقاومة للتأكسد والتآكل.

مثل هذا الفولاذ يجب استخدامه لفترات قصيرة بتماس مباشر مع البيئة الفموية، ولأنّ هذا الفولاذ مضغوط stressed وذو بنية مارتنسيتية، فإنه يستخدم بشكل رئيسي في الأدوات التي تتطلّب حواف حادة مقاومة للحت.

(Clauda & Matasa, 2000)

3) الفولاذ الفريتي Frritic steel:

البنية الميكرونية لهذا الفولاذ مشابهة للحديد في درجة حرارة الغرفة، ولكن الفارق بينهما أنَّ هذا الفولاذ يتم فيه استبدال بعض ذرات الحديد بذرات الكروم وذلك في مستوى البنية الكريستالية، ويمكن أن تصل نسبة الاستبدال إلى 30%.

حديثاً، تمّ إنتاج خليطة من هذا النوع تدعى Super ferritic steel، وتحوي نسبة كروم بين 19% إلى 30%، وهي تستخدم في صناعة الحاصرات الخالية من النيكل.

(Clauda & Matasa, 2000)

4) الفولاذ المزدوج Duplex steel:

يتألَّف من تجميع حبيبات أوستنيتية وفريتية بالإضافة للعناصر الأخرى، مثل الكروم والموليبديوم ونسبة ضئيلة من النيكل، ويجمع خواص الفولاذ الفريتية والأوستنيتية، فقد زادت قوته ومقاومته للتآكل. يستخدم في صناعة حاصرات القطعة الواحدة One piece brackets، ومثال عليها Bioline (low nickel) من شركة EOSA, Madrid.

(Clauda & Matasa, 2000)

5) الفولاذ المقسّى بالترسيب Precipitation-Hardenable (pH) steel:

على عكس معظم أنواع الSS، فإنّ فولاذ pH يتم تقسيته بمعالجته حرارياً، وذلك بالاعتماد على ترسيب بعض المعادن، وهذا يزيد من مقاومة الشد Tensile strength، ولكنه في نفس الوقت يقلّل من مقاومة التآكل.

(Clauda & Matasa, 2000)

6) خلائط الكوبالت Cobalt containing alloys:

يصنفها البعض على أنّها فرع من عائلة الستيل .

(Clauda & Matasa, 2000)

الأسلاك المستخدمة في التقويم تكون من النوع 304 و302 فولاذ أوستنيتي، وذلك حسب الجمعيّة الأمريكية للحديد والفولاذ (American iron and steel institute).

(Eliades & Brantley, 2001)

النوع 302

يتألف من :

1- كروم من 17% إلى 19%.

2- 8 % إلى 10% نيكل.

3- 0.15% كحد أقصى كربون.

(Eliades &Brantley, 2001)

النوع 304

يتألف من :

1- من 18% إلى20 % كروم.

2- 8 % إلى 12% نيكل .

3- 0.08 % كحد أقصى كربون.

وتكون نسبة الحديد في كلا النوعين متقاربة تقريباً 70%، وكلا النوعين يُعرف باسم خلائط الفولاذ 18- 8، وذلك بسبب النسب المئوية لمعدني الكروم والنيكل في هذه الخلائط، حيث تكون نسبة النيكل 8 %، والكروم 18% تقريباً.

(Eliades & Brantley, 2001)

2-1-2-3- خلائط الكروم- كوبالت- نيكل Chromium- Cobalt- Nickel :

تطوّرت هذه الخليطة خلال عام 1950 من قبل شركة (Elgin,IL,USA).

(Brantley, 2000)

تعرف بالألجيلوي (Elgiloy)، وتشابه أسلاك الستانلس ستيل كثيراً في المظهر، والخواص الميكانيكية، وقابليتها لأن يلحم عليها، ولكن لديها تركيب مختلف ودرجة استجابة أعلى للمعالجة الحرارية.

(Singh, 2007)

مكونات الخليطة:

40% كوبالت

20% كروم

15% نيكل

15.4% حديد

7% مولبيديوم

2% منجنيز

0.04% بريليوم

(Singh, 2007)

وتعتبر نسبة النيكل فيها عالية جداً، ولذلك فقد تمَّ تطوير خلائط أخرى خالية من النيكل، لتستخدم في حالة الحساسيّة تجاهه.

ومع أنَّ كلا الخليطتين تستخدم في صناعة الأقواس، لكن الاستخدام الرئيسي للخلائط الخالية من النيكل كان في صناعة الوصلات (attachments).

(Clauda & Matasa, 2000)

و تتوفر أسلاك الألجيلوي في 4 أنواع حسب مرونتها (و لقد أخذ كل نوع لون معين لتسهيل التعامل:

1- طري SOFT (أزرق).

2- لدن (قابل للسحب) ductile (أخضر).

3- شبه مرن semiresilient (أصفر).

4- مرن resilient (أحمر).

(Singh, 2007)

تحتوي هذه المجموعات الأربعة نفس المكونات ولكنّها تختلف في الصفات الميكانيكية، ومثل الستانلس ستيل SS فإن مقاومة التآكل تنتج من تشكل طبقة أكسيد الكروم على سطح السلك.

(Brantley, 2000)

المحاسن والمساوئ:

المحاسن:

1- مقاومة عالية للتآكل.

2- مقاومة للإجهاد بشكل أكبر من الستانلس ستيل.

3- مقاومة جيدة للتشوُّه (Distortion).

4- قابلية تشكيل جيدة.

5- وظيفياً تبقى فعَّالة لفترة طويلة.

(Singh, 2007)

المساوئ:

1- يحتاج معالجة حرارية.

2- معامل مرونتها مرتفع مما يؤدي إلى توليدها قوى كبيرة مشابهة للقوة الناتجة عن تنشيط أسلاك الستانلس ستيل.

3- يجب أن يتم اللّحام باستخدام لحام فضة وذلك بحضور تدفّق للفلوريد.

(Singh, 2007)

يحوي الألجيلوي كميّة من النيكل أكبر من تلك الموجودة في تركيب الستانلس ستيل، والذي يُعَد مدعاةً للتساؤل حول تقبُّله الحيوي.

(Brantly,2000)

يعتبر الألجيلوي الأزرق هو الأكثر استخداماً من قبل المقوّمين، وذلك نظراً لسهولة تشكيله، أمّا الأنواع الثلاثة الأخرى فهي غير شائعة الاستخدام مثل الأزرق.

(Brantley, 2000)

يستخدم الألجيلوي عندما تكون النابضية مطلوبة، كما تستخدم في صناعة أجهزة الكواد هيليكس الذي يستخدم لتوسيع الفك العلوي في حالات تضيق الفك العلوي، والعضّات المعكوسة الخلفية.

(Brantley, 2000)

وُجِدَ أنّ النابضية الرجوعية Springback للألجيلوي الأزرق تتراوح بين 0.0045إلى 0.0065، ومعامل مرونته يتراوح بين 160-190Gpa (جيكا باسكال).

ومن الضروري أن نُركّز على أنَّ مقدار القوة التي يوصلها سلك الألجيلوي الأزرق هو تقريباً نفس مقدار القوة التي يوصلها سلك الستانلس ستيل، وهذا على عكس ما هو مُعتَقد، وذلك في حالة طول وحجم المقطع العرضي للسلكين متساوي.

(Brantly, 2000)

2-1-2-4- خلائط التيتانيوم Titanium Alloy:

أولاً- خلائط البيتا تيتانيوم Beta titanium:

تسمَّى تجارياً TMA، وتمَّ اشتقاق اسم TMA من المكونين الرئيسيين للخليطة وهما التيتانيوم والمولبيدينيوم (Titanium-Molybdenum alloy)، وتستخدم بصورة خاصة في مراحل التسوية النهائية ولا سيما بإجراء حركات التورك .

لكن سيئتها أنّها تبدي قوى احتكاك عالية بين السلك والحاصرة.

(Brantley, 2000)

ثانياً- خلائط النيكل تيتانيوم Nickel- Titanium Alloy:

يعتبر أندرسون الرّائد في تطوير أسلاك النيكل تيتانيوم لاستخدامها في مجال التقويم، حيث نشر مع زملائه عدَّة مقالات تدعو لاستخدام هذه الخليطة عام 1970م.

أوَّل خلائط التيتانيوم التي تمَّ إدخالها إلى عالم التقويم كانت من قبل شركة UNITEC CROP وسمِّيت NITINOL، وقد صمِّمت هذه الخليطة في البداية لأبحاث الفضاء، ولكن وُجِد لها فوائد كثيرة في مجال التقويم بسبب نابضيتها العالية، وقد تمَّ تسميتها Nitinol بالاشتقاق من :

Ni نيكل

Ti تيتانيوم

NoI من Naval Ordnance Laboratory مختبرات الأسطول البحري.

يلعب عنصر التيتانيوم في الخليطة دوراً أساسياً في إعطاء الخليطة المرونة المطلوبة، حيث وُجِد أنَّ انخفاض نسبته في الخليطة يُسبِّب زيادة في الصلابة، ونقصاً في الاستقرار.

في حين يلعب عنصر النيكل دوراً موازناً لعنصر التيتانيوم، حيث يكسبها شيئاً من المتانة والصلابة، كما يؤدي دوراً ثانوياً في إنقاص المدى الحراري الانتقالي للتيتانيوم (Transport Temperature Range).

(Eliades & Brantley, 2001) (Andreasen & Hilleman, 1971)

لخلائط الNiTi صفتان مميَّزتان تعتبران فريدتان في مجال تقويم الأسنان، وهما الذاكرة الشكلية والمرونة النابضية، ومثل SS والعديد من الخلائط المعدنية الأخرى يمكن ل NiTi أن يظهر في أكثر من بنية بلّورية.

(Chen, 2010)

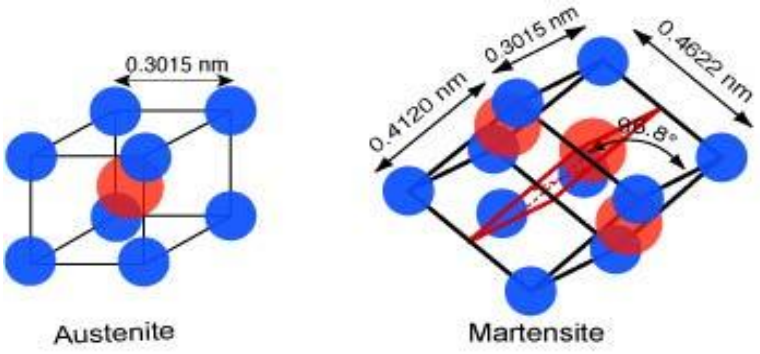
تخضع أسلاك النيكل تيتانيوم لطورين أساسيين هما :

1- الطور الأوستنيتي (Austenite Phase): ذو بنية مكونة من بلورات منتظمة مكعبة، وتظهر في درجات الحرارة المرتفعة وعند التعرُّض لجهود منخفضة.

(Brantley, 2000)

2- الطور المارتنسيتي (Martensite Phase): ذو بنية مكونة من بلورات مشوَّهة سداسية الأضلاع، وتظهر في درجات الحرارة المنخفضة وعند التعرُّض لجهودٍ مرتفعةٍ.

(Brantley, 2000)



شكل رقم (1): يبين شكل البلورات في الطورين المارتنسيتي والأوستنيتي الذي تمر به أسلاك النيكل تيتانيوم

(Brantley, 2000)

يوجد نوعان أساسيان للنايتينول :

1- فائق المرونة Superelastic NiTi.

2-حراري Heat activated NiTi.

1-النايتينول الفائق المرونة Superelastic NiTi:

يستخدم في الطور المارتنسيتي، وتحتفظ بمرونتها العالية0

تركيبها:

55% نيكل

45% تيتانيوم

2-الأسلاك المنشّطة حرارياً Heat activated NiTi :

تركيبها :

نيكل : 55-54 %

تيتانيوم: 44-43 %

كوبالت: 3-1.6 %

(Singh, 2007)

محاسن خلائط النايتينول:

1- تؤمّن راحة المريض عن طريق تطبيقها قوى خفيفة ومستمرة، وتنقص من خطر امتصاص الجذور.

2- توفير زمن العمل، حيث أنَّ مستويات القوة الخفيفة الأوليّة تسهّل إدخال السلك، وتقلّل فرصة كسر الحاصرات.

3- وقت معالجة أقصر، حيث يتم تصحيح التورك بشكل مبكر، ومقدار القوة الخفيفة ينقص مقدار الزمن الكلي للمعالجة.

4- زيارات أقل للعيادة السنيّة، لأنَّ السلك يبقى فعَّالاً لوقت طويل جداً.

(Chen, 2010) (Fernandes, 2011)

مساوئ خلائط النايتينول:

1- احتكاك عالي عند المقارنة مع الستانلس ستيل.

2- صلابة منخفضة حيث لا يمكن استخدامها في المراحل الأخيرة من المعالجة التقويمية.

3- انكسارها سهل.

4- عدم قابلية اللّحام عليها.

5- غلاء ثمنها عند مقارنتها مع الستانلس ستيل.

(Singh, 2007)

بالإضافة إلى ذلك يوجد أيضاً خليطة النيكل-تيتانيوم النحاسية copper Niti:

تمَّ تطوريها من قبل Dr.Rohit Sachdeva and Miyasaki عام 1994.

(Singh, 2007)

يضاف النحاس في بعض الخلائط من أجل زيادة قوتها والحدّ من مقدار فقدان الطاقة الحادث أثناء عملها، ويعتبر النحاس والكوبالت من أكثر المعادن المستخدمة كمعدن إضافي ثالث في حالة الخلائط المنشّطة حرارياً .

(Brantley, 2000)

مكوناتها:

1- تيتانيوم : 42.99 %

2- نيكل : 49.87%

3- كروم : 0.50%

4- نحاس : 5.64%

(Singh, 2007)

- يختلف سلوك نوعي أسلاك النيكل تيتانيوم الأساسيين في التحوّلات التي تطرأ على بنية كل منها: فالأسلاك فائقة المرونة تتحوَّل من الطور الأوستنيتي إلى الطور المارتنسيتي عند تعرُّضها للإجهاد، بينما تتحوَّل الأسلاك المنشَّطة حرارياً والمعرَّضة للتشوُّه ضمن حرارة الفم من الطور المارتنسيتي إلى الطور الأوستنيتي ممّا يكسبها ذاكرة شكلية.

(Fernandes et al, 2011) (Brantley, 2000)

تخضع الأسلاك ذات الذاكرة الشكلية أثناء عملية تصنيعها للتَّسخين لدرجة حرارة 500 درجة مئوية تقريباً، للحفاظ على الشكل الأصلي لها Parent shape .

تُسبِّب درجة الحرارة العالية هذه تنظيم الذرَّات نفسها بنفسها في أكثر نموذج منتظم ومكثّف Compact ممكن، ممّا ينتج عنه تنظيم المكعَّب الصلب Rigid cubic المعروف بطور Austenite. وفوق درجة حرارة انتقالية معينة تعود الخليطة من طور ال Martensite إلى طور Austenite، والذي يعود بالخليطة لشكلها الأصلي.

هذه الدورة من التغيرات يمكن أن تتكرَّر وتعاد ملايين المرَّات، وتلعب كل من درجة الحرارة والإجهاد دوراً أساسياً في الانتقال بين الطورين.

(Burstone, 1981) (Fernandes et al, 2011)

كلتا الصفتين، أي الذاكرة الشكلية والمرونة الفائقة في خليطة الNiTi تعودان لعملية الانتقال بين طوري المارتنسيت والأوستنيت وذلك في درجة حرارة انتقالية منخفضة (على سبيل المثال 25 أو 35 درجة مئوية). على عكس الفولاذ ومعظم المعادن الأخرى، فإنَّ الانتقال من طور لآخر يحدث عند درجات حرارة عالية تبلغ مئات الدَّرجات.

(Chen, 2010)

استخدام أسلاك النيكل تيتانيوم في الرّصف والتسوية :

عادةً ما تستخدم أسلاك النيكل تيتانيوم في مرحلة الرَّصف والتسوية، إذ تظهر خلائط النيكل تيتانيوم خواصاً استثنائيةً ومنها:

الرجوعية resilience: والتي تمثّل المرحلة ما قبل الحدّ النسبي (Proportional limit)، وتعبِّر عن قدرة السلك على اختزان الطاقة والعودة إلى الشكل الأصلي، وذلك نظراً لتركيبها الذري المتساوي تقريباً من النيكل والتيتانيوم.

المرونة elasticity: وهي قدرة الجسم على العودة إلى شكله الأصلي بعد زوال الضغط عنه، وتنتج عن أطوار التحوُّل الشكلي لبلورات الخليطة تحت تأثير دورات التحميل الميكانيكية والحرارية.

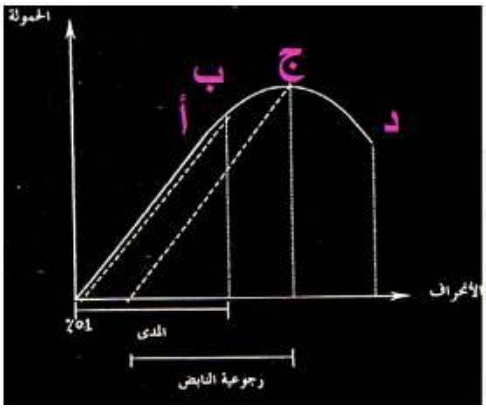
(Van leeuwen et al, 1999) (Krishnan & Davidovitch, 2006)

فعند تطبيق حمولة على سلك تقويمي سواء كان مثبتاً من طرف واحد أو من طرفين فإنه سوف يعاني من انحراف معين، يكون في البداية ردوداً دون تشوه وذلك قبل أن يصل نقطة حد المرونة (وهي نقطة نظرية يمكن أن يُعَبر عنها بنقطة فقدان المتانة Yield Point، حيث يعاني السلك عندها من تشوه بسيط مقداره 0.1 % أي أنَّ السلك يستطيع العودة إلى شكله مع تشوه بسيط مقداره 0.1 %).

(Liu et al, 2011)

أما لو تجاوزنا نقطة المتانة التوترية القصوى Point of arbitrary loading يتشوه السلك بشكل دائم وتحدد المتانة التوترية القصوى القوى العظمى التي يمكن أن يتحملها السلك وبالتالي فهي تحدد نوعية السلك وتقاس المتانة بواحدة الجهد (غ/سم^2)، أما نقطة الفشل فعندها ينكسر السلك .

(Iijima et al, 2011) (الديري والحكيم، 2000)



شكل رقم (2) يبين العلاقة بين الحمولة (أو الجهد) والانحراف (أو التوتر)

أ–الحد النسبي (حد المرونة) Proportional point.

ب–نقطة فقدان المتانة Yield point.

ج–المتانة التوترية القصوى.

د–نقطة الفشل Failure point.

(Iijima et al, 2011) (الديري والحكيم، 2000)

2-2-التآكل Corrosion :

2-2-1- مفهوم التآكل:

يُعرَّف التآكل بأنَّه تفاعل كهربائي كيميائي لمعدن أو خليطة مع المكونات المختلفة للوسط المحيط بها، والذي يُسبِّب تخرب في المعدن، ممّا ينتج عنه خسارة مباشرة للذرات المعدنية، أو انحلال للطبقة السطحية بسبب تفاعلين متزامنين هما الأكسدة Oxidation (تفاعل كيميائي يتم فيه فقدان الالكترونات من قِبَل الذرات) والاختزال Reduction (تفاعل كيميائي يتم فيه كسب الالكترونات من قِبَل الذرات).

(Luft et al, 2009)

وقد عرَّف Jacobs التآكل بأنَّه عملية تفاعل بين مادة معدنية صلبة وبيئتها الكيميائية، ينتج عنه خسارة مادية من المعدن، وضعف سلامة بنيته.

(Jacobs et al, 1988)

2-2-2- أهمية دراسة التآكل :

تُعتَبر مقاومة التآكل واحدةً من أكثر العوامل أهميَّةً عند اختيار الخلائط التي تُستخدم ضمن البيئة الفمويّة0

(Vojdani et al, 2012)

يُسَبِّب التآكل الذي تتعرَّض له الخلائط السنيّة تأثيرات حيوية ووظيفية وجمالية. أيضاً يمكن للشوارد المتحررة من هذه الخلائط نتيجة تآكلها أن تمسّ الخلايا الحيَّة، وتخترق الأنسجة الصلبة والرخوة المتاخمة للخليطة، أو تتوزع في أنحاء الجسم عبر القناة الهضميّة.

