



الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية طب الأسنان
قسم تقويم الأسنان والفكين

دراسة الخواص الميكانيكية (المتانة-القساوة-المرونة-الاحتكاك)
لأسلاك الراتنج المضلعة المقواة بالألياف ومقارنتها بأسلاك الفولاذ
المقاوم للصدأ

"دراسة مخبرية"

**Study of mechanical properties (strength-stiffness-
springness-friction) of rectangular (fiber-reinforced
composites) wires and compare it with stainless
steel wires**

"In Vitro study"

أطروحة قُدمت إلى جامعة دمشق لنيل درجة الماجستير في تقويم الأسنان والفكين

إعداد:

هشام شخاشيرو

إشراف:

الأستاذ الدكتور محمد يوسف

ماجستير

1436هـ/2015م

تَصْرِيْحٌ

" لا يوجد أيُّ جزءٍ من هذه الأطروحة تمَّ أخذه بالكاملٍ
من عملٍ آخر، أو أُنجَزَ للحصولِ على شهادةٍ أُخرى في
هذه الجامعة أو في أية جامعةٍ أُخرى أو أيِّ معهدٍ تعليميٍّ "

كلمة شكر

Acknowledgment

بعد حمد الله تعالى والثناء عليه أن منّ بفضلته لإنجاز هذا البحث، أتقدّم بأسمى عبارات الشكر والتقدير لكلّ من قدّم أية مساعدة مهما صغرت لإنجاح البحث الحالي وأخصّ بالشكر: الأستاذ الدكتور محمد يوسف الذي كان نعم المعلم والناصح، قبل الإشراف على هذا البحث ووضع ملاحظاته القيّمة عليه. كما أشكر السادة الأساتذة أعضاء لجنة التحكيم الأكارم وخاصة الأستاذ المساعد الدكتور محمد جمال نمرّة الذي لم يبخل بتقديم أية مساعدة لإتمام البحث الحالي على أكمل وجه، كما أشكر المدرّس الدكتور غياث محمود الذي أغنى البحث بملاحظاته الدقيقة، وتفضل مشكوراً بتحكيم هذا البحث.

كل الشكر للأستاذة الدكتورة رزان خطّاب عميدة كلية طب الأسنان، وللأستاذ الدكتور إباد الشعراي نائب عميد الكلية للشؤون العلمية، والأستاذ الدكتور ياسر مدلل نائب عميد الكلية للشؤون الإدارية، لسعيهم المستمر لتطوير المنظومة التعليمية وارتقائها.

كل الشكر لأساتذتي في قسم تقويم الأسنان والفكين وأخصّ بالشكر الأستاذة المساعدة الدكتورة رانية حداد رئيسة القسم، وجميع الأساتذة والموظفين والإداريين في هذا القسم خاصة وفي الكلية عامة.

كل الشكر لأفراد أسرتي الغالية، ولزملائي وأصدقائي طلاب الماجستير والدكتوراه في قسم تقويم الأسنان والفكين.

ولا أنسى أن أشكر جميع أفراد قسم الميكانيك العام في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، أساتذة وطاقماً وموظفين وإداريين.

1 - قائمة المحتويات :List of Contents

14	..... المقدمة
16	..... أهداف البحث
18	..... 1- الباب الأول: المراجعة النظرية
19	..... 1-1- الأسلاك التقويمية التجميلية
19	..... 1-1-1- لمحة تاريخية عن تطور المواد المستخدمة في الأجهزة التقويمية
24	..... 1-1-2- تصنيف الأسلاك التقويمية
24	..... 1-1-3- تصنيف الأسلاك التقويمية التجميلية
25	..... 1-1-4- تركيب الأسلاك التقويمية التجميلية (الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف)
26	..... 1-1-5- خواص أسلاك الراتنج المقوى بالألياف
27	..... 1-1-6- الأبحاث على أسلاك الراتنج المقوى بالألياف
29	..... 2-1- الخصائص الميكانيكية للمواد
32	..... 1-2-1- المقاومة أو المتانة Strength
34	..... 2-2-1- القساوة (الجساءة) Stiffness
36	..... 3-2-1- مجال انحراف المادة المرنة Range
38	..... 4-2-1- الرجوعية Resilience
39	..... 5-2-1- قابلية التشكيل Formability
40	..... 3-1- أنواع العارضات
41	..... 4-1- تأثير أبعاد الأسلاك وشكل مقطعها في خصائصها الميكانيكية
42	..... 1-4-1- تأثير المقطع العرضي أو قطر السلك
42	..... 1-1-4-1- حالة العارضة المجنحة Cantilever Beam
43	..... 2-1-4-1- حالة العارضة المثبتة من نهايتها Supported Beam