(Geis et al, 1991)

من المعروف أنَّ الخلائط التقويمية تتعرَّض للتآكل داخل البيئة الفموية، والأجهزة التقويمية تبقى فترة زمنية طويلة نسبياً بتماس مع الأنسجة السنيّة والفمويّة، وهذا يعطي الأهمية الكبيرة لدراسة موضوع تعرُّضها للتآكل.

(Bayramoglu et al, 2000)

يمكن أن يسبِّب تعرُّض الخلائط التقويمية للتآكل إلى الحدِّ من عمر إجهاد هذه المواد Fatigue life ومن القوة Strength الأعظمية لها، مؤدياً إلى فشلها ميكانيكياً.

(Iijima et al, 2001)

كما أنّ لتآكل الخلائط التقويمية تأثيرات أخرى تتمثل في تلون ميناء الأسنان نتيجة امتصاصها لمنتجات تآكل الحاصرات والأسلاك0

(Maijer & Smith, 1982)

2-2-3- أنواع التآكل الذي تتعرَّض له الخلائط التقويمية:

هناك أنواع مختلفة للتآكل يمكن ملاحظتها في الخلائط التقويمية، وتتعرَّض الأسلاك التقويمية لبعضٍ منها:

1- التآكل المنتظم Uniform attack:

وهو الشكل الأكثر شيوعاً بين أنواع التآكل الذي تتعرَّض له المعادن وبمعدلات متفاوتة، يحدث نتيجة تفاعل المعدن مع الوسط المحيط وذلك بتشكل الهيدروكسيد أو مركّبات معدنيّة عضويّة ولا يترافق بانحلال جزء من المعدن.

(Eliades & Athanasiou, 2002)

وتكون معدلات التآكل متساوية على السطح المعرض للتآكل. تتأثر جميع المعادن بالتآكل المنتظم حتى تلك التي تشكل طبقة حماية مثل الفولاذ غير القابل للصدأ SS.

(Covino, 2003)

2- التآكل النقطي Pitting corrosion:

يظهر بشكل حفر تأخذ شكل مسامٍ على سطح الحاصرات والأسلاك، رغم أنَّ بعض المنتجات التقويميَّة لبعض الشَّركات ثبت تمتُّعها بسطوح ذات مساميَّة عالية حتَّى قبل أن تتعرَّض للوسط الفموي معطيةً الانطلاقة الأولى لبدء هذه العمليّة لتكون سريعة التأثر بالتآكل. لقد أظهرت تجارب التحليل الكيميائي الكهربائي لأسلاك من الفولاذ اللاصدئ Cr-Co و(الكروم – كوبالت)

(الألجيلوي) والنيكل تيتانيوم في اللُّعاب الصِّناعي حدوث تآكل بشكل حفر على سطوحها.

(Eliades & Athanasiou, 2002)

3- التآكل الصدعي (على شكل شقوق) Crevice corrosion:

ويحدث في الأوساط المسبّبة للتآكل، وغالباً عند تطبيق أجزاء غير معدنيّة على المعدن (مثل ربط المطاط على الحاصرات). وينتج غالباً عن نقص الأوكسجين المسبَّب بتراكم القلح ومنتجات الفلورا الفمويّة الثانويّة التي تستهلك الأوكسجين اللازم لتجديد الطبقات المسؤولة عن مقاومة التآكل، مثل طبقة أكسيد الكروم في حاصرات الفولاذ اللاصدئ وحاصرات الكروم –كوبالت، وطبقة أكسيد التيتانيوم في حاصرات التيتانيوم. في هذا النمط من التآكل يحدث انفصال عناصر معدنيّة من سطح الحاصرات بعد سنة من التعرّض للوسط الفموي مع تشكل حفر بشكل فوهات البراكين وصدوع عميقة ومسام كثيرة قد يصل عمقها الى 2مم.

(Eliades & Athanasiou, 2002)

4- التآكل الغلفاني Galvanic corrosion:

يحدث عندما يتواجد أكثر من معدن في الوسط الفموي النّاقل أو عند تعرُّض الخليطة الواحدة لمعالجات كثيرة، حيث تحدث عمليّات معقدة من الأكسدة والانحلال، ويتأكسد المعدن الأقل قوةً ليصبح قطباً موجباً تحرّر بعض ذرّاته الالكترونات، ثمَّ تبدأ الشوارد الموجبة المتبقيَّة بالانفصال، بينما يغدو المعدن الأكثر قوةً قطباً سالباً وهو أكثر مقاومة للاهتراء مقارنة مع المعدن الأقل قوةً. بالنتيجة يتشكّل تيّار غلفاني بينهما ليفعل مفعوله في قيادة السلوك التآكلي معتمداً على مساحة منطقة التماس بين القطبين.

(Schiff et al, 2006)

كما يعرف بأنه تآكل المعدن نتيجة اتصال كهربائي مع معدن أكثر نبلاً أو موصل غير معدني (المهبط) في محلول موصل كهربائي .

يمكن تخفيض أو كبح التآكل الغلفاني بالاختيار المناسب للمعادن (اختيار معادن قريبة من بعضها قدر الإمكان في السلسلة الغلفانية) أو عزل المعادن المختلفة عن بعضها، أو استخدام

أغلفة لكل من القطب السالب (المعدن الأقل نبلاً) والقطب الموجب (المعدن النبيل)، أو التغليف بأغلفة من الألمينيوم أو الزنك أو الكاديوم أو القصدير.

(Baboian, 2003)

5- التآكل بين الحبيبي Intergranular corrosion:

لوحظ هذا الشكل من التآكل في حاصرات الفولاذ اللاصدئ نتيجة تعرُّضها لمجال من درجات الحرارة عُرِفت بالحرارة المحسِّسة حيث أحدثت تبدلات في البنية المجهرية للحاصرة نتيجة ترسُّب كارباید الكروم في الحدود المحيطة للبلورات.

(Eliades & Athanasiou, 2002)

6-التآكل المتموّج Fretting corrosion:

يحدث في مناطق التماس بين معدنيين معرّضين للحمولة مثل تماس السلك مع شق الحاصرة بوجود الرّبط، حيث تظهر الصدوع المساميَّة المتزايدة بشكل واضح مع علامات من الترقّق نتيجة الاحتكاك الناشئ أثناء الحركة. كما لوحظ وجود تخرّب ظاهر في ترتيب البلّورات مع نقصان في حجم البلّورة بعد 9 أشهر من الاستخدام يؤدي إلى تخرّب مناطق التماس بين السلك والحاصرة.

(Eliades et al, 2000)

7- التآكل المتأثر بالحياة الجرثوميّة Microbiologically influenced corrosion:

لقد تمّ إثبات هذا الشكل من التآكل عند تعرُّض الخليطة التقويميّة لأنواع جرثومية معينة، ويتظاهر في الحاصرات على شكل حفر تشبه فوهات البراكين في قاعدة الحاصرة. وكان Matasa أوَّل من قدَّم دليلاً على الهجوم الجرثومي على المواد اللاصقة المستخدمة في المجال التقويمي.

(Matasa, 1995)

8-تآكل الضغط Stress corrosion:

عندما يدخل السلك ضمن الحاصرات الملصقة على أسنانٍ مزدحمةٍ، تتزايد الحالة التفاعليّة للخليطة بسبب تولّد توتر وإجهاد ضغطي نتيجة التحميل متعدِّد المحاور في الاتجاهات الثلاثة

للسلك، وهكذا ينشأ فرق كمون كهروكيميائي في مواقع خاصة تعمل كأقطابٍ موجبةٍ بينما تعمل السُّطوح الأخرى كأقطابٍ سالبةٍ.

(Eliades & Athanasiou, 2002)

9-الإجهاد التآكلي Corrosion fatigue:

يحدث فيه ميل المعدن للانكسار تحت الضغط التّسلسلي المتكرّر. غالباً ما يصيب الأسلاك المتواجدة في الوسط الفموي لفترةٍ طويلةٍ نسبياً تحت ضغط الرّبط، ويتميّز بنعومة المناطق المكسورة مع مناطق ذات خشونة زائدة ومظهر بلّوري.

(Eliades & Athanasiou, 2002)

2-3- النيكل Nickel :

2-3-1- عنصر النيكل في الجدول الدوري :

الرمز الكيميائي للنيكل /Ni/ وله العدد الذري /28/ في الجدول الدوري للعناصر.

(Carnes et al, 2009)

يوجد النيكل في الهواء والتربة والماء، ويتوافر من مصادر طبيعية Natural sources ومصادر من صنع الإنسان Man-made sources، كما يوجد النيكل في مياه الشرب بتركيز أقل من 10 ug/l (ميكروغرام/ليتر).

(Massaro , 1997)

2-3-2- استخدامات النيكل في مجال طب الأسنان وتقويم الأسنان بشكل خاص:

يدخل النيكل في :

1- التيجان والجسور المعدنية.

2- تركيب بعض أنواع الزرعات السنيّة.

3- وصلات القضبان في التعويضات فوق الجذور.

4- تعويضات الأسنان الهيكلية على نطاق واسع.

5- صنع مواد الأجهزة التقويمية (المتحركة ، الثابتة) كالحاصرات والأسلاك والأقواس والضمات.

(Fawcett &Eric, 1988)

2-3-3- سلبيات النيكل والحدود المسموح بها :

يعتبر النيكل عنصراً ساماً وغير متقبل حيوياً ومسبباً لردود فعلٍ تحسسية محتملة أكثر من أي معدن أو خليطة أخرى.

(Arndt et al, 2005)(Eliades, 2007)

وإنَّ الحد المسموح لتحرر النيكل من الخلائط الحاوية عليه هو $0,5\mu g/cm^2$ في الأسبوع ولمدة سنتين على الأقل وفق ما حددته قوانين الاتحاد الأوروبي.

(Arndt et al, 2005)

كما أنّه المتّهم الأكبر بالتسبُّب بالسميّة بين العناصر الداخلة في تركيب الأجهزة التقويمية (Theakston, 2000)، حيث من الممكن أن يدخل إلى الخلايا ويسبب إنقاصاً في الوظائف الخلوية فيها (Wataha et al, 1994).

وحتَّى التراكيز غير السّامة للنيكل المسجّلة نتيجة تحرّره من الخلائط التقويمية قد تسبب إنقاصاً في الحيويّة الخلويّة وضرراً في تركيب DNA خلايا المخاطيّة الفمويّة.

(Mikulewicz et al, 2012)(Faccioni et al, 2003)(Ortiz et al, 2011)

والتحرّر المتواصل للنيكل ولو بجرعات قليلة (1,3 ميكروغرام/غرام من النسج) قد يكون عاملاً محفزاً لحدوث الضخامة اللثوية .

(Gursoy et al, 2007)

تحرّر النيكل من الأجهزة التقويمية يمكن أن يُسبِّب بعض التأثيرات السريرية، مثل التهاب اللّثة، حسّ حرقة، طعم معدني، التهاب فم زاوي، والتهاب النسج حول السنيّة .....وغيرها.

(Staerkjaer & Menne, 1990) (Bishara et al, 1993)

ولعلَّ الأمر الفريد في التطبيقات التقويميّة للخلائط الحاوية على النيكل هو أنَّ الخليطة لا تزرع ضمن النسج وإنّما توضع في تجويفٍ مفتوح، فعندما تزرع الخلائط الحاوية على النيكل ضمن النسج فإنَّ تفاعلاتها تنخفض بسبب تشكُّل محفظة من النسيج الضام تحيط بما تعتبره العضوية جسماً أجنبياً .

(Cook et al, 1985) (Jackson & Adham, 1986) (Shabalovskay, 2002)

على النقيض من ذلك، تتعرّض المواد الموضوعة داخل الوسط الفموي (الحاصرات التقويمية، الأطواق، الأسلاك التقويمية) لنموذج مستمر من التفاعلات مع العوامل الموجودة ضمن التجويف الفموي المفتوح.

(Eliades & Athanasioa, 2002) (Mikulewicz & Chojnacka , 2011)

2-4- الكروم Chromium:

2-4-1- عنصر الكروم في الجدول الدوري:

الرمز الكيميائي للكروم /Cr/ وله العدد الذري /24/ في الجدول الدوري للعناصر.

(Fawcett et al, 1988)

من المعروف أنَّ الكروم يعتبر عنصراً مهماً للكائنات البشرية وللحيوانات. بشكل عام فإنَّ أهم المصادر التي يحصل منها الإنسان على الكروم هي الغذاء، الجو، مياه الشرب، المجوهرات ومن العلاجات التي تحتوي على هذا المعدن. يعد متوسط المدخول الغذائي للكروم 280 ميكروغرام/يوم. (Barrett et al, 1993)

2-4-2- استخدام الكروم في طب الأسنان وتقويم الأسنان خاصة:

1- تصنيع التيجان والجسور.

2- بعض أنواع الزرعات السنيّة.

3- وصلات القضبان في التعويضات فوق الجذور.

4- تعويضات الأسنان الهيكلية على نطاق واسع.

5- الأجهزة التقويمية المتحركة والثابتة (كالحاصرات، الأسلاك، الأطواق، الأقواس والموسعات).

(Fawcett & Eric ,1988)

2-4-3- التأثيرات السلبيّة للكروم:

مع أنَّ الكروم نفسه غير مُسبِّب للحساسية، إلا أنَّ أملاحه مسؤولة عن الحالات الشائعة من الحساسية تجاه الكروم، ومن الجدير بالذكر أنَّ سوائل الجسم، مثل العرق والبلازما يمكن أن تحوّل الكروم إلى أملاح الكروم المسبّبة للحساسيّة، وهذا ينطبق على اللّعاب إذا احتوى على عنصر الكروم.

(Conti et al, 2014)(Yamanka et al, 2014)

أظهرت المركبات التي تحتوي على النيكل والكروم القدرة على إحداث الحساسيّة، الربو والتهابات جلدية. (Bishara et al, 1993)

2-5- التحليل بطيف الامتصاص الذري : Analytical Absorption Spectroscopy

يعتمد التحليل بطيف الامتصاص على تعريض محلول مادة ما (أو بخارها) لإشعاعٍ ضوئيٍّ ذي تواتر محدد (أي طاقة محددة)، ممّا يجعل الكترونات جزيئات هذه المادة (أو الذرات في بعض الحالات) تتهيّج إلى مدارات أعلى وذلك عندما تتوافق الطاقة المطبقة (أي تواتر الإشعاع) مع الطاقة اللازمة لقفز الالكترونات إلى المدار الأعلى، وهذا يستهلك جزءاً من الطاقة المطبّقة، أي أنَّ شدة الإشعاع تتناقص، وهذا يُمَكّن من تحديد المادة نوعياً تبعاً لطول الموجة (أو التواتر) الموافق للامتصاص الأعظمي، وكمياً تبعاً لشدة الامتصاص(الكثافة الامتصاصية الضوئية).

2-5-1- مبدأ الطريقة :Method Principle

تعتمد طريقة التحليل بطيف الامتصاص على قياس شدّة الضوء الممتصّة من قبل محلول ما عند طول موجة محدّد. حيث أنَّ ذرات المادة المتعرِّضة للإشعاع (ذي طول الموجة المحدّد) تتهيّج ممتصة جزءاً من الطاقة الواردة، وبالتالي فإنَّ الفرق بين الطاقة الواردة على المادة والنافذة منها يحدِّد الطاقة الممتصّة.

إنَّ زيادة عدد ذرَّات المادة الماصّة للضوء في واحدة الحجم سوف يؤدي عند تواتر الامتصاص إلى زيادة الامتصاص، وذلك لزيادة عدد الذرات المشاركة في الامتصاص. أي أنَّ التركيز متناسب مع عدد الذرات في واحدة الحجم، لذلك يمكن أن نستنتج ممّا ذكر إمكانية استخدام مقدار الامتصاص عند تواتر محدد (أو طول موجة محدد) بالنسبة لمادة معينة من أجل التحديد الكمّي للمواد. (رمضان، 1981)

2-5-2- الأنظمة المستخدمة في تقنيّة الامتصاص الذري:

يوجد ثلاث أنظمة في تقنيّة الامتصاص الذري :

1-نظام اللهب بشعلتين :

أ- شعلة أستيلين- هواء:

تتراوح درجة حرارتها بين (2200-2400) درجة مئوية، تُعتَمد هذه الشّعلة لتعيين العناصر سهلة التذرير.

ب-شعلة استيلين- N2O:

تتراوح درجة حرارتها بين (2800-3000) درجة مئوية، تستخدم لتعيين العناصر صعبة التذرير، مثل المعادن القلويّة الترابيّة والتيتانيوم والفاناديوم والمولبيديوم والرصاص والسيليكون.

(باكير وزملاؤه، 2005)

2-نظام عديم اللهب (الفرن الغرافيتي):

يستخدم هذا النظام لرفع حساسيّة الامتصاص الذري ما لا يقل عن 1000 مرة دفعة واحدة مقارنةً مع نظام اللهب، والسبب في رفع الحساسيّة بهذا المقدار يعود إلى عاملين أساسيين :

أ- إطالة زمن مكوث الذّرات في الجوار المباشر للحزمة الطيفية، إذ أنّ هذا الزمن في نظام اللهب لا يتعدى 0,001 ثانية لذلك تكون فعاليّة الامتصاص في نظام اللهب أقل بكثير من نظيرتها في النظام عديم اللهب، ويتم تحقيق هذا الشرط بإجراء عملية التذرير ومن ثم الامتصاص في حيّزٍ مغلقٍ وهو ما يُعرَف بالأنبوب الغرافيتي أو الفرن الغرافيتي والذي يقوم مقام اللّهب في نظام اللّهب، وهو عبارة عن أنبوبة من الغرافيت المقاوم للكيماويات، مفتوحة من الطرفين، وفي منتصفه ثقب لإدخال العينة، يرتبط من طرفيه بقطبين كهربائيين يعملان على تسخينه حتّى درجة الحرارة المطلوبة وفقاً لبرنامجٍ حراريٍّ محكم يختلف من عنصر لآخر.

ب- إجراء عمليّة التذرير في جوٍ خاملٍ من الأرغون، وذلك لتجنّب التفاعلات الثانوية التي تجري في نظام اللهب، والتي تؤدي إلى تداخلات مشوشّة على عمليّة التعيين .

في نظام الفرن الغرافيتي يُستَبعد الوقود كلياً والمؤكسد، وتتم عملية التسخين كهربائياً، بينما تتم عمليّة التذرير تحت تأثير الحرارة الناجمة عن التيّار الكهربائي .

تخترق الحزمة الطيفية الآتية من مصباح الكاتود الأجوف الأنبوب الغرافيتي من اليسار إلى اليمين، وبالتالي يحل الأنبوب الغرافيتي محل الحرّاق في نظام اللهب، وتكون أبعاد الأنبوب الغرافيتي الطول 2سم والقطر 0,5 سم . (الزامل، 1998)

3-نظام مولّد الهيدريدات:

يقتصر عمل هذا النظام على 6 عناصر فقط وهي العناصر شديدة التطاير والتي لا تتحمّل

درجات حرارة حتى المنخفضة منها وهي: البزموت والأنتموان والتيليريوم والسيلينيوم والزرنيخ والزئبق. (الزامل، 1998)

حظيت الدراسات المتعلقة بتحرر الشوارد المعدنية من الأجهزة التقويمية الثابتة Fixed orthodontic appliances باهتمام كبير، فمعظم هذه الأجهزة مصنوعة من الستانلس ستيل أو النيكل – تيتانيوم، حيث تتعرض هذه الخلائط للتآكل محررةً الشوارد المعدنية منها، ومن هذه الدراسات :

- قارن (Kuhta et al, 2009) تآكل الأسلاك التقويمية المصنوعة من خلائط الستانلس ستيل SS والنايتينول الفائق المرونة والمنشط حرارياً وتوصل إلى ما يلي :

– يؤثّر كلاً من التركيب الكيميائي للأسلاك وزمن الغمر على تحرّر الشوارد من هذه الأسلاك.

– كانت تراكيز الشوارد المتحررّة أقل من المستويات السميّة لكنها قادرة على التسبب بردود فعل تحسسية.

(Kuhta et al, 2009)

- درس (Agaoglu) وزملاؤه عينات دم للمرضى قبل وبعد تركيب الأسلاك التقويمية، ودلت النتائج على ازدياد تراكيز النيكل والكروم مع الزمن، لكن لم تصل هذه التراكيز إلى مستويات سمية، وبقيت قريبة جداً من المعدلات الطبيعية.

(Agaoglu et al, 2001)

- قام (Barcelos) وزملاؤه بوضع أسلاك NiTi وSS في محلول اللعاب الاصطناعي والفلوريد لمدة 15– 30 يوماً، ثم درسوا تحرر شوارد النيكل والدارة الكهربائية المحتملة المفتوحة، وقد وجدت الدراسة أنّ التآكل يعتمد على عدة عوامل:

درجة pH اللعاب، زمن الغمر، تركيز الفلوريد.

(Barcelos et al, 2013)

- درس (Amini) وآخرون تأثير الإجهاد على تحرر الشوارد المعدنية من الأجهزة التقويمية الثابتة، فوجد أنّ الإجهاد سبّب زيادة جوهرية في قيم شوارد النيكل المتحررة من الأجهزة

التقويمية الثابتة في لعاب المرضى، بينما لم يسبب الإجهاد زيادة جوهرية في قيم تركيز شوارد الكروم.

(Amini et al, 2012)

- في دراسة مخبرية قام بها (Suarez) وزملائه وجد أنّ كمية النيكل المتحررة من أسلاك النيكل تيتانيوم فائقة المرونة والنحاسية (المستخدمة في التقويم اللساني) في وسط الفحص كانت قليلة وبعيدة عن المستويات التي تُعرف بأنها تُسبب ضرراً خلوياً .

(Suarez et al, 2010)

- سجل (Mikulewicz et al, 2014) تراكيز قليلة جداً من النيكل المتحرر من الأجهزة التقويمية بعد غمرها غمراً ديناميكياً في شروط مخبرية، وقد كانت أقل بكثير من التراكيز السّامة للعضوية الحية.
- في دراسة قام بها (Rymovicz et al, 2013) وجد إمكانية زيادة عدد المكورات العقدية الطافرة بوجود الشوارد المعدنية المُحرَّرة في اللّعاب من الأجهزة التقويمية الثابتة أثناء المعالجة (Ni^{+2} , Fi^{+3} , Cr^{+3}).
- وجد (Gopikrishnan et al, 2015) تحرّر كميات كبيرة نسبياً من شوارد النيكل والكروم من أسلاك الستانلس ستيل، في حين كان تحرّر شوارد النيكل من أسلاك النايتينول بكمية ضئيلة ولم تبد أي تحرر لشوارد أخرى، وكان تحرر الشوارد من أسلاك الستانلس ستيل أكبر بالمقارنة مع أسلاك النايتينول، في حين لم يتم يجد (Grimsdottir et al, 1992) أي تحرر للنيكل من unitek nitinol بعد وضعها في كلوريد الصوديوم 0.9% في حرارة 23 درجة مئوية وتمَّ تفسير النتيجة باحتواء الخليطة على نسبة كبيرة من التيتانيوم حوالي 45%.
- في دراسة قام بها (Karnam et al, 2012) أظهرت أسلاك الألجيلوي تحريراً أكبر لشوارد النيكل عند مقارنتها مع أسلاك الستانلس ستيل والنايتينول، كما كان تحرّر الشوارد من ال NiTi أكبر منه في SS.
- أظهرت الدراسة التي أجراها (Gjeret & Hero, 1987) ازدياد تحرر الشوارد المعدنية من

الأسلاك التقويمية بما يتراوح بين 25–60 مرة عند خضوعها للمعالجة الحرارية حيث يحدث تسارع في عمليّة التآكل.

- وجد (Huang, 2005) اختلافاً في الخشونة السطحية لأسلاك النيكل تيتانيوم فائقة المرونة الجديدة من شركاتٍ مختلفةٍ لها نفس البنية الكيميائية السطحية، وفسّره بالجهد الناتج عن عملية التصنيع.
- وجد (Arndt et al, 2005) أنَّ التحميل الميكانيكي والحرارة لأسلاك النيكل تيتانيوم الجديدة يزيد من تحرّر شوارد النيكل منها في اللّعاب الاصطناعي.
- وهي نفس النتيجة التي وصل إليها(Peitsch et al, 2007) في أن أسلاك النيكل تيتانيوم فائقة المرونة المحمّلة ميكانيكياً بقوى تشابه مثيلاتها في الواقع السريري تحرر كميةً أكبر من النيكل في وسطي الغمر التي استخدمها (ماء مقطر ومحلول NaCl) دون فروقات بينهما.
- كما أنَّ جهد اللّي الذي تعرضت له أسلاك النيكل تيتانيوم في دراسة (liu et al, 2011) لمدة 14 يوماً أدّى إلى تصدع في طبقة الأوكسيد المتشكلة على سطحها مما زاد من تحرّر النيكل منها في اللّعاب الاصطناعي.
- أظهرت دراسة (غزال & الصباغ) أنَّ أسلاك الـ NiTi فائقة المرونة أقل خشونة من تلك المنشطة حرارياً بفارق جوهري، وكلا نوعي الأسلاك حرّر نفس الكمية تقريباً من شوارد النيكل في اللعاب الاصطناعي.

وقد أظهر نوعا الأسلاك تأثراً واضحاً بظروف الوسط الفموي، فقد ازدادت خشونة سطحها، وقلّت كمية شوارد النيكل المتحررة منها اللعاب الاصطناعي.

(غزال & الصباغ، 2014)

- وجد (Chia et al, 2007) ازدياد تحرر الشوارد من الأسلاك التقويمية عند انخفاض pH اللّعاب وعند تطبيق الفلور.
- وهي نفس النتيجة التي وجدت في دراسة (Kassab & Gomesb, 2013) في أنَّ مقاومة تآكل الأسلاك التقويمية تنخفض عند وجود الفلور ضمن اللعاب الاصطناعي .
- درس (Wu et al, 2007) الخواص الشكلية المعقدة والفجوات الموجودة على سطوح أسلاك

النيكل تيتانيوم المنشّطة حرارياً، ووجد أنّها تجعل هذه الأسلاك أكثر عرضة لتحرر النيكل.

- لم يجد (Petoumeno et al, 2008) اختلافاً في درجة تحرر شوارد النيكل من أسلاك النيكل تيتانيوم فائقة المرونة والمنشّطة حرارياً، لكنّه سجل ازدياداً في محتوى لعاب المرضى من النيكل بعد تطبيق الحاصرات التقويميّة.
- أما (perinetti et al, 2010) فقد سجلوا اختلافاً في مقاومة تآكل أسلاك النيكل تيتانيوم فائقة المرونة والمنشّطة حرارياً ووجدوا تأثيراً ملحوظاً لدرجة pH اللعاب الاصطناعي المنخفضة على التآكل السطحي لأسلاك النيكل تيتانيوم، وقد كان هذا جلياً في الأسلاك المنشَّطة حرارياً أكثر منه في الأسلاك فائقة المرونة.

تبيان المشكلة:

لمّا كان من الصّعب إيجاد مادة تكون مستقرة بشكل كامل في العضوية الحيوية دون أي علائم للتآكل، فقد لقيت الدراسات المتعلقة بتآكل الخلائط التقويمية اهتماماً كبيراً من الباحثين. ويعتبر تآكل الأسلاك التقويمية عاملاً هاماً جداً لأنّ تعرضها للتآكل يؤدي إلى خشونة في سطحها مضعفاً إياها ومحرراً العناصر الكيميائية المكونة لها.

من خلال المراجعة النظرية نلاحظ أهمية دراسة تحرر الشوارد المعدنية من الأسلاك التقويمية التي تبقى فترة طويلة ضمن الفم لكونها تشكل عاملاً مهماً من عوامل التوافق الحيوي، وقد تناولت العديد من الدراسات تقييم تحرر الشوارد المعدنية من الأجهزة التقويمية وخصوصاً النيكل والكروم لكونهما من العناصر ذات التأثير السّمي، وقد كانت نتائج تلك الدراسات تتفق حيناً وتختلف حيناً آخر.

ولمَّا كانت دراسة التوافق الحيوي للأجهزة التقويميّة الثابتة (حاصرات، أسلاك، أطواق) تتم من خلال تحديد كمية الأيونات المُتحرِّرة من عملية الانحلال الناتج عن التآكل وذلك في الدراسات المخبريّة والسريريّة، وبما أنّ الوسط الفموي يحوي مجموعة كبيرة من المتغيرات المتعددة التي تؤثر على التآكل المحتمل ونشاط الخليطة (كتفاوت درجات الحموضة، الحرارة، والجهود المطبقة، الخصائص الفيزيائية والكيميائية للأغذية)، فمن هنا جاءت أهمية دراسة تحرر شاردتي النيكل والكروم من الأنواع المختلفة للأسلاك التقويمية دراسة مخبرية بمعزل عن هذه العوامل، وتحديد الأسلاك الأكثر تقبّل من الناحية الحيوية، كما دُرِس تأثير تغير درجة الحموضة على تحرر هذه الشوارد.

3

الأهداف وفرضيات العدم

Aims &Null Hypotheses

أهداف البحث :

1- مقارنة تركيز شوارد النيكل المتحررة من الأسلاك التقويميّة المصنوعة من النيكل تيتانيوم الفائقة المرونة والمنشَّطة حرارياً والفولاذ غير القابل للصدأ والنيكل –كروم– كوبالت الأزرق.

2- مقارنة تركيز شوارد الكروم المتحرّرة من الأسلاك التقويمية المصنوعة من النيكل تيتانيوم الفائقة المرونة والمنشَّطة حرارياً والفولاذ غير القابل للصدأ والنيكل– كروم –كوبالت الأزرق.

3- تقييم تأثير ازدياد درجة حموضة اللّعاب الاصطناعي على مقدار تحرّر شوارد النيكل والكروم من الأسلاك التقويمية المصنوعة من النيكل تيتانيوم الفائقة المرونة والمنشّطة حرارياً والفولاذ غير القابل للصدأ والنيكل– كروم– كوبالت الأزرق.

4- تحديد إذا كان تحرر شوارد النيكل و الكروم من هذه الأسلاك ضمن حدود التقبّل الحيوي.

فرضيات العدم :

1- لا يوجد فروق جوهرية في تركيز شوارد النيكل بين الأنواع المختلفة للأسلاك.

2- لا يوجد فروق جوهرية في تركيز شوارد الكروم بين الأنواع المختلفة للأسلاك.

3- لا علاقة لدرجة حموضة اللّعاب الاصطناعي بمقدار تحرر شوارد النيكل والكروم من الأسلاك التقويمية.

4

المواد والطرائق

Materiales and Methods

4-1-تحديد حجم العينة :

تمّ تقدير حجم العينة باستخدام القانون التالي:

$$n = \frac{(Z_\alpha + Z_\beta)^2 (2)(S)^2}{(d)^2}$$

(Hazza, 2009)

حيث يستخدم هذا القانون في الدراسات التي تستخدم اختبار T ستودنت للعينات المستقلة مع الأخذ بالاعتبار قيمة الخطأ ألفا و قيمة الخطأ بيتا

ولتحديد عينة البحث المطلوبة (**n**) يلزمنا أن نعرف المتغيرات التالية:

- التباين (**Variance**): أو مربع الانحراف المعياري (S) للمتغير قيد الدراسة، وعادةً يمكن الحصول عليه من دراسات سابقة، أو ينبغي إجراء دراسة استطلاعية لتحديده.
- مقدار درجة الخطأ ($Z\alpha$) وهي عندما ألفا = 0.05 تساوي 1.96 عند مستوى الثقة 95% في الاختبار ذي الذيلين و عندما ألفا = 0.01 تساوي 2.58 عند مستوى الثقة 99% في الاختبار ذي الذيلين
- مقدار درجة الخطأ ($Z\beta$) و عادة ما يستخدم مقدار لبيتا 0.1 عند قدرة تساوي 90% في الاختبار ذي الذيلين
- مقدار الفرق المطلوب الحصول عليه (***d***) في المتغير قيد الدراسة (أي مقدار الفرق الجوهري المحسوس عملياً)

– حيث أقل فرق جوهري يراد الكشف عنه في تحرر شوارد النيكل هو 1 ppb

علماً أنَّ ppb (particle per billion)=microgram/l

و تمّ اعتماد الانحراف المعياري (0.77 ppb) المأخوذ من دراسة سابقة

(Nabeel et al, 2013)

قوة الدراسة 0.90 و مستوى الدلالة 0.05 والاختبار المراد استخدامه test .T للعينات المستقلة

– أقل فرق جوهري يراد الكشف عنه في تحرر شوارد الكروم هو 0.3 ppb

علماً أنّ ppb(particle per billion)=microgram/l

وتمّ اعتماد الانحراف المعياري (0.54 ppb) المأخوذ من دراسة سابقة.

(Nabeel et al, 2013)

قوة الدراسة 0.90 و مستوى الدلالة 0.05 و الاختبار المراد استخدامه T.test

– فكان حجم العينة المطلوب 32 سلكاً على الأقل لكل مجموعة، لذا تقرر إجراء الدراسة على عينة مؤلفة من 80 سلكاً موزعة بالتساوي على مجموعتين بمقدار 40 سلكاً في كل مجموعة.

4-2- بناء العينة:

تضمّنت الدراسة أربعة أنواع من الأسلاك التقويمية:

1- أسلاك نيكل – تيتانيوم منشط حرارياً (Therma-Ti Lite) (شكل رقم 3)

2- أسلاك نيكل – تيتانيوم فائق المرونة (Niti Force I) (شكل رقم 3)

3- أسلاك الفولاذ غير القابل للصدأ SS (Stainless steel)(شكل رقم 4)

4- أسلاك النيكل- كروم-كوبالت (أزرق) (شكل رقم 5)

حيث تمّ اختيار 20 سلكاً من كل نوع بشكل عشوائي من علب مختلفة، وكانت كل هذه الأسلاك من إنتاج شركة American Orthodontics وبقياس واحد 0.016 ×0.022 إنش.

تركيبها الكيميائي:

أسلاك النيكل تيتانيوم: Ni:55% Ti:45%

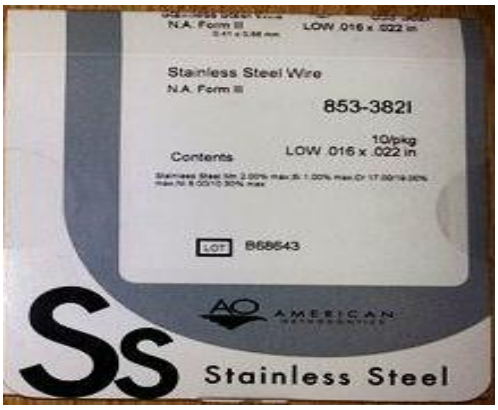
وذلك لكلا النوعين فائق المرونة والمنشطة حرارياً.

(الشكل رقم3) أسلاك نيكل تيتانيوم فائقة المرونة (على اليمين) وحرارية (على اليسار)

أسلاك الفولاذ غير القابل للصدأ:

نيكل: 8/10,50%max كروم: 17,00/19,00%max

سيليكون: 1,00%max منغنيز: 2,00%max



(الشكل رقم4) أسلاك الفولاذ غير القابل للصدأ

أسلاك النيكل- كروم- كوبالت:

40% كوبالت 20% كروم 15% نيكل 15.4% حديد

7% مولبيديوم 2% منجنيز 0.04% بريليوم

(الشكل رقم5) أسلاك النيكل- الكروم- كوبالت أزرق

4-3- المواد المستخدمة للبحث:

1- أسلاك تقويمية إنتاج شركة American Orthodontics وبقياس 0.016 ×0.022 إنش.

2- أطباق بلاستيكية معقمة نوع Dolphen.

3- لعاب صناعي وهو محلول fusyama.

4- لاصق parafilm لختم الأطباق.

5- ماصة سحب لمعاملة العينة بحمض الآزوت.

6- أنابيب بندروف .

7- حمض الآزوت عالي النقاوة 65% إنتاج شركة merk الألمانية.

8- محلول قياسي للنيكل من إنتاج شركة merck الألمانية 1000ميكروغرام/ل (شكل رقم 14).

9- محلول قياسي للكروم من إنتاج شركة merck الألمانية 1000ميكروغرام/ل (شكل رقم 13).

10- الحاضنة موجودة في كلية البيطري- جامعة حماة.

4-4- الجهاز المستخدم في البحث:

تمّ تحليل العينات بواسطة جهاز مقياس التحليل الطيفي ذي الامتصاص الذري في قسم الفرن الغرافيتي منه، يحدد كمياً العناصر الكيميائية في محلول ما من خلال امتصاص جزيئاتها للضوء في حالتها الغازية.

استخدم في هذه الدراسة لقياس تراكيز شوارد النيكل والكروم المتحررة من الأنواع المختلفة من الخلائط في اللّعاب الاصطناعي تقنية الفرن الغرافيتي لجهاز الامتصاص الذري AA-6800 ياباني الصنع من شركة SHIMADZU الموجود في كلية الطب البيطري بجامعة حماة قسم الكيمياء الحديثة والبيولوجيا الجزيئية (شكل رقم 6).

(الشكل رقم 6) جهاز الامتصاص الذري المستخدم في الدراسة

4-4-1- مكونات الجهاز:

يتركب الجهاز من الوحدات الأساسية التالية:

1- منبع ضوئي مناسب.

2- وحدة تذرير (تحويل العينة إلى ذرّات) بعد التبخير.

3- مرشح للضوء (موشور) حيث يقوم بتجزئة الضوء إلى أقسامه المختلفة ليؤخذ منه الإشعاع ذو طول الموجة المناسبة.

4- مستقبل: يقوم بقياس الشّدة الضوئية بعد امتصاص جزء منها في العينة.

5- خلية كهروضوئية مهمتها تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية تظهر على شكل إشارة كهربائية تتناسب شدتها طرداً مع شدة الإشعاع الواصل إليها.

(باكير وزملاؤه، 2005)

ويستخدم غاز الأرغون أثناء تحمية الفرن الغرافيتي كي لا يحترق حيث قد تصل حرارته إلى حوالي 3000 كلفن.

(الزامل، 1998)

4-4-2- طريقة عمل الجهاز:

يتم تشغيل الجهاز، ثمّ يتم وضع طول الموجة الموافقة للخط الطيفي الرئيسي للعنصر المطلوب تحديده. يتم تركيب اللمبة المخصصة لهذا العنصر(شكل رقم 7)، ثمّ يُحَضر محلول عياري للمقارنة وماء مقطر عالي النقاوة .

يتم معايرة الجهاز وجعله يعطي قيمة للتركيز مساوية صفر عند استخدام الماء المقطر وقيمة تعادل التركيز المُحَضر عند استخدام المحلول العياري المقارن، بعد ذلك يستخدم المحلول الذي يحوي العنصر المدروس فيتحدد التركيز.

(رمضان، 1981)

(شكل رقم7) حجرة المصابيح الخاصة بالجهاز

4-5- طريقة العمل:

تمّ تقسيم العينة إلى مجموعتين متساويتين حيث تألفت كل مجموعة من 40 سلكاً مقسمة على الشكل التالي :

1- 10 أسلاك فولاذ غير القابل للصدأ.

2- 10 أسلاك نيكل- كروم- كوبالت.

3- 10 أسلاك نيكل – تيتانيوم فائق المرونة.

4- 10 أسلاك نيكل – تيتانيوم منشطة حرارياً.

تمّ تركيب اللعاب الاصطناعي وهو محلول fusayama المعدّل والمكوّن من :

جدول رقم 1 مكونات محلول اللعاب الاصطناعي

المركب	التركيز
كلوريد الصوديوم NaCl	400
كلوريد البوتاسيوم KCl	400
كلوريد الكالسيوم المائي $CaCl_2.2H_2o$	795
بيفوسفات الصوديوم الحامضية$NaH_2Po_4.H_2o$	690
سيو سيانات البوتاسيوم KSCN	300
كبريتيد الصوديوم المائي $NaH_2Po_4.H_2o$	5
البولة Urea	1000

وهو اللعاب الاصطناعي المستخدم في عدّة دراسات سابقة عن تآكل الأسلاك.