44	..... 2-4-1- تأثير طول السلك وقوة ارتباطه
44	..... 1-2-4-1 حالة العارضة المجنحة Cantilever Beam
45	..... 2-2-4-1 حالة العارضة المثبتة من نهايتها Supported Beam
46	..... 5-1 بعض الإجراءات المتخذة للتأثير في معدل (حمولة - انحراف)
46	..... 1-5-1 زيادة طول السلك
48	..... 2-5-1 تأثير اتجاه التحميل
50	..... 6-2-1 الاحتكاك Friction
50	..... 1-6-2-1 تعريف الاحتكاك
50	..... 2-6-2-1 أنواع القوى الاحتكاكية
52	..... 3-6-2-1 قانون الاحتكاك
53	..... 4-6-2-1 أهمية دراسة الاحتكاك
54	..... 5-6-2-1 آلية حدوث الاحتكاك
55	..... 6-6-2-1 العوامل المؤثرة في مقدار الاحتكاك المرافق للأجهزة التقييمية الثابتة
55	..... 1-6-6-2-1 تأثير الخواص السطحية للأسلاك التقييمية
57	..... 2-6-6-2-1 تأثير الخواص السطحية للحاصرات
59	..... 3-6-6-2-1 قوة التماس بين السلك والحاصرة
62	..... 2- الباب الثاني: المواد والطرائق
63	..... 1-2 العينة Sample
64	..... 1-1-2 أولاً: تم تقسيم الأسلاك التقييمية طبقاً لمادة السلك
65	..... 2-1-2 ثانياً: تم تقسيم الأسلاك التقييمية طبقاً لثخانة مقطع السلك
66	..... 3-1-2 ثالثاً: تم تقسيم الأسلاك التقييمية طبقاً لنوع الاختبار المُجرى
68	..... 2-2 الأدوات والأجهزة المستخدمة في الدراسة

68	1-2-2-1- أجهزة القياس لقوى المتانة والجساءة والمرونة والاحتكاك (جهاز Instron)
70	2-2-2-2- الأجهزة المستخدمة لاختبار المتانة والجساءة والمرونة واختبار الاحتكاك
70	1-2-2-2-1- الأجهزة المستخدمة لاختبار المتانة والجساءة والمرونة
71	2-2-2-2-2- الأجهزة المستخدمة لاختبار الاحتكاك
75	3-2- الطرائق
75	1-3-2-1- اختبار المتانة والجساءة والمرونة (اختبار النقاط الثلاث)
77	2-3-2- اختبار الاحتكاك
79	4-2- الدراسة الإحصائية Statistical Analysis
82	3- الباب الثالث: النتائج
83	1-3-1- نتائج دراسة المتانة
83	1-1-3-1- تأثير مادة السلك في المتانة
84	2-1-3-2- تأثير ثخانة السلك في المتانة
85	2-3-2- نتائج دراسة القساوة (الجساءة)
85	1-2-3-1- تأثير مادة السلك في القساوة (الجساءة)
85	1-1-2-3-1- تأثير مادة السلك في القساوة (الجساءة) في الأسلاك ذات ثخانة 0.025X0.019) إنشاً
86	2-1-2-3-2- تأثير مادة السلك في القساوة (الجساءة) في الأسلاك ذات ثخانة 0.025X0.021) إنشاً
89	2-2-3-2- تأثير ثخانة السلك في القساوة (الجساءة)
89	1-2-2-3-1- تأثير ثخانة السلك في القساوة (الجساءة) في الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ ...
90	2-2-2-3-2- تأثير ثخانة السلك في القساوة (الجساءة) في الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف ..
92	3-3- نتائج دراسة المرونة (مجال الانحراف)
92	1-3-3-1- تأثير مادة السلك في المرونة (مجال الانحراف)

93	..... 2-3-3- تأثير ثخانة السلك في المرونة (مجال الانحراف)
95	..... 4-3- نتائج دراسة قوة الاحتكاك
95	..... 1-4-3- تأثير مادة السلك على قوة الاحتكاك
	..... 1-1-4-3- تأثير مادة السلك في قوة الاحتكاك في الأسلاك ذات ثخانة (0.025X0.019)
95	..... إنشاً عند الربط بالمطاط
	..... 2-1-4-3- تأثير مادة السلك في قوة الاحتكاك في الأسلاك ذات ثخانة (0.019 X 0.025)
97	..... إنش عند الربط بأسلاك الربط
	..... 3-1-4-3- تأثير مادة السلك في قوة الاحتكاك في الأسلاك ذات ثخانة (0.025X0.021)
98	..... إنشاً عند الربط بالمطاط
	..... 4-1-4-3- تأثير مادة السلك في قوة الاحتكاك في الأسلاك ذات ثخانة (0.025X0.021)
100	..... إنشاً عند الربط بأسلاك الربط
102	..... 2-4-3- تأثير ثخانة السلك في قوة الاحتكاك
	..... 1-2-4-3- تأثير ثخانة السلك في قوة الاحتكاك في الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ (SS)
102	..... عند الربط بالمطاط
	..... 2-2-4-3- تأثير ثخانة السلك في قوة الاحتكاك في الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ (SS)
103	..... عند الربط بأسلاك الربط
	..... 3-2-4-3- تأثير ثخانة السلك في قوة الاحتكاك في الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف
105	..... (FRCs) عند الربط بالمطاط
	..... 4-2-4-3- تأثير ثخانة السلك في قوة الاحتكاك في الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف
106	..... (FRCs) عند الربط بأسلاك الربط
108	..... 3-4-3- دور طريقة الربط في قوة الاحتكاك
	..... 1-3-4-3- دور طريقة الربط في قوة الاحتكاك في الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ (SS)
108	..... عند ثخانة (0.025X0.019) إنشاً
	..... 2-3-4-3- دور طريقة الربط في قوة الاحتكاك في الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ (SS)
109	..... عند ثخانة (0.025X0.021) إنشاً
	..... 3-3-4-3- دور طريقة الربط في قوة الاحتكاك في الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف
111	..... (FRCs) عند ثخانة (0.025X0.019) إنشاً