(Huang, 2005) (Arndt et al, 2005)(2014 ، غزال & الصباغ)

قُسّم المحلول إلى قسمين متساويين حيث تمّ تعديل حموضته على الشكل الآتي :

1- القسم الأول عدلت حموضته ليصبح pH=7 وهي القيمة الطبيعية لحموضة اللعاب (شكل رقم 8).

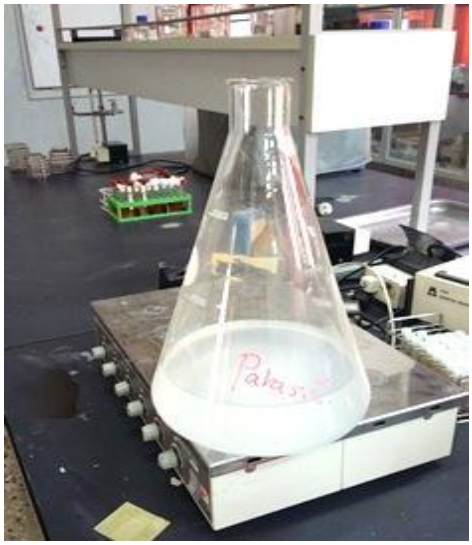
2- القسم الثاني عدلت حموضته باستخدام حمض كلور الماء لتصبح pH=5 وهي القيمة التقديرية لحموضة اللعاب بعد الطعام مباشرة (شكل رقم 9).

ثمّ تمّ وضع كل سلك من أسلاك المجموعتين ضمن طبق بلاستيكي جديد (شكل رقم 10).

غُمِر كل سلك من أسلاك المجموعة الأولى في25مل من المحلول ذو درجة الحموضة 7.

بينما غُمِر كل سلك من أسلاك المجموعة الثانية في25مل من المحلول ذو درجة حموضة 5.

وختمت الأطباق بشكل جيد باستخدام PARAFILM (شكل رقم 11).



(الشكل رقم 8) يبين اللعاب الاصطناعي ذو درجة الحموضة 7

(الشكل رقم 9) يبين اللعاب الاصطناعي ذو درجة الحموضة 5

(الشكل رقم 10) يبين الأسلاك ضمن الأطباق البلاستيكية المعقمة

(الشكل رقم11) يبين الأطباق مختومة جيدا بعد وضع الأسلاك ضمنها وغمرها في 25مل من اللعاب الاصطناعي

تمّ وضع الأطباق في الحاضنة ضمن حرارة 37 درجة مئوية لمدة شهر (شكل رقم 12) (غزال& الصباغ، 2014)

(الشكل رقم 12) يبين جهاز الحاضنة – كلية الطب البيطري– جامعة حماة

ليتم بعدها قياس تركيز شوارد النيكل والكروم المتحررة في المحلول باستخدام جهاز الامتصاص الذري مقدراً بال µg/L= ppb (particle per billion)

4-6- طريقة تحليل العينات:

4-6-1- تحضير المحاليل القياسية:

- تحضير المحاليل القياسية لعنصر النيكل:

تمّ تحضير المحاليل القياسية من عنصر النيكل بتراكيز مختلفة ppb (25-10-5)، حيث تمّ تحديد التراكيز الأدنى والأعلى للتراكيز المختارة على أساس المتوقع لتراكيز القيمة المفحوصة لاحقاً.

- تحضير المحاليل القياسية لعنصر الكروم:

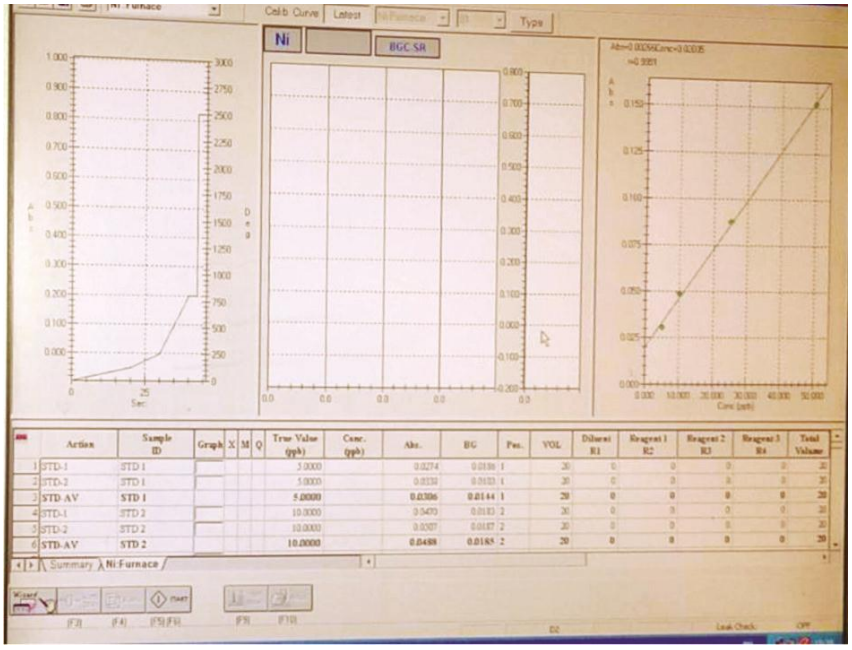
بشكل مشابه تمّ تحضير المحاليل القياسية من عنصر الكروم بتراكيز مختلفة

(5,10,25) ppb

(الشكل رقم 13) يبين المحلول القياسي لعنصر الكروم 1000ميكروغرام/ل

(الشكل رقم 14) يبين المحلول القياسي لعنصر النيكل1000ميكروغرام/ل

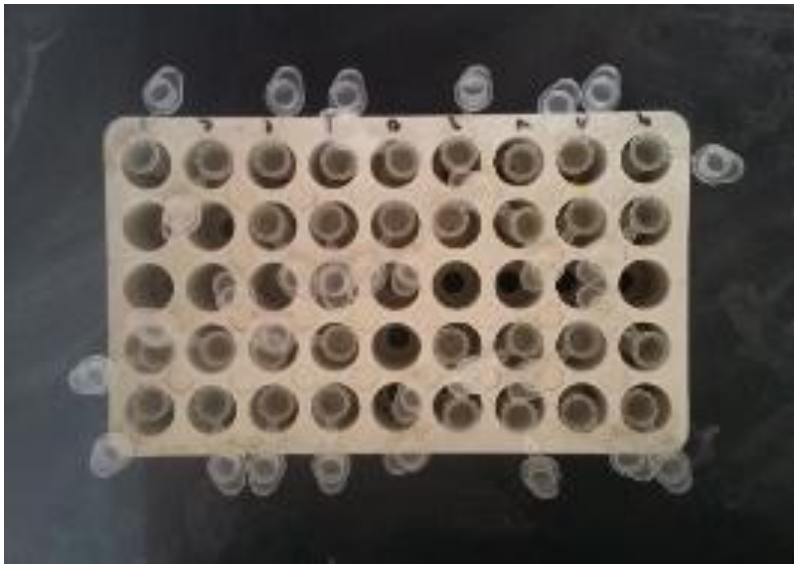
يقوم بعدها الجهاز بتحديد الامتصاصيات الموافقة لكل تركيز ويرسم مخططاً بيانياً مرجعياً ليستخدم لاحقاً في دراسة العينات (شكل رقم 15).



(الشكل رقم 15) يبين واجهة البرنامج الخاص بجهاز الامتصاص الذري

4-6-2- تحضير العينات لقياس شوارد النيكل والكروم:

نقوم بسحب 1مل من عينات اللّعاب الاصطناعي من كل طبق ويتم وضعها ضمن أنابيب بندروف وتعامل بحمض الآزوت 5 % لكل عينة كما يبين الشكل رقم (16).



(الشكل رقم 16) يبين وضع 1مل من اللعاب الاصطناعي ضمن أنابيب بندروف الخاصة بجهاز الامتصاص الذري

ثمّ توضع العينات في المكان المخصص لها ضمن جهاز الامتصاص الذري.

يقوم جهاز الامتصاص الذري بسحب المحلول المحضّر والموضوع في مكانه المخصص بالماصة المخصّصة لذلك آلياً (Auto Sampler) وتمريره في الفرن الغرافيتي لحساب امتصاصيته وذلك بعد تطبيق البرنامج الحراري على العينات (شكل رقم 17).

- **البرنامج الحراري الخاص بالنيكل:**

1- 120درجة مئوية لمدة 20 ثا

2- 250 درجة مئوية لمدة 10 ثواني

3- 800 درجة مئوية لمدة 10 ثواني

4- 800 درجة مئوية لمدة 3 ثواني

5-2500درجة مئوية لمدة 3 ثواني

ويتم حساب الامتصاصية وتسقط النتيجة على المخطط البياني المرجعي الخاص بالمحاليل القياسية وذلك اعتماداً على طول الموجة الخاص بالنيكل والذي يبلغ 232,0 nm، وبذلك نحصل على تركيز النيكل في كل عينة مقدراً ب (particle per billion)ppb.

ويقوم الجهاز بغسل رأس الماصة أتوماتيكياً بالماء المقطر بين كل قراءتين لإزالة أي أثر من العينة السابقة (شكل رقم 18).

- **البرنامج الحراري الخاص بالكروم:**

1- 120 درجة مئوية لمدة 15ثا

2- 250 درجة مئوية لمدة 10ثواني

3- 800 درجة مئوية لمدة 10 ثا

4- 800 درجة مئوية 15 ثا

5- 800 درجة مئوية لمدة 3ثواني

6- 2500 درجة مئوية لمدة 3 ثواني

7- 2800 درجة مئوية لمدة 2 ثا

وتحسب امتصاصية العينة وتسقط النتيجة على المخطط البياني المرجعي وذلك اعتماداً على طول الموجة الخاص بالكروم 357,9 nm، وبذلك نحصل على تركيز الكروم في كل عينة مقدراً ب (particle per billion)ppb.

(الشكل رقم17) الفرن الغرافيتي أثناء تسخين العينات

(الشكل رقم 18) غسل رأس الماصة اتوماتيكياً

- الدراسة الإحصائية:

تـمّ إجـراء التحليـل الإحصـائي للبيانـات المسـجلة باسـتخدام البرنـامج الاحصـائي SPSS-20 (الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية - النسخة 20) (Statistical Package for Social Science – version 20)

كما تمّ استخدام برنامج (Microsoft Excel 2010) وذلك لرسم الأشكال والمخططات البيانية للبيانات المدروسة.

حيث تمّ تطبيق اختبار Kolmogorov-Smirnov-Test على جميع المتغيرات التي ضمتها الدراسة لمعرفة فيما إذا كان توزع البيانات طبيعياً أم لا.

وتمّ تطبيق اختبار T للعينات المزدوجة (Paired T-Test) في حال كان توزع البيانات بشكل طبيعي ضمن المجموعة الواحدة وذلك لمقارنة المتوسطات ضمن مجموعة الدراسة وذلك لتحديد وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين المتوسطات حيث تم حساب قيم P الاحتمالية.

وتمّ استخدام اختبار T ثنائي العينة (Two-Samples T-Test) في حال كان توزع البيانات بشكل طبيعي ضمن العينتين وذلك لمقارنة المتوسطات بين مجموعتي الدراسة وذلك لتحديد وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين المتوسطات حيث تمّ حساب قيم P الاحتمالية.

وتمّ استخدام اختبار تحليل التباين وحيد الاتجاه (One-Way ANOVA Test) وذلك لمقارنة المتوسطات بين مجموعات الدراسة وذلك لتحديد وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين المتوسطات حيث تمّ حساب قيم P الاحتمالية ومن ثمّ استخدام اختبار Bonferroni لتحديد الفروق بين أي مجموعتين.

5

النتائج

Results

5-1-المقارنة بين قيم الشوارد المتحررة من كافة أنواع الأسلاك معاً:

يبين الجدول رقم (2) نتائج اختبار تحليل التباين وحيد الاتجاه One-way ANOVA Test لقيم تحرر شوارد النيكل وشوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=5) ودرجة حموضة (pH=7) وذلك عند مقارنة المتوسطات بين كافة أنواع الأسلاك المدروسة معاً (نايتينول فائقة المرونة – نايتينول منشطة حرارياً – SS – ألجيلوي).

الجدول رقم (2) نتائج اختبار تحليل التباين وحيد الاتجاه One-way ANOVA Test لقيم تحرر شوارد النيكل وشوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=5) ودرجة حموضة (pH=7) وذلك عند مقارنة المتوسطات بين كافة أنواع الأسلاك المدروسة معاً

نوع الشوارد	درجة pH	المقارنات	مجموع المربعات	درجة الحرية	مربع المتوسط	قيمة F	مستوى الدلالة
كروم	5	بين المجموعات	984.894	3.000	328.298	4237.199	<0.001
		ضمن المجموعات	1.240	16.000	0.077		
		الكلي	986.134	19.000			
	7	بين المجموعات	280.335	3.000	93.445	1456.212	<0.001
		ضمن المجموعات	1.027	16.000	0.064		
		الكلي	281.362	19.000			
نيكل	5	بين المجموعات	44.928	3.000	14.976	35.877	<0.001
		ضمن المجموعات	6.679	16.000	0.417		
		الكلي	51.607	19.000			
	7	بين المجموعات	482.947	3.000	160.982	1701.985	<0.001
		ضمن المجموعات	1.513	16.000	0.095		
		الكلي	484.460	19.000			

– حيث نلاحظ من الجدول السابق وجود فروق معنوية واضحة بين قيم شوارد الكروم عند درجة الحموضة (pH=5) عند المقارنة بين كافة أنواع الأسلاك معاً وذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$) أي أقل من مستوى المعنوية ألفا 0.05 عند مستوى الثقة 95%.

– ونلاحظ أيضاً من الجدول السابق وجود فروق معنوية واضحة بين قيم شوارد الكروم عند درجة الحموضة (pH=7) عند المقارنة بين كافة أنواع الأسلاك معاً وذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).

– ونلاحظ أيضاً من الجدول السابق وجود فروق معنوية واضحة بين قيم شوارد النيكل عند درجة الحموضة (pH=5) عند المقارنة بين كافة أنواع الأسلاك معاً وذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).

– ونلاحظ أيضاً من الجدول السابق وجود فروق معنوية واضحة بين قيم شوارد النيكل عند درجة الحموضة (pH=7) عند المقارنة بين كافة أنواع الأسلاك معاً وذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).

– ولمعرفة الأسلاك التي أعطت فروقات معنوية بالتحديد تمّ استخدام Bonferroni Tests على المجموعات المدروسة والمطبق عليها اختبار ANOVA وكانت النتائج كما يلي:

5-2- المقارنة بين أنواع الأسلاك من حيث تحرر شوارد النيكل ضمن درجة حموضة (pH=5):

يبين الجدول رقم (3) الإحصاءات الوصفية لقيم تحرر شوارد النيكل ضمن درجة حموضة (pH=5) في جميع أنواع الأسلاك المدروسة (نايتينول فائقة المرونة – نايتينول منشطة حرارياً – SS – ألجيلوي) حيث تمّ حساب قيمة المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لكافة أنواع الأسلاك المدروسة وذلك بالنسبة لقيم تحرر شوارد النيكل ضمن درجة حموضة (pH=5).

الجدول رقم (3) الإحصاءات الوصفية لقيم تحرر شوارد النيكل ضمن درجة حموضة (pH=5) في جميع أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشط حرارياً – SS – ألجيلوي)

الإحصاءات الوصفية لقيم تحرر شوارد النيكل ضمن درجة حموضة (pH=5)			
نوع الشوارد		شوارد النيكل	
درجة الحموضة		pH=5	
نوع الأسلاك	NiTi فائقة المرونة	المتوسط الحسابي	18.88
		الانحراف المعياري	0.3
	NiTi المنشطة حرارياً	المتوسط الحسابي	17.99
		الانحراف المعياري	0.12
	SS	المتوسط الحسابي	18.13
		الانحراف المعياري	0.12
	ألجيلوي	المتوسط الحسابي	21.7
		الانحراف المعياري	1.24

يبين الجدول رقم (4) نتائج استخدام اختبارات Bonferroni Tests على قيم تحرر شوارد النيكل ضمن درجة حموضة (pH=5) وذلك عند مقارنة المتوسطات بين أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حرارياً – SS – ألجيلوي) والمطبق عليها اختبار ANOVA.

الجدول رقم (4) نتائج استخدام اختبارات Bonferroni Tests على قيم تحرر شوارد النيكل ضمن درجة حموضة (pH=5) وذلك عند مقارنة المتوسطات بين أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حرارياً – SS – ألجيلوي) والمطبق عليها اختبار ANOVA

نوع السلك		الفرق بين المتوسطين	الخطأ المعياري	مستوى الدلالة	فترة الثقة 95%	
					الحد الأدنى	الحد الأعلى
NiTi فائقة المرونة	حراري	0,896	0,409	0,043	0,030	1,762
	SS	0.756	0.409	0.083	−0.110	1.622
	ألجيلوي	−2.820	0,409	<0.001	−3.686	−1.954
NiTi منشطة حرارياً	فائق	−0.896	0,409	0,043	−1.762	−0.030
	SS	−0.140	0.409	0.736	−1.006	0.726
	ألجيلوي	−3.716	0,409	<0.001	−4.582	−2.850
SS	فائق	−0.756	0,409	0.083	−1.622	0,110
	حراري	0,140	0,409	0.736	−0.726	1,006
	ألجيلوي	−3.576	0,409	<0.001	−4.442	−2.710
ألجيلوي	فائق	2,820	0,409	<0.001	1,954	3,686
	حراري	3,716	0,409	<0.001	2,850	4,582
	SS	3.576	0.409	<0.001	2.710	4.442

قيمة المعنوية P–value في الجدول ناتجة عن استخدام اختبارات Bonferroni Tests لقيم تحرر شوارد النيكل ضمن درجة حموضة (pH=5) وذلك عند مقارنة المتوسطات بين أنواع الأسلاك المدروسة (NiTiفائقة المرونة – NiTi المنشطة حرارياً – SS – ألجيلوي)

– عند مقارنة قيم تحرر شوارد النيكل عند درجة الحموضة (pH=5) بين نوعي أسلاك النايتينول فائقة المرونة والمنشطة حرارياً تبين أنّها كانت أعلى بشكل جوهري في مجموعة أسلاك النايتينول فائقة المرونة منها في مجموعة أسلاك النايتينول المنشطة حرارياً وذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).

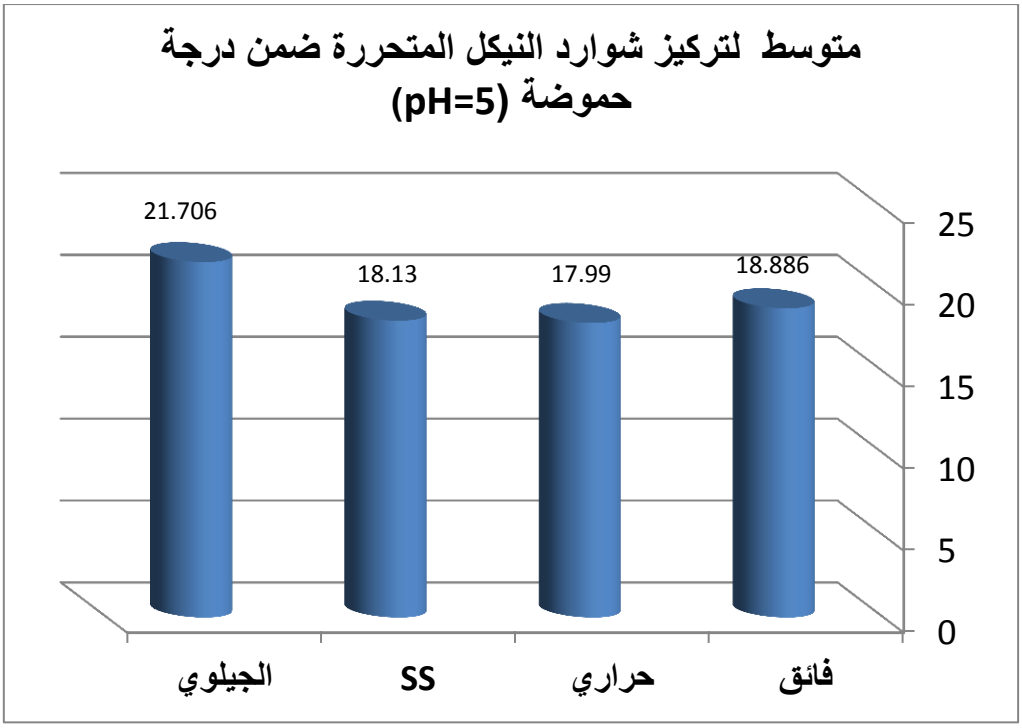
– عند مقارنة قيم تحرر شوارد النيكل عند درجة الحموضة (pH=5) بين أسلاك النايتينول فائقة المرونة وأسلاك الستانلس ستيل SS تبين عدم وجود فروق معنوية واضحة بينهما و ذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية (p>0.05).

– عند مقارنة قيم تحرر شوارد النيكل عند درجة الحموضة (pH=5) بين أسلاك النايتينول فائقة المرونة وأسلاك الألجيلوي تبين أنّها كانت أعلى بشكل جوهري في مجموعة أسلاك الألجيلوي منها في مجموعة أسلاك النايتينول فائقة المرونة وذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية (p<0.05).

– عند مقارنة قيم تحرر شوارد النيكل عند درجة الحموضة (pH=5) بين نوع أسلاك النايتينول المنشطة حرارياً وأسلاك الستانلس ستيل SS تبين عدم وجود فروق معنوية بينهما وذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية (p>0.05).

– عند مقارنة قيم تحرر شوارد النيكل عند درجة الحموضة (pH=5) بين نوع أسلاك النايتينول المنشطة حرارياً وأسلاك الألجيلوي تبين أنّها كانت أعلى بشكل جوهري في مجموعة أسلاك الألجيلوي منها في مجموعة أسلاك النايتينول المنشطة حرارياً وذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية (p<0.05).

– عند مقارنة قيم تحرر شوارد النيكل عند درجة الحموضة (pH=5) بين أسلاك الستانلس ستيل SS وأسلاك الألجيلوي تبين أنّها كانت أعلى بشكل جوهري في مجموعة أسلاك الألجيلوي منها في مجموعة أسلاك الستانلس ستيل وذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية (p<0.05).



الشكل رقم (19): مخطط بياني يمثل تراكيز شوارد النيكل المتحررة ضمن درجة حموضة (pH=5) في جميع أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حرارياً – SS – ألجيلوي)

5-3- المقارنة بين أنواع الأسلاك من حيث تحرر شوارد النيكل ضمن درجة حموضة (pH=7):

يبين الجدول رقم (5) الإحصاءات الوصفية لقيم تحرر شوارد النيكل ضمن درجة حموضة (pH=7) في جميع أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حرارياً – SS – ألجيلوي) حيث تمّ حساب قيمة المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لكافة أنواع الأسلاك المدروسة وذلك بالنسبة لقيم تحرر شوارد النيكل ضمن درجة حموضة (pH=7).

الجدول رقم (5) الإحصاءات الوصفية لقيم تحرر شوارد النيكل ضمن درجة حموضة (pH=7) في جميع أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حرارياً – SS – ألجيلوي)

الإحصاءات الوصفية لقيم تحرر شوارد النيكل ضمن درجة حموضة (pH=7)			
نوع الشوارد		شوارد النيكل	
درجة الحموضة		pH=7	
نوع الأسلاك	NiTi فائقة المرونة	المتوسط الحسابي	4,65
		الانحراف المعياري	0,35
	NiTi منشطة حرارياً	المتوسط الحسابي	3,38
		الانحراف المعياري	0,29
	SS	المتوسط الحسابي	10,14
		الانحراف المعياري	0,27
	ألجيلوي	المتوسط الحسابي	15,77
		الانحراف المعياري	0,30

يبين الجدول رقم (6) نتائج استخدام اختبارات Bonferroni Tests على قيم تحرر شوارد النيكل ضمن درجة حموضة (pH=7) وذلك عند مقارنة المتوسطات بين أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حرارياً – SS – ألجيلوي) والمطبق عليها اختبار ANOVA.

الجدول رقم (6) نتائج استخدام اختبارات Bonferroni Tests على قيم تحرر شوارد النيكل ضمن درجة حموضة (pH=7) وذلك عند مقارنة المتوسطات بين أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حرارياً – SS – ألجيلوي) والمطبق عليها اختبار ANOVA

نوع السلك		الفرق بين المتوسطين	الخطأ المعياري	مستوى الدلالة	فترة الثقة 95%	
					الحد الأدنى	الحد الأعلى
NiTi فائقة المرونة	حراري	1.266	0.195	<0.001	0.854	1.678
	SS	-5.488	0.195	<0.001	-5.900	-5.076
	ألجيلوي	-11.124	0.195	<0.001	-11.536	-10.712
NiTi منشطة حرارياً	فائق	-1.266	0.195	<0.001	-1.678	-0.854
	SS	-6.754	0.195	<0.001	-7.166	-6.342
	ألجيلوي	-12.390	0.195	<0.001	-12.802	-11.978
SS	فائق	5.488	0.195	<0.001	5.076	5.900
	حراري	6.754	0.195	<0.001	6.342	7.166
	ألجيلوي	-5.636	0.195	<0.001	-6.048	-5.224
ألجيلوي	فائق	11.124	0.195	<0.001	10.712	11.536
	حراري	12.390	0.195	<0.001	11.978	12.802
	SS	5.636	0.195	<0.001	5.224	6.048

قيمة المعنوية P–value في الجدول ناتجة عن استخدام اختبارات Bonferroni Tests لقيم تحرر شوارد النيكل ضمن درجة حموضة (pH=7) وذلك عند مقارنة المتوسطات بين أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حرارياً – SS – ألجيلوي)

– عند مقارنة قيم تحرر شوارد النيكل عند درجة الحموضة (pH=7) بين نوعي أسلاك الNiTi فائقة المرونة والمنشطة حرارياً تبين أنّها كانت أعلى بشكل جوهري في مجموعة أسلاك النايتينول فائقة المرونة منها في مجموعة أسلاك النايتينول المنشطة حرارياً وذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).

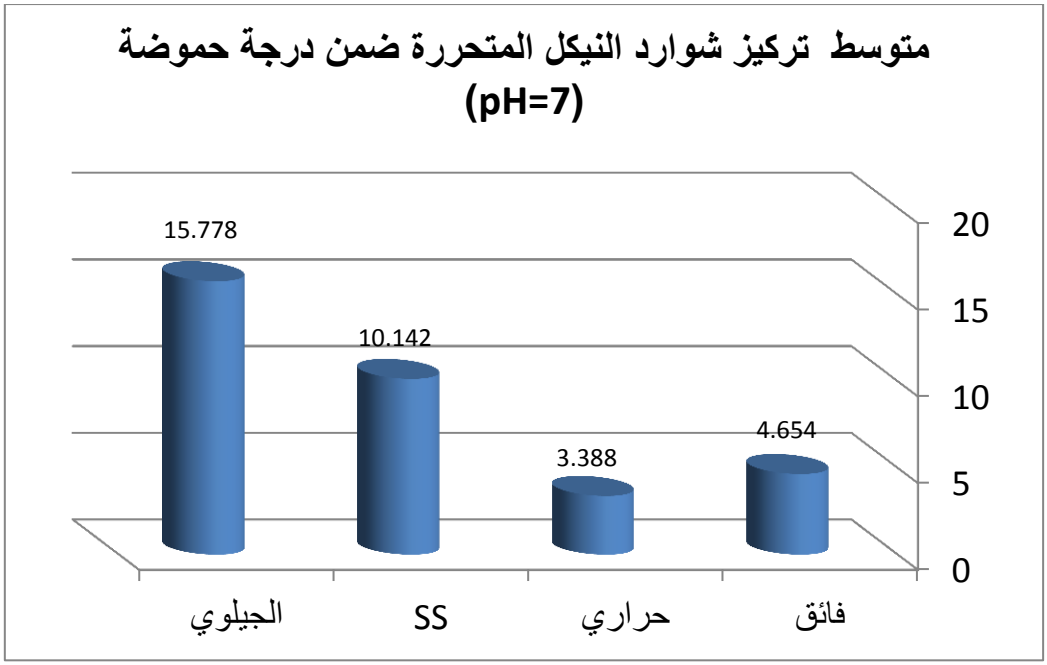
– عند مقارنة قيم تحرر شوارد النيكل عند درجة الحموضة (pH=7) بين نوع أسلاك ال NiTi فائقة المرونة وأسلاك الستانلس ستيل SS تبين أنّها كانت أعلى بشكل جوهري في مجموعة أسلاك الستانلس الستيل منها في مجموعة أسلاك ال NiTi فائقة المرونة و ذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).

– عند مقارنة قيم تحرر شوارد النيكل عند درجة الحموضة (pH=7) بين أسلاك NiTi فائقة المرونة وأسلاك الألجيلوي تبين أنّها كانت أعلى بشكل جوهري في مجموعة أسلاك الألجيلوي منها في مجموعة أسلاك NiTi فائقة المرونة و ذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).

– عند مقارنة قيم تحرر شوارد النيكل عند درجة الحموضة (pH=7) بين أسلاك NiTi المنشطة حرارياً وأسلاك الستانلس ستيل SS تبين أنّها كانت أعلى بشكل جوهري في مجموعة أسلاك الستانلس ستيل منها في مجموعة أسلاك ال NiTi المنشطة حرارياً و ذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).

– عند مقارنة قيم تحرر شوارد النيكل عند درجة الحموضة (pH=7) بين أسلاك ال NiTi المنشطة حرارياً وأسلاك الألجيلوي تبين أنها كانت أعلى بشكل جوهري في مجموعة أسلاك الألجيلوي منها في مجموعة أسلاك ال NiTi المنشطة حرارياً و ذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).

– عند مقارنة قيم تحرر شوارد النيكل عند درجة الحموضة (pH=7) بين أسلاك الستانلس ستيل SS وأسلاك الألجيلوي تبين أنها كانت أعلى بشكل جوهري في مجموعة أسلاك الألجيلوي منها في مجموعة أسلاك الستانلس ستيل و ذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).



الشكل رقم (20): مخطط بياني يمثل تراكيز شوارد النيكل المتحررة ضمن درجة حموضة (pH=7) في جميع أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشط حرارياً – SS – ألجيلوي)

5-4- المقارنة بين أنواع الأسلاك من حيث تحرر شوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=5):

يبين الجدول رقم (7) الإحصاءات الوصفية لقيم تحرر شوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=5) في جميع أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حرارياً – SS – ألجيلوي) حيث تمّ حساب قيمة المتوسط الحسابي و الانحراف المعياري لكافة أنواع الأسلاك المدروسة وذلك بالنسبة لقيم تحرر شوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=5).

الجدول رقم (7) الإحصاءات الوصفية لقيم تحرر شوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=5) في جميع أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حرارياً – SS – ألجيلوي)

الإحصاءات الوصفية لقيم تحرر شوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=5)			
نوع الشوارد		شوارد الكروم	
درجة الحموضة		pH=5	
نوع الأسلاك	NiTi فائقة المرونة	المتوسط الحسابي	0,00
		الانحراف المعياري	0,00
	NiTi منشطة حرارياً	المتوسط الحسابي	0,00
		الانحراف المعياري	0,00
	SS	المتوسط الحسابي	12,07
		الانحراف المعياري	0,25
	ألجيلوي	المتوسط الحسابي	15,56
		الانحراف المعياري	0,49

يبين الجدول رقم (8) نتائج استخدام اختبارات Bonferroni Tests على قيم تحرر شوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=5) وذلك عند مقارنة المتوسطات بين أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حرارياً – SS – ألجيلوي) والمطبق عليها اختبار ANOVA.

الجدول رقم (8) نتائج استخدام اختبارات Bonferroni Tests على قيم تحرر شوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=5) وذلك عند مقارنة المتوسطات بين أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حرارياً – SS – ألجيلوي) والمطبق عليها اختبار ANOVA

نوع السلك		الفرق بين المتوسطين	الخطأ المعياري	مستوى الدلالة	فترة الثقة 95%	
					الحد الأدنى	الحد الأعلى
NiTi فائق المرونة	حراري	<0.001	0.176	1.000	−0.373	0.373
	SS	−12.070	0.176	<0.001	−12.443	−11.697
	ألجيلوي	−15.562	0.176	<0.001	−15.935	−15.189
NiTi منشطة حرارياً	فائق	<0.001	0.176	1.000	−0.373	0.373
	SS	−12.070	0.176	<0.001	−12.443	−11.697
	ألجيلوي	−15.562	0.176	<0.001	−15.935	−15.189
SS	فائق	12.070	0.176	<0.001	11.697	12.443
	حراري	12.070	0.176	<0.001	11.697	12.443
	الجيلوي	−3.492	0.176	<0.001	−3.865	−3.119
ألجيلوي	فائق	15.562	0.176	<0.001	15.189	15.935
	حراري	15.562	0.176	<0.001	15.189	15.935
	SS	3.492	0.176	<0.001	3.119	3.865

قيمة المعنوية P–value في الجدول ناتجة عن استخدام اختبارات Bonferroni Tests لقيم تحرر شوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=5) وذلك عند مقارنة المتوسطات بين أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حرارياً – SS – ألجيلوي)

– عند مقارنة قيم تحرر شوارد الكروم عند درجة الحموضة (pH=5) بين نوعي أسلاك الNiTi فائقة المرونة والمنشطة حرارياً تبين عدم وجود فروق معنوية بينهما وذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية (p>0.05).

– عند مقارنة قيم تحرر شوارد الكروم عند درجة الحموضة (pH=5) بين نوع الأسلاك NiTi فائقة المرونة وأسلاك الستانلس ستيل SS تبين أنها كانت أعلى بشكل جوهري في مجموعة

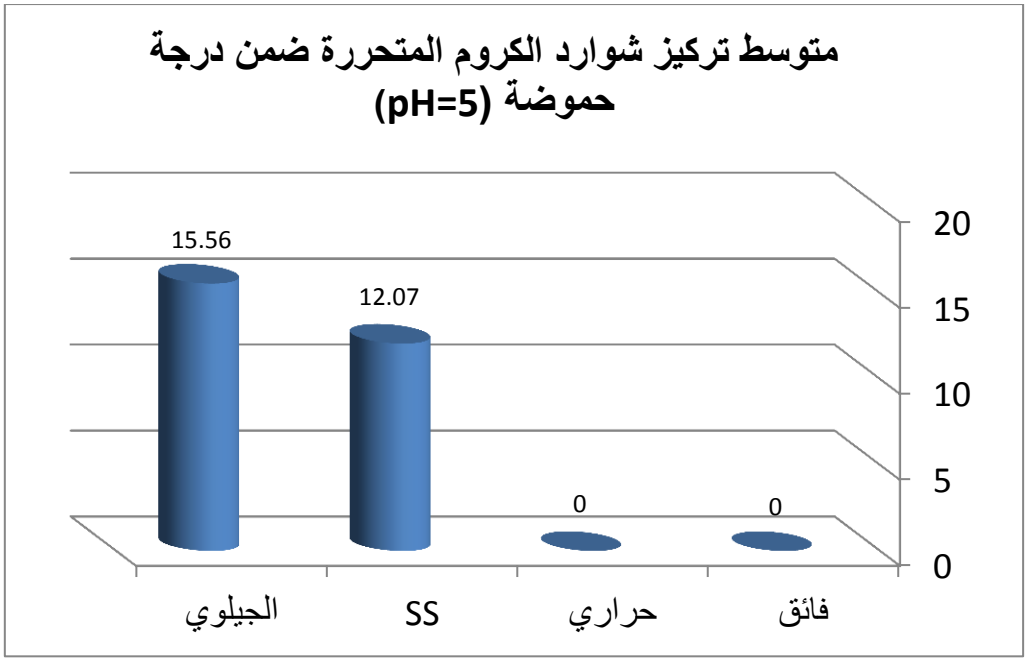
أسلاك الستانلس ستيل منها في مجموعة أسلاك الNiTi فائقة المرونة وذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).

– عند مقارنة قيم تحرر شوارد الكروم عند درجة الحموضة (pH=5) بين نوع الأسلاك NiTi فائقة المرونة وأسلاك الألجيلوي تبين أنها كانت أعلى بشكل جوهري في مجموعة أسلاك الألجيلوي منها في مجموعة أسلاك ال NiTi فائقة المرونة وذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).

– عند مقارنة قيم تحرر شوارد الكروم عند درجة الحموضة (pH=5) بين نوع الأسلاك NiTi المنشطة حرارياً وأسلاك الستانلس ستيل SS أنها كانت أعلى بشكل جوهري في مجموعة أسلاك الستانلس ستيل منها في مجموعة أسلاك الNiTi المنشطة حرارياً وذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).

– عند مقارنة قيم تحرر شوارد الكروم عند درجة الحموضة (pH=5) بين نوع الأسلاك NiTi المنشطة حرارياً و نوع الأسلاك الألجيلوي تبين أنها كانت أعلى بشكل جوهري في مجموعة أسلاك الألجيلوي منها في مجموعة أسلاك الNiTi المنشطة حرارياً وذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).

– عند مقارنة قيم تحرر شوارد الكروم عند درجة الحموضة (pH=5) بين نوع الأسلاك SS و نوع الأسلاك الألجيلوي تبين أنها كانت أعلى بشكل جوهري في مجموعة أسلاك الألجيلوي منها في مجموعة أسلاك الستانلس ستيل وذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).



الشكل رقم (21): مخطط بياني يمثل تراكيز شوارد الكروم المتحررة ضمن درجة حموضة (PH=5) في جميع أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حرارياً – SS – ألجيلوي)

5-5- المقارنة بين أنواع الأسلاك من حيث تحرر شوارد الكروم ضمن درجة حموضة (PH=7):

يبين الجدول رقم (9) الإحصاءات الوصفية لقيم تحرر شوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=7) في جميع أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حرارياً – SS – ألجيلوي) حيث تمّ حساب قيمة المتوسط الحسابي و الانحراف المعياري لكافة أنواع الأسلاك المدروسة وذلك بالنسبة لقيم تحرر شوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=7)

الجدول رقم (9) الإحصاءات الوصفية لقيم تحرر شوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=7) في جميع أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حرارياً – SS – ألجيلوي)

الإحصاءات الوصفية لقيم تحرر شوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=7)			
نوع الشوارد		شوارد الكروم	
درجة الحموضة		pH=7	
نوع الأسلاك	NiTi فائقة المرونة	المتوسط الحسابي	0,00
		الانحراف المعياري	0,00
	NiTi منشطة حرارياً	المتوسط الحسابي	0,00
		الانحراف المعياري	0,00
	SS	المتوسط الحسابي	6,24
		الانحراف المعياري	0,16
	ألجيلوي	المتوسط الحسابي	8,41
		الانحراف المعياري	0,47

يبين الجدول رقم (10) نتائج استخدام اختبارات Bonferroni Tests على قيم تحرر شوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=7) وذلك عند مقارنة المتوسطات بين أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حرارياً – SS – ألجيلوي) والمطبق عليها اختبار ANOVA.

الجدول رقم (10) نتائج استخدام اختبارات Bonferroni Tests على قيم تحرر شوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=7) وذلك عند مقارنة المتوسطات بين أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حرارياً – SS – ألجيلوي) والمطبق عليها اختبار ANOVA

نوع السلك		الفرق بين المتوسطين	الخطأ المعياري	مستوى الدلالة	فترة الثقة 95%	
					الحد الأدنى	الحد الأعلى
NiTi فائقة المرونة	حراري	<0.001	0.160	1.000	−0.340	0.340
	SS	−6.240	0.160	<0.001	−6.580	−5.900
	ألجيلوي	−8.416	0.160	<0.001	−8.756	−8.076
NiTi منشطة حرارياً	فائق	<0.001	0.160	1.000	−0.340	0.340
	SS	−6.240	0.160	<0.001	−6.580	−5.900
	ألجيلوي	−8.416	0.160	<0.001	−8.756	−8.076
SS	فائق	6.240	0.160	<0.001	5.900	6.580
	حراري	6.240	0.160	<0.001	5.900	6.580
	ألجيلوي	−2.176	0.160	<0.001	−2.516	−1.836
ألجيلوي	فائق	8.416	0.160	<0.001	8.076	8.756
	حراري	8.416	0.160	<0.001	8.076	8.756
	SS	2.176	0.160	<0.001	1.836	2.516

قيمة المعنوية P–value في الجدول ناتجة عن استخدام اختبارات Bonferroni Tests لقيم تحرر شوارد الكروم ضمن درجة حموضة (pH=7) وذلك عند مقارنة المتوسطات بين أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حرارياً – SS – ألجيلوي)

– عند مقارنة قيم تحرر شوارد الكروم عند درجة الحموضة (pH=7) بين نوعي أسلاك ال NiTi فائقة المرونة والمنشطة حرارياً تبين عدم وجود فروق معنوية بينهما و ذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية (p>0.05).