	4-3-4-3- دور طريقة الربط في قوة الاحتكاك في الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف
112	(FRCs) عند ثخانة (0.025X0.021) إنشاً
114	4- الباب الرابع: المناقشة
115	1-4- مناقشة نتائج دراسة المتانة
115	1-1-4- تأثير مادة السلك في المتانة
117	2-1-4- تأثير ثخانة السلك في المتانة
117	1-2-1-4- تأثير ثخانة السلك في متانة الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ (SS)
117	2-2-1-4- تأثير ثخانة السلك في متانة الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف (FRCs)
118	2-4- مناقشة نتائج دراسة القساوة (الجساءة)
	1-2-4- تأثير مادة السلك في القساوة (الجساءة) في الأسلاك بالثخانتين المدروستين
118	(0.025X0.019) و(0.025X0.021) إنشاً
121	2-2-4- تأثير ثخانة السلك في القساوة (الجساءة)
121	1-2-2-4- تأثير ثخانة السلك في القساوة (الجساءة) في الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ ...
122	2-2-2-4- تأثير ثخانة السلك في القساوة (الجساءة) في الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف ..
123	3-4- مناقشة نتائج دراسة المرونة (مجال الانحراف)
123	1-3-4- تأثير مادة السلك في المرونة (مجال الانحراف)
124	2-3-4- تأثير ثخانة السلك في المرونة (مجال الانحراف)
125	4-4- مناقشة نتائج دراسة قوة الاحتكاك
126	1-4-4- تأثير مادة السلك في قوة الاحتكاك
128	2-4-4- تأثير ثخانة السلك في قوة الاحتكاك
	1-2-4-4- تأثير ثخانة السلك في قوة الاحتكاك في الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ (SS)
128	عند الربط بالطريقتين المدروستين (مطاط الربط- أسلاك الربط)
	2-2-4-4- تأثير ثخانة السلك على قوة الاحتكاك في الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف
129	(FRCs) عند الربط بالطريقتين المدروستين (مطاط الربط- أسلاك الربط)

131	..... 4-4-3- دور نوع الربط في قوة الاحتكاك
131	..... 4-4-3-1- دور نوع الربط في قوة الاحتكاك في الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ (SS) بالثخانتين المدروستين (0.025X0.019)-(0.025X0.021) إنشاً
132	..... 4-4-3-2- دور نوع الربط في قوة الاحتكاك في الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف (FRCs) بالثخانتين المدروستين (0.025X0.019) - (0.025X0.021) إنشاً
134	..... 5- الباب الخامس: الاستنتاجات
137	..... 6- الباب السادس: المقترحات والتوصيات
140	..... 7- الباب السابع: المراجع
149	..... الملخص باللغتين العربية والأجنبية
152	..... الملاحق