– عند مقارنة قيم تحرر شوارد الكروم عند درجة الحموضة (pH=7) بين نوع الأسلاك NiTi فائقة المرونة وأسلاك الستانلس ستيل SS تبين أنّها كانت أعلى بشكل جوهري في مجموعة

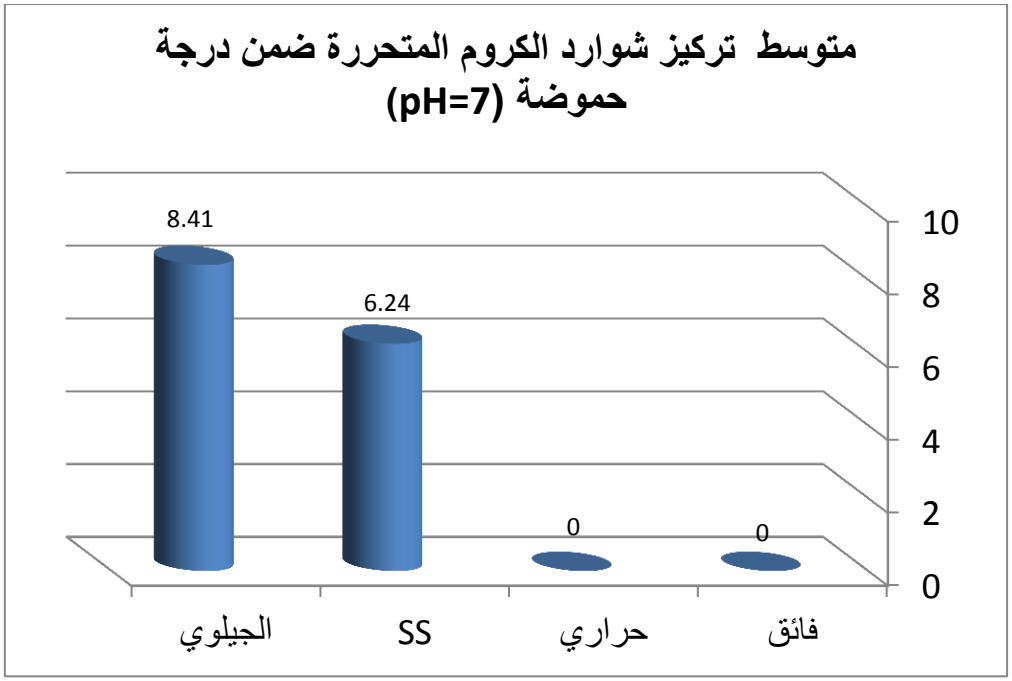
أسلاك الستانلس ستيل منها في مجموعة أسلاك الNiTi فائقة المرونة وذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).

– عند مقارنة قيم تحرر شوارد الكروم عند درجة الحموضة (pH=7) بين نوع الأسلاك NiTi فائقة المرونة و نوع الأسلاك الألجيلوي تبين أنّها كانت أعلى بشكل جوهري في مجموعة أسلاك الألجيلوي منها في مجموعة أسلاك الNiTi فائقة المرونة وذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).

– عند مقارنة قيم تحرر شوارد الكروم عند درجة الحموضة (pH=7) بين نوع الأسلاكNiTi المنشطة حرارياً وأسلاك الستانلس ستيل SS تبين أنّها كانت أعلى بشكل جوهري في مجموعة أسلاك الستانلس ستيل منها في مجموعة أسلاك الNiTi المنشطة حرارياً وذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).

– عند مقارنة قيم تحرر شوارد الكروم عند درجة الحموضة (pH=7) بين نوع الأسلاك NiTi المنشطة حرارياً و نوع الأسلاك الألجيلوي تبين أنّها كانت أعلى بشكل جوهري في مجموعة أسلاك الألجيلوي منها في مجموعة أسلاك الNiTi المنشطة حرارياً وذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).

– عند مقارنة قيم تحرر شوارد الكروم عند درجة الحموضة (pH=7) بين نوع الأسلاك SS و نوع الأسلاك الألجيلوي تبين أنّها أعلى بشكل جوهري في مجموعة أسلاك الألجيلوي منها في مجموعة أسلاك الستانلس ستيل وذلك عند مستوى الاحتمالية ألفا 0.05 حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).



الشكل رقم (22): مخطط بياني يمثل تراكيز شوارد الكروم المتحررة ضمن درجة حموضة (PH=7) في جميع أنواع الأسلاك المدروسة (NiTi فائقة المرونة – NiTi المنشطة حرارياً – SS – ألجيلوي)

5-6- المقارنة بين نوع الشوارد المتحررة من الأسلاك ضمن درجة PH=5:

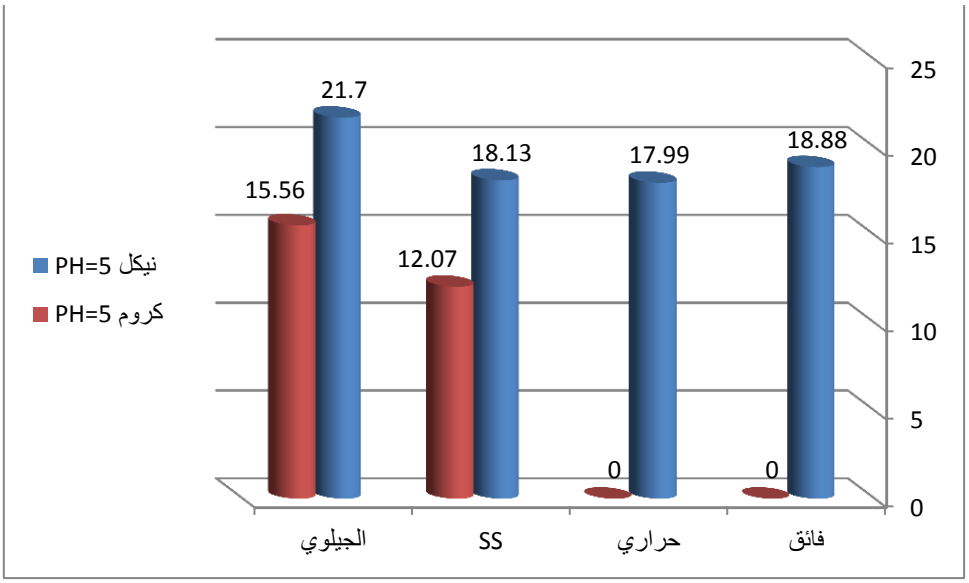
يبين الجدول رقم (11) نتائج اختبار Paired-sample t-test وذلك لحساب قيمة الاحتمالية P-value عند المقارنة بين قيم الشوارد المتحررة من الأسلاك ضمن درجة pH=5 .

الجدول رقم (11) نتائج اختبار Paired-sample t-test وذلك لحساب قيمة الاحتمالية P-value عند المقارنة بين قيم الشوارد المتحررة من الأسلاك ضمن درجة pH=5

pH	نوع الشوارد	نوع الأسلاك			
		NiTi فائقة المرونة	NiTi منشطة حرارياً	SS	ألجيلوي
5	النيكل	18.88	17.99	18.13	21.70
	الكروم	0.00	0.00	12.07	15.56
الفرق بين المتوسطين		18.88	17.99	6.06	6.14
قيمة P-value		<0.001	<0.001	<0.001	0.001

حيث نلاحظ بأنه عند درجة الحموضة 5 كانت قيم شوارد النيكل المتحررة أعلى من قيم شوارد الكروم المتحررة في كل من نوع أسلاك ال NiTi فائقة المرونة و NiTi المنشطة حرارياً و SS والألجيلوي وذلك بفروقات معنوية واضحة حيث كانت قيمة الاحتمالية (p<0.05).

متوسط تركيز شوارد النيكل و الكروم المتحررة من الأسلاك ضمن درجة pH=5



الشكل رقم (23): مخطط بياني يمثل مقارنة بين قيم شوارد النيكل و الكروم المتحررة من الأسلاك ضمن درجة pH=5

5-7- المقارنة بين نوع الشوارد المتحررة من الأسلاك ضمن درجة pH=7:

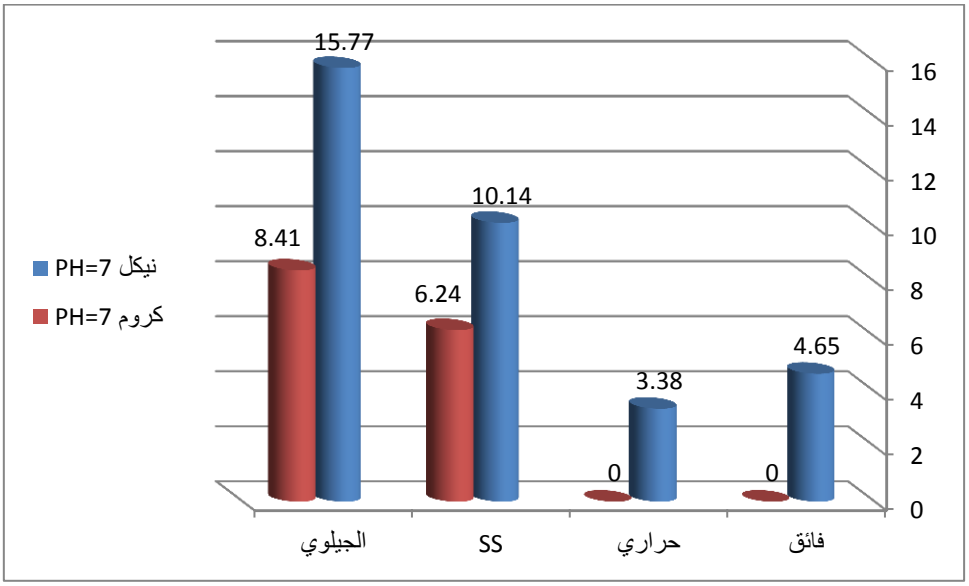
يبين الجدول رقم (12) نتائج اختبار Paired-sample t-test وذلك لحساب قيمة الاحتمالية P-value عند المقارنة بين قيم الشوارد المتحررة من الأسلاك ضمن درجة PH=7

الجدول رقم (12) نتائج اختبار Paired-sample t-test وذلك لحساب قيمة الاحتمالية P-value عند المقارنة بين قيم الشوارد المتحررة من الأسلاك ضمن درجة pH=7

pH	نوع الشوارد	نوع الأسلاك			
		NiTi فائقة المرونة	NiTi منشطة حرارياً	SS	ألجيلوي
7	النيكل	4.65	3.38	10.14	15.77
	الكروم	0.00	0.00	6.24	8.41
الفرق بين المتوسطين		4.65	3.38	3.9	7.36
قيمة P-value		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

حيث نلاحظ بأنه عند درجة الحموضة 7 كانت قيم شوارد النيكل المتحررة أعلى من قيم شوارد الكروم المتحررة في كل من نوع أسلاك ال NiTi فائقة المرونة و NiTi المنشطة حرارياً و SS والألجيلوي وذلك بفروقات معنوية واضحة حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).

متوسط تركيز شوارد النيكل و الكروم المتحررة من الأسلاك ضمن درجة pH=7



الشكل رقم (24): مخطط بياني يمثل مقارنة بين قيم شوارد النيكل و الكروم المتحررة من الأسلاك ضمن درجة pH=7

5-8- المقارنة بين قيم شوارد النيكل المتحررة من الأسلاك ضمن درجتي pH مختلفتين:

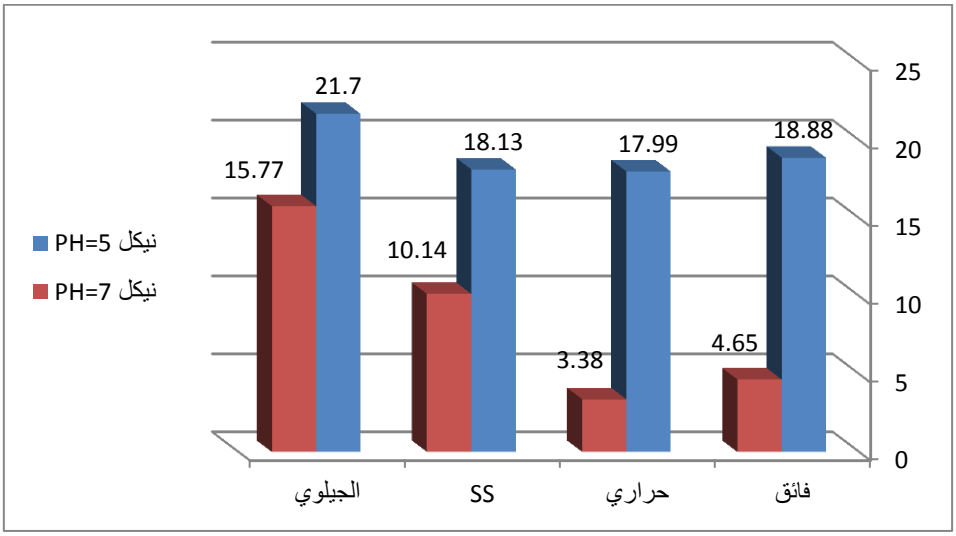
يبين الجدول رقم (13) نتائج اختبار Paired-sample t-test وذلك لحساب قيمة الاحتمالية P-value عند المقارنة بين قيم شوارد النيكل المتحررة من الأسلاك ضمن درجتي pH مختلفتين

الجدول رقم (13) نتائج اختبار Paired-sample t-test وذلك لحساب قيمة الاحتمالية P-value عند المقارنة بين قيم شوارد النيكل المتحررة من الأسلاك ضمن درجتي pH مختلفتين

نوع الشوارد	pH	نوع الأسلاك			
		NiTi فائقة المرونة	NiTi منشطة حرارياً	SS	ألجيلوي
النيكل	5	18.88	17.99	18.13	21.70
	7	4.65	3.38	10.14	15.77
الفرق بين المتوسطين		14.23	14.6	7.98	5.92
قيمة P-value		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

حيث نلاحظ بأن قيم شوارد النيكل المتحررة من الأسلاك عند درجة الحموضة 5 قد كانت أعلى من قيمتها عند درجة الحموضة 7 في جميع أنواع الأسلاك وذلك بفروقات معنوية واضحة حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).

قيم شوارد النيكل المتحررة من الأسلاك ضمن درجتي ال pH



الشكل رقم (25): مخطط بياني يمثل مقارنة بين قيم شوارد النيكل المتحررة من الأسلاك ضمن درجتي pH مختلفتين(5-7)

5-9- المقارنة بين قيم شوارد الكروم المتحررة من الأسلاك ضمن درجتي pH مختلفتين:

يبين الجدول رقم (14) نتائج اختبار Paired-sample t-test وذلك لحساب قيمة الاحتمالية P-value عند المقارنة بين قيم شوارد الكروم المتحررة من الأسلاك ضمن درجتي pH مختلفتين

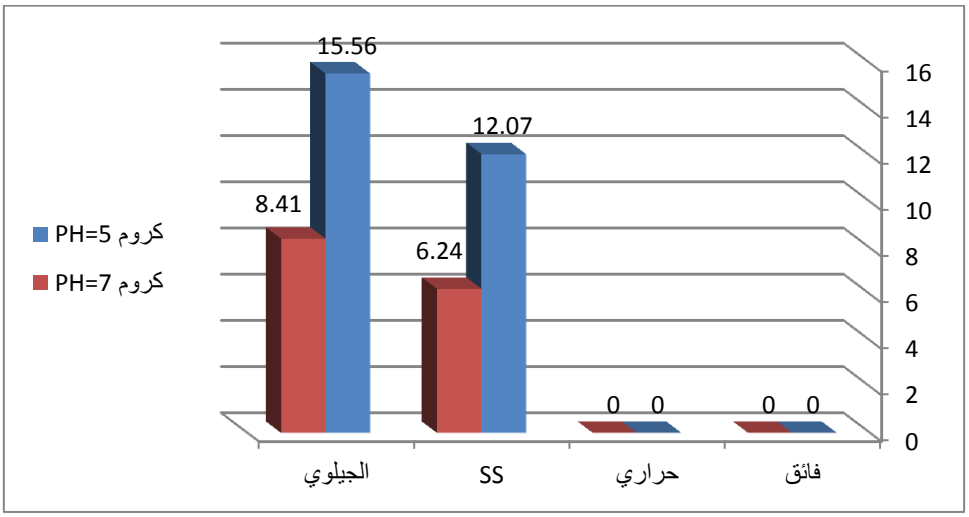
الجدول رقم (14) نتائج اختبار Paired-sample t-test وذلك لحساب قيمة الاحتمالية P-value عند المقارنة بين قيم شوارد الكروم المتحررة من الأسلاك ضمن درجتي pH مختلفتين

نوع الشوارد	pH	نوع الأسلاك			
		NiTi فائقة المرونة	NiTi منشطة حرارياً	SS	الجيلوي
الكروم	5	0.00	0.00	12.07	15.56
	7	0.00	0.00	6.24	8.41
الفرق بين المتوسطين		0.00	0.00	5.83	7.14
قيمة P-value		Ns	Ns	<0.001	<0.001

حيث نلاحظ بأن قيم شوارد الكروم المتحررة من الأسلاك عند درجة الحموضة 5 قد كانت أعلى من قيمتها عند درجة الحموضة 7 في نوع الأسلاك SS ونوع الأسلاك الألجيلوي وذلك بفروقات معنوية واضحة حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$).

بينما كانت قيمها معدومة عند درجة الحموضة 5 ودرجة الحموضة 7 في نوع الأسلاك NiTi فائقة المرونة ونوع الأسلاك المنشطة حرارياً

قيم شوارد الكروم المتحررة من الأسلاك ضمن درجتي pH مختلفتين



الشكل رقم (26): مخطط بياني يمثل مقارنة قيم شوارد الكروم المتحررة من الأسلاك ضمن درجتي pH مختلفتين(5-7)

6

المناقشة

Discussion

تُعَد الأسلاك التقويمية من أهم مكونات الجهاز التقويمي الثابت، وتشكل جزءاً لا يتجزأ منه، فهي المسؤولة عن توليد القوى الضرورية لتحريك الأسنان عند ربطها مع الحاصرات. وقد تعددت الخلائط التي تصنع منها هذه الأسلاك (الذهب، الستانلس ستيل، النايتينول،...)، وقد شهدت صناعة الأسلاك مؤخراً تطورات كبيرة جداً، ورغم هذا لم يتم الوصول إلى السلك التقويمي المثالي، ولهذا كثرت الدراسات المتعلقة بخواص الأسلاك.

يُعَد التقبل الحيوي للأسلاك التقويمية، ومقدار تحرر الشوارد منها من أهم العوامل التي يجب دراستها، حيث تبقى هذه الأسلاك لفترة طويلة نسبياً بتماس مع البيئة الفموية مما يثير التساؤل حول التقبل الحيوي لهذه الخلائط، فرغم كل التقنيات المستخدمة في صناعة الخلائط لم يتم التمكن من الحيلولة دون تآكلها فلم توجد مادة كيميائية خاملة تماماً.

يعتبر تآكل الأسلاك التقويمية عاملاً هاماً جداً، لأنَّ تعرضها للتآكل يؤدي إلى خشونة في سطحها مضعفاً إياها ومحرراً العناصر الكيميائية المكونة لها.

(Jia et al, 1999)

يؤدي تحرّر هذه العناصر الكيميائية إلى زيادة احتمال حدوث تفاعلات غير مستحبة مع الأنسجة الفموية، منها: طعم غير مُستَحب، تخريش، تحسّس، أو أن تدخل هذه العناصر المتحررة عبر جهاز الهضم لتتوضع في بعض الأعضاء مسبّبة سميّة أو تسرطناً.

(Wataha, 2000)

يعتبر كلاً من النيكل والكروم عنصرين غير مستقرين، ولديهما استعداد عالٍ للتحرّر من الخلائط.

(Wataha, 2000)

يدخل هذان العنصران في تركيب الأسلاك التقويمية، ويصنّفان على أنّهما عنصران سامان وقادران على إحداث تأثيرات سميّة وبتراكيز منخفضة جداً، حيث صُنّف النيكل أنّه المسبّب الأول للحساسية عند مرضى الأجهزة التقويمية الثابتة، بينما احتلّ الكروم المرتبة الثانية، ممّا جعل دراسة تحررها من الخلائط السنيّة أمراً بالغ الأهمية من وجهة نظر التقبل الحيوي.

لهذا تمّ في هذا البحث دراسة تحرر كلٍ من شوارد النيكل والكروم من الخلائط المختلفة للأسلاك التقويمية، وتقييم أهمية كلٍ من تغير درجة حموضة اللعاب الاصطناعي وتركيب الخليطة على تحرر هذه الشوارد من الأسلاك التقويمية.

على الرغم من أنّ قياس تحرر الشوارد في الدراسة الحالية وبعض الدراسات الأخرى (Kerosuo et al, 1995)، (kuhta et al, 2009) لم تطابق الوسط السريري تماماً، لكنها مفيدة في تقييم تأثير كل متغير على تحرر هذه الشوارد على حدة وبدون تأثير العوامل الخارجية.

كانت الأسلاك التقويمية المستخدمة في هذا البحث كلها بقياس 0.016 ×0.022 إنش وبكامل طولها، وجميعها من إنتاج شركة American Orthodontics، وتمّ اعتماد لعاب Fusayama (وذلك أسوةً بعدة أبحاث مشابهة في هذا المجال) لنتمكن من المقارنة الاحقة.

(غزال& الصباغ، 2014) (Arndt et al, 2005) Huang, 2005)

قُسِّمت الأسلاك إلى مجموعتين تحوي كل مجموعة منها أربعة أنواع من الخلائط المستخدمة في صناعة الأسلاك التقويمية مقسّمة كما يلي :

1- 10أسلاك NiTi فائق المرونة.

2- 10أسلاك NiTi منشطة حرارياً .

3- 10أسلاك فولاذ غير قابل للصدأ.

4- 10أسلاك كروم- نيكل- كوبالت.

وتمّت الدراسة ضمن درجتي pH مختلفتين (5-7).

استخدمت أطباق بلاستيكية معقمة لحفظ الأسلاك وختمت هذه الأطباق بشكل جيد باستخدام PARAFILM لمنع حدوث التبخر.

حفظت الأطباق ضمن الحاضنة وبدرجة حرارة 37 درجة مئوية.

تمَّ قياس تركيز شوارد النيكل والكروم المتحررة من الأنواع المختلفة للأسلاك التقويمية ضمن اللعاب الاصطناعي وذلك باستخدام جهاز الامتصاص الذري وذلك بعد مضي 30 يوماً من غمرها ضمن اللعاب الاصطناعي.

يعتبر جهاز الامتصاص الذري الذي استخدم في هذه الدراسة من الأجهزة ذات الدقة والموثوقية العالية التي تدرس تركيز الشوارد في المحاليل المختلفة، وذلك بالاعتماد على امتصاصية العينة المدروسة للضوء ذي طول الموجة الخاص بالعنصر المدروس.

(رمضان، 1981)

وكانت النتائج كما يلي:

6-1- المقارنة بين أنواع الأسلاك من حيث تحرر شوارد النيكل:

أ- ضمن درجة حموضة (pH=5):

- كانت قيم شوارد النيكل المتحررة ضمن درجة حموضة pH=5 متقاربة بين الأنواع المختلفة من الأسلاك التقويمية المدروسة.

- حررت أسلاك النيكل- كروم- كوبالت (Eljiloy) أكبر كمية من شوارد النيكل بالمقارنة مع الأنواع الأخرى من الأسلاك التقويمية المدروسة وبفوارق جوهرية واضحة، حيث كان تركيز شوارد النيكل المتحررة منها مساوياً 21,7 ppb.

- بينما كان تركيز شوارد النيكل المتحررة من أسلاك الستانلس ستيل مساوياً 18,13 ppb ، ويحدث تآكل الفولاذ غير القابل للصدأ بشكل أساسي نتيجة تحطم طبقة أكسيد الكروم المتشكلة على سطحه. (Gopikrishnan et al, 2015)

- كما تحرر النيكل من خليطة النيكل تيتانيوم بنوعيها فائقة المرونة والمنشطة حرارياً باعتبارهما خلائط غير خاملة كيميائياً تفاعلت مع الوسط المحيط (محلولFusayama)، ما أدى إلى تخرب جزئي في طبقة أكسيد التيتانيوم الموجودة على سطح الخليطة والتي تحميها من التآكل.

ويبدو أنّ وجود فائض Ni (غير مرتبط ب Ti) على سطوح أسلاك NiTi يزيد من احتمال تحرره ضمن الوسط المحيط. (Arndt et al, 2005).

في الدراسة الحالية حررت أسلاك النيكل تيتانيوم فائقة المرونة كمية أكبر من شوارد النيكل بالمقارنة مع أسلاك النيكل تيتانيوم المنشطة حرارياً ضمن pH=5 وبفارق جوهري واضح (p=0,043)، وذلك يمكن تفسيره بأنّ أسلاك NiTi فائق المرونة ذات سطح أنعم (أقل تضاريس بالمقارنة مع المنشطة حرارياً)، وبالتالي تمتلك طبقة أقل من أكسيد التيتانيوم وذلك باعتبار مساحة سطحها المعرض للتفاعلات المختلفة أقل ما جعلها أقل مقاومة من المنشطة حرارياً. (غزال& الصباغ، 2014)

- لم توجد فروق جوهرية بين أسلاك الفولاذ غير القابل للصدأ وأسلاك النيكل تيتانيوم المنشطة حرارياً حيث كانت (p=o,736).

ب- ضمن درجة حموضة (pH=7):

- وجدت الدراسة الحالية فروقاً جوهرية واضحة بين الأنواع المختلفة من الأسلاك المدروسة

- حررت أسلاك النيكل- كروم- كوبالت أكبر كمية من شوارد النيكل عند مقارنتها مع الأنواع

الأخرى من الأسلاك المدروسة، وقد جاءت أسلاك الفولاذ اللاصدئ في المرتبة الثانية.

- بينما حررت أسلاك النيكل تيتانيوم أقل كمية من شوارد النيكل رغم محتوى الخليطة العالي من النيكل 55% ، وهذا يمكن تفسيره باحتواء الخليطة نسبة عالية من التيتانيوم 45% وهو شديد المقاومة للتآكل، كما أنّ ارتباطه مع النيكل يعطي الخليطة مقاومة للتآكل

(Matos & Macedo, 2008)

- حررت أسلاك النيكل تيتانيوم الفائقة المرونة كمية أكبر من شوارد النيكل بالمقارنة مع المنشطة حرارياً وبفوارق جوهرية واضحة $p<0.001$

- نجد أنّ كمية الشوارد المعدنية المتحررة لا تعتمد بالضرورة على محتوى الخليطة من العنصر (المعدن)، فعلى الرغم من أنّ أسلاك النيكل تيتانيوم تحوي نسبة عالية من النيكل فإنّ كمية شوارد النيكل المتحررة منها كانت أقل من الفولاذ اللاصدئ، وهذا يمكن شرحه بظاهرة الذوبان الانتقائية (selective melting phenomenon)، وبتشكل طبقة أكسيد التيتانيوم المقاومة للتآكل جداً وبهذا نتفق مع (Kuhta et al, 2009).
- توافقت نتائج الدراسة الحالية مع دراسة (Karnam et al, 2012) الذي وجد أيضاً تحرر أكبر نسبة من شوارد النيكل من أسلاك الألجيلوي بالمقارنة مع أسلاك الفولاذ اللاصدئ وأسلاك النيكل تيتانيوم، لكن اختلفت هذه الدراسة من حيث أنّه لم يجد فروقاً جوهرية واضحة في نسب تحرر النيكل بين المجموعات المدروسة بينما كانت الفروق واضحة في هذه الدراسة، كما كانت نسبة الشوارد المتحررة من أسلاك النيكل تيتانيوم أكبر من أسلاك الفولاذ اللاصدئ، وهنا يجب أن نذكر أنّه استخدم لعاب اصطناعي مختلف عن المستخدم في الدراسة الحالية وكانت الأسلاك التي درسها من إنتاج شركة 3M Unitek (Monrovia,California).

- اتفقت هذه الدراسة مع نتائج (Gopikrishnan et al, 2015) الذي وجد تحرر أكبر لشوارد النيكل من أسلاك الفولاذ اللاصدئ عند مقارنته مع أسلاك النيكل تيتانيوم.
- اتفقت هذه الدراسة مع دراسة (غزال & الصباغ، 2014) الذي وجد أنَّ أسلاك النيكل تيتانيوم فائقة المرونة حررت كمية أكبر من النيكل من أسلاك النيكل تيتانيوم المنشطة حرارياً بعد غمرها باللعاب الاصطناعي، لكن اختلفت هذه الدراسة معه بوجود فروق جوهرية بين النوعين في الدراسة الحالية بينما لم تكن كذلك في دراسته، لكن تمت دراسته ضمن درجة حموضة مختلفة pH=2 وعلى 20ملم من طول السلك .

- اتفقت هذه الدراسة مع (kuhta et al, 2009) الذي وجد فروقاً جوهرية واضحة في تحرر شوارد النيكل من أسلاك النيكل تيتانيوم فائقة المرونة والمنشطة حرارياً.

6-2-المقارنة بين أنواع الأسلاك من حيث تحرر شوارد الكروم:

- أبدت أسلاك الألجيلوي أكبر تحرر لشوارد الكروم وذلك ضمن درجتي الحموضة المختلفتين (5-7)، وذلك بفوارق جوهرية واضحة بالمقارنة مع بقية الأنواع الأخرى من الأسلاك المدروسة.
- حررت أسلاك الستانلس ستيل 6,24 ppb من شوارد الكروم ضمنpH=7 ، بينما حررت 12,57 ppb ضمن pH=5.
- لم تبد أسلاك النيكل تيتانيوم بنوعيها فائقة المرونة والمنشطة حرارياً أي تحرير لشوارد الكروم وذلك ضمن درجتي الحموضة المختلفتين (5-7).

اتفقت نتائج هذه الدراسة مع دراسة (Chia et al, 2007) الذي وجد عدم تحرر لشوارد الكروم من أسلاك النيكل تيتانيوم بعد غمرها ضمن اللعاب الاصطناعي وضمن درجتي حموضة مختلفتين (4-6,75)، أيضاً نتفق مع (Gopikrishnan et al, 2015) الذي توصل إلى نفس النتيجة .

اختلفت نتائج هذه الدراسة مع دراسة (Karnam, et al 2012) الذي وجد تحرر لشوارد الكروم من أسلاك النيكل تيتانيوم لكن كانت النسبة قليلة جداً (غير ملحوظة)، يمكن أن يعود سبب الاختلاف إلى اختلاف اللعاب الاصطناعي المستخدم واختلاف الشركة المصنعة للأسلاك.

6-3- تأثير اختلاف pH اللعاب الاصطناعي على تحرر الشوارد من الأسلاك التقويمية:

- حررت أسلاك النيكل تيتانيوم فائقة المرونة 4,65 ppb من شوارد النيكل، و0 ppb من شوارد الكروم ضمن درجة pH=7، بينما حررت 18,88 ppb من شوارد النيكل، و 0 ppb من شوارد الكروم ضمن درجة pH=5 .

- حررت أسلاك النيكل تيتانيوم المنشطة حرارياً 3,38 ppb من شوارد النيكل، و0 ppb من شوارد الكروم ضمن درجة pH=7 ، بينما حررت 17,99 ppb من شوارد النيكل، و 0 ppb من شوارد الكروم ضمن درجة pH=5 .
- حررت أسلاك الفولاذ غير القابل للصدأ (SS) 10,14 ppb من شوارد النيكل، و6,24 ppb من شوارد الكروم ضمن درجة pH=7، بينما حررت 18,13 ppb من شوارد النيكل و 12,7 ppb من شوارد الكروم ضمن درجة pH=5 .
- حررت أسلاك النيكل- كروم- كوبالت 15,77 ppb من شوارد النيكل، و8.41 ppb من شوارد الكروم ضمن درجة pH=7، بينما حررت 21,7 ppb من شوارد النيكل، و15,56 من شوارد الكروم ضمن درجة pH=5 .

وجدت الدراسة أنّ تغيير قيمة pH اللعاب الاصطناعي أثّر بشكل واضح على تحرر كلٍ من شوارد النيكل والكروم، حيث أدى انخفاض قيمة pH اللعاب الاصطناعي إلى زيادة تحرر نوعي الشوارد من الأنواع المختلفة من الأسلاك التقويمية باستثناء تحرر شوارد الكروم من أسلاك النيكل تيتانيوم بنوعيها والذي بقي معدوماً في درجتي الحموضة المختلفتين.

هذا ويمكن أن يُفَسَر ازدياد تحرر الشوارد بحدوث قيم تآكل أعلى في درجة الحموضة المرتفعة وخصوصاً على سطح الخليطة، حيث يتم تحريض الكترونات المدار الخارجي من ذرات النيكل والكروم الموجودة على السطح ممّا أسهم في تفكك جزء من طبقة الأوكسيد السطحية وتحرر الشوارد.

كانت أسلاك النيكل تيتانيوم المنشطة حرارياً أكثر الأسلاك تأثراً بزيادة تحرر شوارد النيكل عند ازدياد درجة حموضة اللعاب الاصطناعي، حيث ازدادت نسبة تحرر شوارد النيكل حوالي خمسة أضعاف، بينما كانت أسلاك الفولاذ اللاصدئ الأكثر تأثراً من حيث زيادة تحرر شوارد الكروم حيث ازدادت النسبة ما يقارب 2,5مرة.

تأثر تحرر شوارد النيكل بشكل أكبر من شوارد الكروم بازدياد درجة الحموضة ضمن أسلاك النيكل تيتانيوم بنوعيها فائقة المرونة والمنشطة حرارياً، في حين كان تأثر الكروم أكبر في أسلاك الفولاذ اللاصدئ والألجيلوي.

اتفقت هذه الدراسة مع دراسة (Huang et al, 2004) الذي وجد أنّ درجة الحموضة المرتفعة تعزز بقوة تحرر الشوارد المعدنية من الأقواس التقويمية.

أيضا نفس النتيجة توصل إليها (Chia et al, 2007) حيث وجد ازدياد تحرر الشوارد من الأسلاك التقويمية عند ارتفاع درجة الحموضة.

6-4- المقارنة بين نوع الشوارد المتحررة من الأسلاك:

وجدت الدراسة تحرراً أكبر لشوارد النيكل بالمقارنة مع شوارد الكروم وذلك ضمن الأنواع المختلفة من الأسلاك التقويمية المدروسة (نيكل تيتانيوم فائق المرونة- نيكل تيتانيوم المنشطة حرارياً- الفولاذ اللاصدئ- الألجيلوي) وكانت النتيجة نفسها ضمن درجتي الحموضة المختلفتين (5-7)

تتفق هذه النتائج مع (Kerosuo et al, 1995) الذي وجد تحرراً أكبر لشوارد النيكل من الأجهزة التقويمية الثابتة بالمقارنة مع بقية الشوارد وذلك بعد غمرها في محلول 0.9% كلوريد الصوديوم، كما اتفقت النتائج مع في دراسة (Kuhta et al, 2009).

اختلفت نتائج الدراسة الحالية مع (Souni et al, 2003) الذي وجد تحرراً أكبر لشوارد الكروم من أسلاك الكروم- كوبالت الأزرق بالمقارنة مع النيكل، لكن دراسته تمت ضمن محلول رينغر وكانت الأسلاك من إنتاج شركة (Ormco, Glendora, CA, USA).

6-5- تقييم التقبل الحيوي للأنواع المختلفة من الأسلاك التقويمية:

كانت تراكيز كل من شوارد النيكل والكروم المتحررة من الأنواع المختلفة من الأسلاك التقويمية المدروسة والمسجلة في الدراسة الحالية أقل من الحدود السمية لعنصر النيكل (الاستهلاك اليومي من النيكل يجب ألا يتجاوز 300ميكروغرام) (Barrett et al, 1993)، وعنصر الكروم (متوسط المدخول الغذائي للكروم280 ميكروغرام/يوم) (Barrett et al, 1993)، وضمن الحدود التي لا تدعو للقلق من ناحية التقبل الحيوي والمسموح بها عالمياً، على كل حال فإنّ هذه الكمية الصغيرة من الشوارد المعدنية المتحررة قادرة على أن تسبب ردود فعل تحسسية خصوصاً لأن الأجهزة التقويمية الثابتة تبقى فترة طويلة.

وهو ما اتفقنا به مع العديد من الدراسات السابقة:

(غزال & الصباغ، 2014) (Suarez, 2010)

7

الاستنتاجات

Conclusions

1- يتأثر تحرر شوارد النيكل والكروم من الأسلاك التقويمية بتركيب الخليطة لكن ليس بالضرورة على نسبة محتوى هذه الخليطة من العنصر.

2- يزداد تحرر كلٍ من شوارد النيكل والكروم من الأنواع المدروسة من الأسلاك التقويمية (نيكل تيتانيوم فائقة المرونة، نيكل تيتانيوم منشطة حرارياً، الفولاذ اللاصدئ، نيكل- كروم- كوبالت)عند انخفاض درجة pH اللعاب الاصطناعي.

3- تحرر أسلاك النيكل- كروم- كوبالت أكبر كمية من شوارد النيكل والكروم بالمقارنة مع الأنواع الأخرى من الأسلاك المدروسة وبفوارق جوهرية .

4- يتحرر النيكل بمستويات أعلى من الكروم ضمن الأنواع الأربعة من الأسلاك التقويمية وفي درجتي الحموضة المختلفتين.

5- بعد شهر من الغمر في اللعاب الاصطناعي يكون تحرر كلٍ من شوارد النيكل والكروم أقل من المستويات السمية وضمن حدود التقبل الحيوي.

8

التوصيات والمقترحات

Recommendations & Suggestions

التوصيات :

1- نوصي باستخدام أسلاك النيكل تيتانيوم المنشطة حرارياً عند المرضى الذين لديهم حساسية تجاه شوارد النيكل والكروم نظراً لتقبلها الحيوي العالي وتحريرها كمية قليلة من الشوارد بالمقارنة مع الأنواع الأخرى من الأسلاك المدروسة.

2- نوصي بالابتعاد عن المأكولات والمشروبات الحامضية قدر الإمكان خلال المعالجة التقويمية نظراً لازدياد مقدار تحرر شوارد النيكل والكروم عند ازدياد درجة الحموضة.

المقترحات:

1- إجراء المزيد من الدراسات لبيان تأثير البيئة الفموية وتطبيق القوى التقويمية المختلفة على تحرر شوارد النيكل والكروم من الأسلاك التقويمية.

2- إجراء المزيد من الدراسات لتحري الأثر الخلوي السمي للشوارد المعدنية المختلفة المتحررة من الأسلاك التقويمية.

3- إجراء المزيد من الدراسات لتحري أثر تحرر الشوارد المعدنية من الأسلاك التقويمية على أعضاء الجسم المختلفة.

4- إجراء المزيد من الدراسات لتقييم أثر تحرر الشوارد المعدنية من الأسلاك التقويمية على خواصها الميكانيكية.

9

الملخص

Abstract

تقييم تحرر شوارد النيكل والكروم من الأسلاك التقويمية المصنوعة من النيكل تيتانيوم والكروم كوبالت والفولاذ غير القابل للصدأ (دراسة مخبرية)

الهدف:

مقارنة تراكيز شوارد النيكل والكروم المتحررة من أربع أنواع من الأسلاك التقويمية (نيكل تيتانيوم فائقة المرونة، نيكل تيتانيوم منشطة حرارياً، الفولاذ غير القابل للصدأ، نيكل- كروم- كوبالت)، وتقييم تأثير درجة الحموضة على تحرر هذه الشوارد.