2- قائمة الجداول :List of Tables

رقم الجدول	مضمون الجدول	الصفحة
(1-1)	يلخص العوامل المؤثرة في: معدل (حمولة - انحراف)، الحمولة القصوى، الانحراف الأعظمي	49
(1-2)	توزع عينة الأسلاك المدروسة طبقاً لمادة السلك وثخانة مقطعه ونوع الاختبار المُجرى ونوع الربط.	64
(1-3)	يبين نتائج اختبار t-student في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط المتانة (القوة اللازمة لتحطم السلك) بين نوعي الأسلاك المدروسة: (SS) و(FRCs) عند ثخانة السلك (0.025X0.019) و (0.025X0.021) إنشاً.	84
(2-3)	يبين نتائج اختبار t-student في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط المتانة (القوة اللازمة لتحطم السلك) بين قياسي ثخانة الأسلاك المدروسة: (0.025X0.019) - (0.025X0.021) إنشاً	85
(3-3)	يبين نتائج اختبار t-student في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط الجساءة (القوة المتحررة من السلك عند تنشيطه) بين نوعي الأسلاك المدروسة: (SS) و(FRCs) عند ثخانة السلك (0.025X0.019) إنشاً.	86
(4-3)	يبين نتائج اختبار t-student في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط الجساءة (القوة المتحررة من السلك عند تنشيطه) بين نوعي الأسلاك المدروسة: (SS) و(FRCs) عند ثخانة السلك (0.025X0.021) إنشاً.	87
(5-3)	يبين نتائج اختبار t-student في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط الجساءة (القوة المتحررة من السلك عند تنشيطه) بين قياسي ثخانة أسلاك ال(SS): (0.025X0.019) - (0.025X0.021) إنشاً.	89
(6-3)	يبين نتائج اختبار t-student في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط الجساءة (القوة المتحررة من السلك عند تنشيطه) بين قياسي ثخانة أسلاك ال(FRCs): (0.025X0.019) - (0.025X0.021) إنشاً.	91
(7-3)	يبين نتائج اختبار t-student في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط المرونة (التي يعبر عن مفهومها بمجال الانحراف) بين نوعي الأسلاك المدروسة: (SS) و(FRCs).	93
(8-3)	يبين نتائج اختبار t-student في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط المرونة (التي يعبر عن مفهومها بمجال الانحراف) بين قياسي ثخانة الأسلاك المدروسة: (0.025X0.019) - (0.025X0.021) إنشاً.	94
(9-3)	يبين نتائج اختبار t-student في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين نوعي الأسلاك المدروسة: (SS) و(FRCs) بثخانة السلك (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بمطاط الربط.	96
(10-3)	يبين نتائج اختبار t-student في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين نوعي الأسلاك المدروسة: (SS) و(FRCs) بثخانة السلك (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط.	98
(11-3)	يبين نتائج اختبار t-student في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين نوعي الأسلاك المدروسة: (SS) و(FRCs) بثخانة السلك (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بمطاط الربط.	99
(12-3)	يبين نتائج اختبار t-student في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين نوعي الأسلاك المدروسة: (SS) و(FRCs) بثخانة السلك (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط.	101
(13-3)	يبين نتائج اختبار t-student في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين قياسي ثخانة أسلاك ال(SS): (0.025X0.019) - (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بمطاط الربط.	102
(14-3)	يبين نتائج اختبار t-student في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين قياسي ثخانة أسلاك ال(SS): (0.025X0.019) - (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط.	104
(15-3)	يبين نتائج اختبار t-student في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين قياسي ثخانة أسلاك ال(FRCs): (0.025X0.019) - (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بمطاط الربط.	105
(16-3)	يبين نتائج اختبار t-student في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين قياسي ثخانة أسلاك ال(FRCs): (0.025X0.019) - (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط.	107
(17-3)	يبين نتائج اختبار t-student في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين طريقتي ربط أسلاك ال(SS): مطاط الربط وأسلاك الربط عند ثخانة السلك (0.025X0.019) إنشاً.	108

110	يبين نتائج اختبار t-student في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين طريقتي ربط أسلاك الـ (SS): مطاط الربط وأسلاك الربط عند ثخانة السلك (0.025X0.021) إنشاً.	(18-3)
111	يبين نتائج اختبار t-student في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين طريقتي ربط أسلاك الـ (FRCs): مطاط الربط وأسلاك الربط عند ثخانة السلك (0.025X0.019) إنشاً.	(19-3)
113	يبين نتائج اختبار t-student في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين طريقتي ربط أسلاك الـ (FRCs): مطاط الربط وأسلاك الربط عند ثخانة السلك (0.025X0.021) إنشاً.	(20-3)