المواد والطرق:

تألفت عينة البحث من 80 سلكاً تقويمياً قُسِّمت إلى مجموعتين متساويتين (تألفت كل مجموعة من10 أسلاك نيكل تيتانيوم فائقة المرونة، 10 أسلاك نيكل تيتانيوم منشطة حرارياً، 10أسلاك فولاذ غير قابل للصدأ، 10أسلاك نيكل- كروم- كوبالت)، غمرت أسلاك المجموعة الأولى ضمن اللعاب الاصطناعي ذو درجة حموضة pH=7، بينما غمرت أسلاك المجموعة الثانية ضمن درجة حموضة pH=5.

تمّ قياس تراكيز شوارد النيكل والكروم المتحررة ضمن اللعاب الاصطناعي بعد شهر من غمرها بواسطة جهاز الامتصاص الذري بتقنية الفرن الغرافيتي AAS.

النتائج:

أظهرت نتائج هذه الدراسة وجود فروق جوهرية بين تراكيز شوارد النيكل وتراكيز شوارد الكروم بين الأنواع الأربعة المدروسة من الأسلاك وذلك ضمن درجتي الحموضة حيث كانت قيمة الاحتمالية ($p<0.05$)، وتحررت أكبر كمية من شوارد النيكل والكروم من أسلاك النيكل- كروم- كوبالت، كما وجدت الدراسة أنّ لتغير درجة الحموضة تأثير قوي على تحرر هذه الشوارد من الأسلاك.

الاستنتاجات:

أكدت هذه الدراسة أنّ تحرر شوارد النيكل والكروم من الأسلاك التقويمية يتأثر بتركيب السلك، لكن ليس بالضرورة على نسبة محتوى السلك من العنصر.

كانت تراكيز النيكل والكروم المتحررة من الأسلاك التقويمية أقل من الحدود السمية لهذه العناصر، وقد أدى انخفاض درجة ال pH إلى ازدياد في تحرر شوارد النيكل والكروم من الأسلاك.

الكلمات المفتاحية:

النيكل، الكروم، درجة الحموضة، الأسلاك التقويمية

Assessment of Nickel and Chromium Ions Release from Nickel-Titanium, Chrom-Cobalt and Stainless Steel Orthodontic Wires (an In Vitro Study)

Aim:

The objective of this study was to compare concentration of nickel and chromium ions released from four different orthodontic wires (superelastic nickel-titanium, heat-activated nickel-titanium, stainless steel, nickel-chrom-cobalt) and evaluation of the effect of PH value on the release of these ions.

Materials and Methods:

The study sample consisted of 80 orthodontic wires divided into two equal groups(each group consisted of 10 superelastic nickel-titanium wires, 10 heat-activated nickel-titanium wires, 10 stainless steel, nickel-chrom-cobalt wires),the first group wires were immersed in artificial saliva at pH=7, while second group wires immersed at pH=5.

Concentrations of nickel and chromium ions release in artificial saliva were measured after 1 month in using a graphite furnace absorption spectrophotometer(AAS).

Results:

The results of this study showed significant differences in nickel and chromium ions concentrations between the four studied types of wires in two different pH ($p<0.05$). The largest quantity of nickel and chromium ions was released from nickel-chrom-cobalt wires and the study found that the change in PH had a strong effect on the release of these ions from wires.

Conclusion:

The study confirmed that release of ions from orthodontic wires was dependent on wire composition, but it was not proportional to the content of metal in the wire.

concentrations of nickel and chromium released from the orthodontic wires were far below the toxic dose to human, and the low PH resulted in an increase in the release of nickel and chromium ions from wires.

KEY WORDS:

Nickel, Chromium, PH value, orthodontic wires

10

المراجع

References

References:

A

- Agaoglu G, Arun T, Izgu B, et al. Nickel and Chromium levels in the saliva and serum of patients with fixed orthodontic appliances. Angle Orthod. 2001; 71: 375- 379.
- Amini F, Rakhshan V, Mesgarzadeh N. Effects of long- term fixed orthodontic treatment on salivary nickel and chromium levels: a 1-year prospective cohort study. Department of Orthodontics, Dental Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. 2012.
- Andreasen G F, Hilleman T B. An evaluation of 55 cobalt substituted Nitinol wire for use in orthodontics. Journal of the American Dental Association.1971, 82 :1373-1375.
- Anderson RA. Essential and Toxic Trace Elements in Human Health and Disease. New York, NY: Alan R. Liss: 1986;190–197.
- Arndt M, Brück A, Scully T, Jäger A, Bourauel C. Nickel ion release from orthodontic NiTi wires under simulation of realistic in-situ conditions. Journal of Materials Science, Volume 40, Number 14, July 2005, pp.3659-3667(9).

B

- Baboian R. Galvanic Corrosion, Corrosion: Fundamentals, Testing and Protection. Vol 13A, ASM Handbook, ASM International, 2003;p 210-213.
- Barcelos AM, Luan AS, Ferreira NA, Brage AVC, Lago DCP, Senna LF. Corrosion evaluation of orthodontic wires in artificial saliva solutions by using response surface methodology. Mater Res 2013:16:50-64.
- Barrett RD, Bishara SE, Quinn JK. Biodegradation of orthodontic appliances: part 1.Biodegradation of nickel &chromium in vitro. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1993;103:8-14.
- Bayramoglu G, Alemdaroglu T, Kedicis, Aksut AA. The effect of pH on the corrosion of dental metal alloys. J Oral Rehabil. 2000:27:563-75.

- Bishara SE, Barrett RD, Selim MI. Biodegradation of orthodontic appliances. Part II. Changes in the blood level of nickel. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1993;103:115–119.
- Brantley WA. Orthodontic wires. In: Brantley WA, Eliades T, eds. Orthodontic Materials: Scientific and Clinical Aspect. Stuttgart, Germany: Thieme;2000:78-100.
- Burstone CJ. Variable modulus orthodontics. Am J Orthod. 1981;80:1.

C

- Carnes M et al. (2009). "A Stable Tetraalkyl Complex of Nickel(IV)". AngewandteChemie International Edition 48: 3384. doi:10.1002/anie.200804435
- Chen HR. Shape Memory Alloys: Manufacture, Properties and Applications, Nova Science Puplishers Inc. 2010, ISBN 978-1-60741-789-7.
- Chia-Tze Kao, Shinn-Jyh Ding, Hong He, Ming Yung Chou, and Tsui-Hsien Huang (2007). Cytotoxicity of Orthodontic Wire Corroded in Fluoride Solution In Vitro. The Angle Orthodontist. March 2007, Vol. 77, No. 2, pp. 349-354.
- Clauda G, Matasa. Biomaterials in Orthodontics. In: Graber TM, Vanarsdall RL. Orthodontics: Current Principles and Techniques. St. Louis, Missouri; 2000:305-339.
- Conti Mc, Karl A, Wismayer Ps, Buhagiar J. Biocompatibility and characterization of akolsterised medical grade cobalt-chromium-motybdenuma Alloy. Biomatter.2014 Jan 17:4(1).Pii:e27713.
- Cook SD, Renz EA, Barrack RL, Thomas KA, Harding AF, Haddad RJ, Milicic M. Clinical and metallurgical analysis of retrieved internal fixation devices. Clin Orthop. 1985;194:236-247.
- Covino BS, Cramer SD. Introduction to forms of corrosion, Corrosion: Fundamentals, Testing and Protection. Vol 13A, ASM Handbook, ASM International, 2003;p 189.

E

- Eliades T, Eliades G, Athanasiou AE, Bradly TG. Surface characterization of retrieved NiTi orthodontic archwires. Eur J Orthod. 2000 Jun;22(3)317-26.
- Eliades T, Athanasiou AE. In vivo aging of orthodontic alloys: implications for corrosion potential, nickel release, and biocompatibility. Angle Orthod. 2002 Jun;72(3):222-37.
- Eliades T. Orthodontic materials research and applications: Part2. Current status and projected future developments in materials and biocompatibility. Am J Orthod Dentofac Orthop. 2007;131:253-64.
- Eliades G, Brantley WA. Instrumental techniques for study of orthodontic materials. In: Brantley WA, Eliades T, eds. Orthodontic materials: Scientific and Clinical Aspect. Stuttgart: Thieme;2001:50-74.

F

- Faccioni F, Franceschetti P, Cerpelloni M, Fracasso ME. In vivo study on metal release from fixed orthodontic appliances and DNA damage in oral mucosa cells. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2003 Dec;124(6):687-93; discussion 693-4.
- 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.
- Fawcett, Eric, 1988. Spin- density- wave antiferromagnetism in chromium. Reviews of Modern Physics 60:209.

G

- Geis-Gerstorfer JF, Suaer KH, Passlerk. Ion release for Ni-Cr-Mo and Co-Cr-Mo casting alloys. Int J Prosthodont. 1991:4:152-158.
- Gjerdet NR, Herø H. Metal release from heat-treated orthodontic archwires. Acta Odontol Scand. 1987;45(6):409–14.

- Gopikrishnan S, Melath A, Ajith W, Mathews NB. A Comparative Study of Bio Degradation of Various Orthodontic Arch Wires: An In Vitro Study. J Int Oral Health.2015 Jan;79(1):12-7.
- Grimsdottir MR, Gjerdet NR, Hensten-Pettersen A. Composition and in vitro corrosion of orthodontic appliances. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1992;101(6):525–32.
- Gursoy et al. The role of nickel accumulation and epithelial cell proliferation in orthodontic treatment-induced gingival overgrowth. Eur J Orthod. 2007;29:555-558.

H

- Huang TH, Ding SJ, Min Y, Kao CT. Metal ion release from new and recycled stainless steel brackets. Eur J Orthod. 2004;26:171–177.
- Huang HH. Variation in corrosion resistance of nickel-titanium wires from different manufacturers. Angle Orthod. 2005 Jul;75(4)661-665.
- Hazza Al-Hazza. Theoreticl Basis and Laboratory Procedures Of Physiological Measurements (Part1)2009.

I

- Iijima M, Endo K, Ohno H, Yonekura Y, Mizoguchi I. Corrosion behavior and surface structure of orthodontic Ni-Ti alloy wires. Dent Mater J. 2001 Mar;20(1):103-113.
- Iijima M, Ohta M, Brantley WA, Naganishi A, Murakami T, Muguruma T, Mizoguchi I. Transformation behavior of nickel- titanium orthodontic wires under tensile load. Dent Mater J. 2O11;30(3):398-403. Epub 2011 May 20.

J

- Jackson IT, Adham MN. Metallic plate stabilisation of bone grafts in craniofacial surgery. Br J Plast Surg. 1986;39:341-344.
- Jacobs JJ, Gillbert GL, Urbani RM. Corrosion of Metal Orthopaedic Implants. J Bone Joint Surg. 1988;80:1-2.

- Jia W, Beatty MW, Reinhard RA, Petro TM, Cohen DM, Maza CR, Strom EA, Hoffman M. Nickel release from orthodontic archwires and cellular immune response to various nickel concentration. J Biomed Mater Res. 1999:48:488-495.

K

- Karnam SK, Reddy AN, Manjith CM. Comparison of Metal Ion Release from Different Bracket Archwire Combinations: An in vitro Study. J Contemp Dent Pract. 2012;13(3):376-381.
- Kassab E, Gomesb J. Assessment of nickel titanium and beta titanium corrosion resistance behavior in fluoride and chloride environments. Angle Orthod. 2013;83:864–869.
- Kerosuo H. & Kaner VA, L. Systemic contact dermatitis caused by nickel in a stainless steel orthodontic appliance. Contact Dermatitis,1997;36**:** 112-3.
- Kerosuo H, Moe G, Kleven E. In vitro release of nickel and chromium from different types of simulated orthodontic appliances. Angle Orthod. 1995;65:111–116.
- Krishnan V, Davidovitch Z. Cellular, molecular, and tissue-level reactions to orthodontic force. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2006;129:469.el-469.e32.
- 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):102-110.
- Kusy RP. Orthodontic biomaterials: from the past to the present. Angle Orthod. 2002:72:501-512.

L

- Liu JK, Lee TM, Liu IH. Effect of loading force on the dissolution behavior and surface properties of nickel-titanium orthodontic archwires in artificial saliva. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2011 Aug;140(2):166-176.
- Luft S, Keilig L, Jager K. In-vitro evaluation of the corrosion behavior of orthodontic brackets. Orthod Craniofac Res 2009;12:43-51.

M

- Maijer R, Smith DC. Corrosion of orthodontic bracket bases. Am Orthod Dentofac Orthop.1982;81:43-48.
- Massaro EJ: Handbook of human toxicology. CRC Press, Boca Raton, 1997.
- Matasa G. Microbial attack of orthodontic adhesives. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1995;108:132-141.
- Matos de Souza R, Macedo de Menezes L. Nickel, chromium and iron levels in the saliva of patients with simulated fixed orthodontic appliances. Angle Orthod. 2008;78(2):345–350.
- Meding B. Epidemiology of nickel allergy. J Environ Monit. 2003;5(2):188–189.
- Mikulewicz M, Chojnacka K, Woźniak B, Downarowicz D. Release of metal ions from orthodontic appliances: an in vitro study. Biol Trace Elem Res. 2012 May;146(2):272-80. doi: 10.1007/s12011-011-9233-4. Epub 2011 Oct 20.
- Mikulewicz M, Chojnacka K. Release of metal ions from orthodontic appliances by in vitro studies: a systematic literature review. Biol Trace Elem Res. 2011 Mar;139(3):241-56. dio:10.1007/s12011-010-8670-9.Epub 2010 Mar 23.
- Mikulewicz M, Wolowiec P, Janeczek M, Gedrange T, Chojnacka K. The release of metal ions from orthodontic appliances: Animal tests. Angle Orthod. 2014 Jan 13. (Epub ahead of print).

N

- Nabeel F, Hasan H, Ali S. Nickel and chromium levels in the saliva of Saudi sample treated with fixed orthodontic appliances. The Saudi Dental Journal. 2013;25: 129-133.

O

- Ortiz AJ, Fernndes E, Vicente A, Calvo JL, Ortiz C. Metallic ions released from stainless steel, nickel-free, and titanium orthodontic

alloys: toxicity and DNA damage. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2011 Sep;140(3):e115-22.

P

- Peitsch T, Klocke A, Kahl-Nieke B, Prymak O, Epple M. The release of nickel from orthodontic NiTi wires is increased by dynamic mechanical loading but not constrained by surface nitridation. J Biomed Mater Res A. 2007 Sep 1:82(3):731-739.
- Perinetti G, Contardo L, Ceschi M, Antoniolli F, Franchi L, Baccetti T, Di Lenarda R. Surface corrosion and fracture resistance of two nickel-titanium-based archwires induced by fluoride, PH, and thermocycling. An in vitro comparative study. Eur J Orthod. 2010 Nov 1
- Petoumenou E, Arndt M, Keilig L, Reimann S, Hoederath H, Eliades T, et al. Nickel concentration in the saliva of patients with nickel-titanium orthodontic appliances. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2009;135(1):59–65.
- Petoumeno E, Kislyuk M, Heoderth H, Keilig L, Bourauel C, Jäger A. Corrosion susceptibility and nickel release of nickel titanium wires during clinical application. J Orfac Orthop. 2008 Nov;69(6):411-23.Epub 2008 Nov 11.
- Proffit W, Fields H, Sarver D. Comperhensive orthodontic treatment in the early permanent. In Proffit W, Fields H, Sarver D, eds. Contemporary orthodontics. St Louis, Missouri; 2007: 549-631.

R

- Rymovicz A, Ronsani MM, Ger'gio A, Guariza-Filho O.G, Tanaka O, Rosa E. Virulence modulation of Streptococcus mutans biofilms by metal ions released from orthodontic appliances. Angle Orthod. Vol 83, No 6, 2013.

S

- Savarino L, Granchi D, Ciapetti G, et al. Ion release in patients with metal-on-metal hip bearings in total joint replacement: a comparison with metal-on-polyethylene bearings. J Biomed Mater Res. 2002;63:467–474.
- Schiff N, Boinel M, Morgon L, Galvanic corrosion between orthodontic wiers and brackets in fluoride mouthwashes. Eur J Orthod 2006;28:298-304.
- Schmaltz G, Arenholt-Bindslev D. Biocompatibility of Dental Materials. Heidelberg. Germany: Springer-Verlag Berlin:2008.
- Schwabe K. The passivity of metals. Pro III Int Cong Met Corr Vol.1, Moscow, 1966,"Mir," 1969:52.
- Shabalovskaya SA. Surface, corrosion and biocompatibility aspects of nitinol as an implant material. Bio-Med Mater Engin. 2002;12:69-109.
- Singh G. Textbook of orthodontic. Material used in orthodontics. Second edition .Jaypee brothors ,2007; 325-338.
- Staerkjaer L, Menne T. Nickel allergy and orthodontic treatment. Eur J Orthod. 1990;12:284–289.
- Suarez C, Vilar T, Gil J, Sevilla P. In vitro evaluation of surface to pographic changes and nickel release of lingual orthodontic archwire. J mater Sci Mater Med 2010 Feb:21(2):675-683. E pub 2009 Oct 14.
- Souni M, Brandies HF, Souni EM. On the In Vitro Biocompatibility of Elgiloy®,a Co-based Alloy, Compared to Two Titanium Alloys. J Orofac Orthop 2003;64:16–26.

T

- Theakston F. Inorganic pollutants. In: Theakston F, editor. Air quality guigelines for Europe. Copenhagen, Denmark: World Health Organization.2000; p.123-73.

V

- van Leenuwen EJ, Maltha JC, Kuijpers-Jagtman AM. Tooth movement with light continuous and discontinuous forces in beagle dogs. European Journal of Oral Sciences.1999;107: 468-474.

- Vojdani M, Shaghaghian S, Khaledi A, Adibi S. The effect of thermal and mechanical cycling on bond strength of a ceramic to nickel-chromium (Ni-Cr) and cobalt-chromium(co-Cr) alloy. Indian J Dent Res. 2012;Jul-Aug; 23(4):509-513.

W

- Wataha JC, Hangs CT, Craig RG. In vitro effects of metal ions on cellular metabolism and correlation between these effects and uptake of ions. J Biomed Mater Res. 1994;28:427-433.
- Wataha JC. Biocompatibility of dental casting alloys: a review. J Prosth Dent. 2000;83:223–234
- Wu S, Liu X, Chan YL, Ho JP, Chung CY, Cho PK, Chu CL, Yeung KW, Lu WW, Cheung KM, Luk KD. Nickel release behavior, cytocompatipility, and superelasticity of oxidized porous single-phase NiTi. J Bioned Mater Res A. 2007 Jun 15;81(4):948-955..

Y

- Yamanaka K, Mori M, Chiba A. Effects of nitrogen addition on microstructure and mechanical behavior of biomedical co-cr-mo alloys. J Mech Behav Biomed Mater.2014-Jan; 29:417-426.

المراجع العربية:

- غزال عبد الرزاق، الصباغ، 2014م. دراسة مقارنة بين نوعين من أسلاك النيكل تيتانيوم من حيث الخواص الشكلية وتحرر شوارد النيكل منها بعد تعرضها لظروف الوسط الفموية، رسالة ماجستير، قسم تقويم الأسنان والفكين، جامعة حماة.
- الزامل، ابراهيم، 1998م. الكيمياء التحليلية (التحليل الآلي). منشورات جامعة الملك سعود 1421ه. الطبعة الثالثة، الفصل الخامس: 125-153.
- باكير، ديب، الشيخ، محمد علي، المعلا، حمدان 2005م. الكيمياء الفيزيائية (3). منشورات جامعة البعث كلية العلوم. الفصل الثامن: 381-382.

رمضان عبد العزيز، 1981م . مبادئ التحليل الآلي. منشورات جامعة حلب كلية العلوم. الجزء الأول: 227-228.

- رمضان عبد العزيز، 1981م. مبادئ التحليل الآلي. منشورات جامعة حلب كلية العلوم. الجزء الثاني : 146.