3- قائمة الأشكال :List of Figures

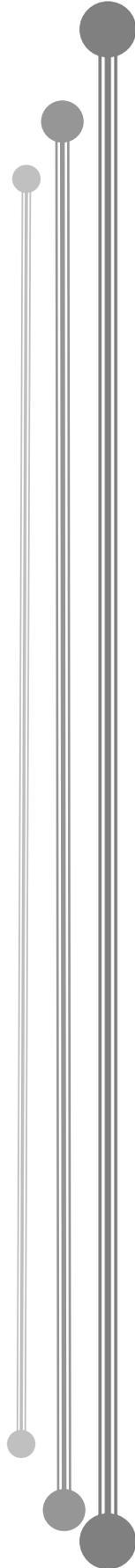
رقم الشكل	مضمون الشكل	الصفحة
(1-1)	صفات السلك التقويمي المثالي	19
(2-1)	حالة مريض تقويمي تم إلصاق أطواق على جميع أسنانه يربط بين هذه الأسنان عرى مصنوعة من أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ	21
(3-1)	مريض مزود بحاصرات من البولي كربونات (polycarbonate) وسلك تقويمي من الفولاذ المقاوم للصدأ SS المغلف بالتفلون (Teflon-coated SS archwire) في الفك العلوي، وحاصرات من الفولاذ المقاوم للصدأ في الفك السفلي	23
(4-1)	منحى (قوة - انحراف) (Force - Deflection) Diagram	31
(5-1)	منحى (إجهاد - انفعال) (Stress - Strain) Diagram	31
(6-1)	منحى (قوة - انحراف) (Force - Deflection) Diagram	33
(7-1)	منحى (قوة - انحراف) (Force - Deflection) Diagram	35
(8-1)	منحى (قوة - انحراف) (Force - Deflection) Diagram	37
(9-1)	منحى (إجهاد - انفعال) (Stress - Strain) Diagram	39
(10-1)	منحى (إجهاد - انفعال) (Stress - Strain) Diagram	40
(11-1)	النموذجان الأساسيان للعارضات أو الدعامات	41
(12-1)	تأثير المقطع العرضي أو قطر العارضة وكذلك طريقة ارتباطها (في حال العارضة المدعمة المتمثلة بجزء من القوس التقويمي الممتد بين حاصرتين) على خواصها الميكانيكية الأساسية	44
(13-1)	تأثير طول العارضة وكذلك طريقة ارتباطها (في حال العارضة المدعمة المتمثلة بجزء من القوس التقويمي الممتد بين حاصرتين) في خواصها الميكانيكية الأساسية	46
(14-1)	تأثير زيادة طول السلك في خواصه الميكانيكية الأساسية	46
(15-1)	تأثير كمية السلك في خواصه الميكانيكية الأساسية	48
(16-1)	عروة تقويمية تضم في قمتها حلقة مؤلفة من عدد معين من الدورات Turns	49
(17-1)	يبين الفرق بين الاحتكاك الساكن والاحتكاك الحركي	51
(18-1)	يوضح حالة فقدان الدعم عندما يتزايد الاحتكاك ليساوي مقدار القوة المطبقة	53
(19-1)	التماس الفعلي لسطحين فاسيين على مستوى مناطق "البروزات" التي لا ترى بالعين المجردة والتي يتولد على مستواها الاحتكاك	54
(20-1)	زاوية التماس بين السلك والحاصرة	59
(21-1)	الحاصرات ذاتية الربط	61
(1-2)	يوضح جهاز القياس (Instron)	69
(2-2)	يوضح الممسك المعدني على شكل حرف (Y) في الأسفل والرأس المعدني المؤنث في الأعلى	71
(3-2)	يوضح القضيب المعدني الذي ألصق في طرفه سنخ لضاحكة أكريلية أولى علوية يمينى ويوضح الذراع المعدني المنحني	72
(4-2)	يوضح الممسك المعدني الذي في طرفه العلوي أثلام	73
(5-2)	موسكيتو لمسك كل من أسلاك ومطاط الربط	74
(6-2)	سلك راتنجي مقوى بالألياف (FRCs)	75
(7-2)	جهاز لقياس الأبعاد (بياكوليس رقمي)	75
(8-2)	السلك التقويمي المدروس مثبت على الممسك المعدني على شكل حرف (Y)	76
(9-2)	ضاحكة أكريلية أولى علوية يمينى ملصق عليها حاصرة خزفية مربوط عليها سلك FRCs بمطاط ربط	77
(10-2)	السلك التقويمي المدروس مثبت على الممسك المعدني الذي طرفه أثلام. تم ربط السلك ضمن الحاصرة المثبتة على السن الأكريلية، هذه السن مثبتة على سنخ فرازاكو موصولة إلى الذراع المعدني المنحني	79

4- قائمة المخططات :List of charts

رقم المخطط	مضمون المخطط	الصفحة
(1-3)	يمثل المتوسطات الحسابية للقوى المتحررة في أثناء التنشيط والقوة اللازمة للتحطم التي أبدت اختلافات نوعية بين أسلاك SS وأسلاك FRCs بثخانة (0.025X0.019) إنشاً.	88
(2-3)	يمثل المتوسطات الحسابية للقوى المتحررة في أثناء التنشيط والقوة اللازمة للتحطم التي أبدت اختلافات نوعية بين أسلاك SS وأسلاك FRCs بثخانة (0.025X0.021) إنشاً.	88
(3-3)	يمثل المتوسطات الحسابية للقوى المتحررة في أثناء التنشيط والقوة اللازمة للتحطم التي أبدت اختلافات نوعية بين ثخانة (0.025X0.019) إنشاً وثخانة (0.025X0.021) إنشاً في أسلاك SS.	90
(4-3)	مثل المتوسط الحسابي للقوة المتحررة في أثناء التنشيط التي أبدت اختلافات نوعية بين ثخانة (0.025X0.019) إنشاً وثخانة (0.025X0.021) إنشاً في أسلاك FRCs.	92
(5-3)	يمثل المتوسط الحسابي لمجال الانحراف الذي أبدت اختلافات نوعية بين ثخانة (0.025X0.019) إنشاً وثخانة (0.025X0.021) إنشاً في أسلاك SS.	94
(6-3)	يمثل المتوسط الحسابي لمجال الانحراف الذي أبدت اختلافات نوعية بين ثخانة (0.025X0.019) إنشاً وثخانة (0.025X0.021) إنشاً في أسلاك FRCs.	95
(7-3)	يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين أسلاك SS وأسلاك FRCs بثخانة (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بمطاط الربط.	97
(8-3)	يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين أسلاك SS وأسلاك FRCs بثخانة (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط.	98
(9-3)	يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين أسلاك SS وأسلاك FRCs بثخانة (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بمطاط الربط.	100
(10-3)	يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين أسلاك SS وأسلاك FRCs بثخانة (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط.	101
(11-3)	مثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين ثخانة (0.025X0.019) إنشاً وثخانة (0.025X0.021) إنشاً في أسلاك SS عند الربط بمطاط الربط.	103
(12-3)	يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين ثخانة (0.025X0.019) إنشاً وثخانة (0.025X0.021) إنشاً في أسلاك SS عند الربط بأسلاك الربط.	104
(13-3)	يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين ثخانة (0.025X0.019) إنشاً وثخانة (0.025X0.021) إنشاً في أسلاك FRCs عند الربط بمطاط الربط.	106
(14-3)	(يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين ثخانة (0.025X0.019) إنشاً وثخانة (0.025X0.021) إنشاً في أسلاك FRCs عند الربط بأسلاك الربط.	107
(15-3)	يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين أسلاك الربط ومطاط الربط عند ثخانة (0.025X0.019) إنشاً في أسلاك SS.	109
(16-3)	يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين أسلاك الربط ومطاط الربط عند ثخانة (0.025X0.021) إنشاً في أسلاك SS.	110
(17-3)	يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين أسلاك الربط ومطاط الربط عند ثخانة (0.025X0.019) إنشاً في أسلاك FRCs.	112
(18-3)	يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين أسلاك الربط ومطاط الربط عند ثخانة (0.025X0.021) إنشاً في أسلاك FRCs.	113

المقدمة

Introduction

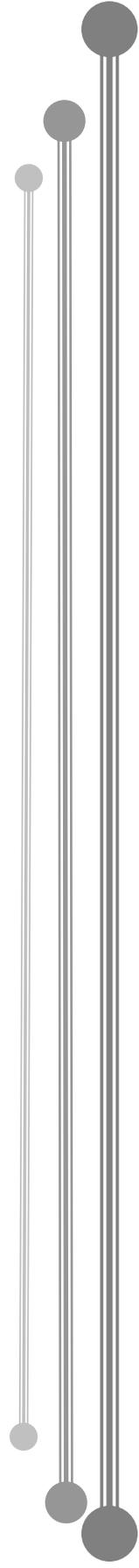


مقدمة:

منذ تأسيس تقويم الأسنان كعلم مستقل والباحثون يسعون لتحسين طرق ووسائل المعالجة التقويمية من الناحيتين الوظيفية والجمالية، لذا فقد أجريت دراسات عديدة لإيجاد أفضل السبل للوصول إلى النتائج المرجوة بأفضل الوسائل وأسرع الطرق وأقلها تأثيرات جانبية، وهنا تُعتبر المواد المستخدمة (حاصرات - أطواق - أسلاك... الخ) أحد أهم عوامل نجاح المعالجة التقويمية، إذ تطورت هذه المواد تدريجياً مع التطور التقني الذي رافق تطور التقنيات المستخدمة في المعالجات لإعطاء معالجة أفضل، ولكن نتيجة زيادة الوعي الصحي والميل إلى توخي الناحية التجميلية خلال المعالجة التقويمية، تم تطوير مواد تقويمية من أسلاك وحاصرات تحقق هذا الغرض التجميلي، فبدأ أولاً بإنتاج حاصرات تجميلية (بلاستيكية - خزفية... الخ)، إلا أن تطبيق هذه الحاصرات مع أسلاك معدنية بادئ الأمر لم يحقق الناحية التجميلية بالشكل المطلوب، عندها بدأ التفكير في إنتاج أسلاك تجميلية تؤمن مع الحاصرات التجميلية الناحية الجمالية المطلوبة وتحقق رغبة الكثير من المرضى الذين يحتاجون إلى المعالجة التقويمية، لكن تأمين الناحية التجميلية على حساب الناحية الميكانيكية في أثناء المعالجة يعتبر أمراً غير مقبول، لما للخصائص الميكانيكية والفيزيائية للأسلاك التقويمية المستخدمة في المعالجة من أهمية كبرى في إنجاز الحركات التقويمية الضرورية، لذا كان لابد من دراسة هذه الخصائص الميكانيكية للأسلاك التجميلية الراتنجية المضلعة المقواة بالألياف وهذا هو هدف هذا البحث الحالي.

أهداف البحث

Aims of Study



يهدف هذا البحث إلى: معرفة أهم الخصائص التي تتمتع بها أسلاك الراتنج المقوى

بالألياف (FRCs) المستخدمة في المعالجة التقويمية وذلك من خلال:

- دراسة متانة أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) (الأسلاك التجميلية) بالمقارنة مع متانة أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS).
- دراسة قساوة (جساءة) أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) (الأسلاك التجميلية) بالمقارنة مع قساوة (جساءة) أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS).
- دراسة مرونة أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) (الأسلاك التجميلية) بالمقارنة مع مرونة أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS).
- دراسة مقاومة احتكاك أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) (الأسلاك التجميلية) المتوضعة ضمن الحاصرات الخزفية (خلال مرحلة الإرجاع) بالمقارنة مع مقاومة احتكاك أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) المتوضعة ضمن الحاصرات الخزفية.

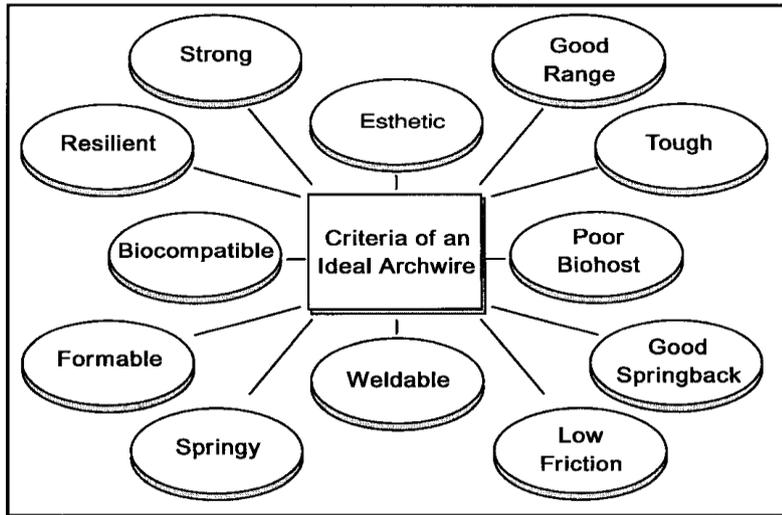
الباب الأول
المراجعة النظرية
Literature Review

1

(1-1) الأسلاك التقويمية التجميلية

(1-1-1) لمحة تاريخية عن تطور المواد المستخدمة في الأجهزة التقويمية:

مرت المواد المستخدمة في تقويم الأسنان بتطورات سريعة خلال السنوات الأخيرة بشكل مطرد (Kusy, 1997) لتواكب الحاجة إلى الحصول على السلك التقويمي المثالي الذي يحرك الأسنان بقوة خفيفة ومستمرة (Proffit, 2007)، والأبحاث مازالت جارية للحصول على هذا السلك المثالي الذي يجب أن يتصف بمجموعة من الخصائص: من حيث المتانة- المرونة- قابلية التشكيل- الردودية الجيدة- مجال الانحراف الجيد- قابلية التلحيم- التقبل الحيوي عالي الدرجة - تأمين الناحية الجمالية - الاحتكاك المنخفض الشكل (1-1) (Kusy, 1997).



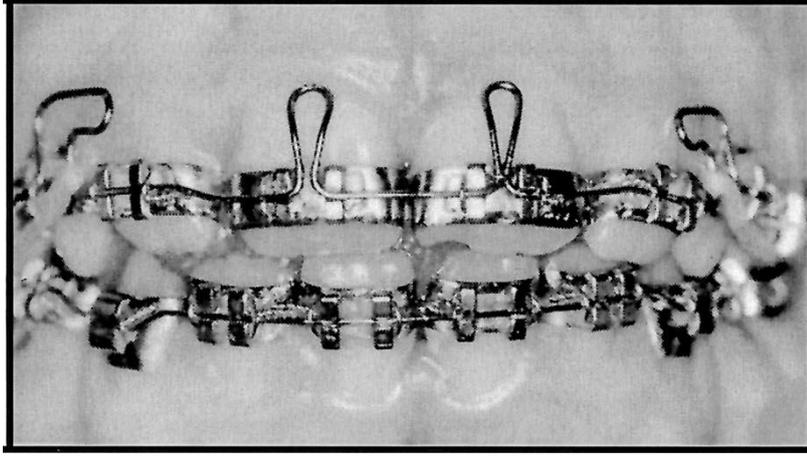
الشكل (1-1) صفات السلك التقويمي المثالي

في البدايات في عام 1908 اخترع العالم إدوارد إنجل الذي يُدعى " والد تقويم الأسنان"، ما يسمى (الفضة الألمانية German silver أو Neusilber)، التي تم تقديمها لأول مرة من قبله في الولايات المتحدة الأمريكية، وكانت في الواقع تتكون من: النحاس Cu، النيكل Ni، الزنك Zn ولكنها لا تتضمن الفضة أبداً، في حين أنه خلال هذه الفترة، كان الذهب 14 إلى 18 قيراطاً يستخدم كأسلاك للربط، إذ يمتاز الذهب بإمكانية تغيير

قساوته باختلاف طريقة معالجته حرارياً، إضافة إلى أن مقاومة تأكله ممتازة جداً (Kusy, 2002).

خلال الحرب العالمية الأولى ظهرت أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ بعد أن كانت أسلاك الذهب هي الأسلاك التقويمية السائدة في المعالجات وتراجعت أمام الأسلاك الفولاذية نظراً لتكلفة أسلاك الذهب الباهظة، بالإضافة إلى ما قدمته الأسلاك الفولاذية من خواص أفضل من ناحية المتانة ومقاومة الانحناء في المقاطع الصغيرة، وتم تطوير ثلاثة أنواع مختلفة من الفولاذ المقاوم للصدأ. فقد طور الألمان الفولاذ الأوستنيتي، وطور البريطانيون الفولاذ المرتنسي، أما الأميركيون فقد طوروا الفولاذ الحديدي، ثم في وقت مبكر من 1930s، كان الفولاذ المقاوم للصدأ متاحاً عموماً (Kusy, 1997 , Kusy, 2002).

وبدأ من 1950s، تم استخدام الفولاذ المقاوم للصدأ بديلاً عن الذهب عالمياً لعدة أسباب نذكر منها: (1) جساءة الفولاذ المقاوم للصدأ أكبر من الذهب (أي القوة المتحررة من الفولاذ أكبر من القوة المتحررة من الذهب في واحدة التنشيط) (2) كونها أصغر في الحجم، فاعتبرت الأجهزة المصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ أكثر جمالية من أجهزة الذهب (لكونها أصغر الأجهزة، فلا تظهر عند استخدامها) (3) كان الفولاذ المقاوم للصدأ ذا مقاومة ممتازة للتآكل وخواص صلابة في أثناء التشكيل (كالنوابض أو العرى)، (4) درجة الاحتكاك كانت منخفضة حتى إنه أصبح معياراً للمواد في انخفاض الاحتكاك (Kusy, 2002 , Kusy and Whitley, 1997).



الشكل (1-2) حالة مريض تقويمي تم إلصاق أطواق على جميع أسنانه، يربط بين هذه الأسنان عرى مصنوعة من أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) (Kusy, 2002)

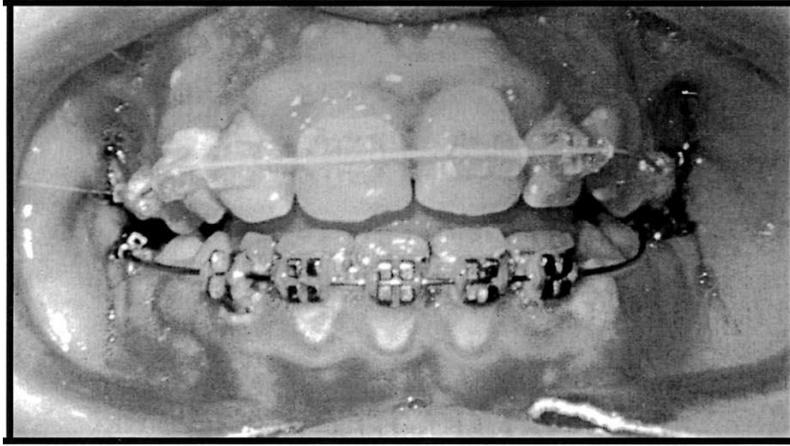
ثم ظهرت في 1960s خلائط الكروم-كوبالت باسم (الإلجيلوي) التي كانت تتصف بصفات أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ نفسها من ناحية المتانة ومقاومة الانحناء لكنها تميزت عنها بقابلية تشكيلها المرتفعة وارتفاع مقاومة الشد القصوى لديها ورجوعيتها بعد تنشيطها حرارياً دون التأثير على مقاومة انحنائها، لذلك تم تصنيع أربعة أنواع من الإلجيلوي: الأحمر الأكثر مرونة وقابليةً للتشكيل - ونوعان من الأزرق - والأصفر الأقل مرونةً وقابليةً للتشكيل (Kusy et al., 2001).

في عام 1962 طور العالم بوهرلر في مخبر المعدات الحربية التابع للبحرية الأمريكية خليطة مؤلفة من النيكل والتيتانيوم سميت (ناتينول NiTiNOL؛ مختصر للأحرف الأولى: النيكل Ni والتيتانيوم Ti ومختبر البحرية الحربية Naval Ordnance Laboratory)، هذا المنتج الجديد لديه أدنى معامل مرونة بالنسبة لأي مقطع عرضي، ويملك مدى مرتفعاً عند تفريغ التنشيط (Kusy, 1997)، ثم طورت هذه الخليطة بإضافة عناصر إليها مثل النحاس، الكوبالت، الكروم بنسب معينة وأطلق عليها مصطلح أسلاك "pseudoelastic" أو أسلاك "superelastic" لأن مخطط (حمولة- انحراف) الخاص بهذه الأسلاك يمتاز بكونه غير خطي، ثم طورت مرة أخرى من خلال تعديل نسب العناصر المضافة إلى الخليطة وبشكل خاص عنصر الكروم وأطلق عليها مصطلح الأسلاك الحرارية "Thermoelastic" إذ تلعب الحرارة الدور الرئيسي في تحريض تنشيطها (Kusy, 2002).

وفي بداية 1980s طور Burstone خليطة تولد بتنشيطها واستخدامها سريراً قوى فعالة تعادل ثلث قوى الفولاذ المقاوم للصدأ أو ضعف قوى النايتينول التقليدي، عرفت باسم TMA مكونة بشكل رئيسي من معدني الموليبدنيوم والتيتانيوم، لكن سيئتها الأساسية تكمن في ارتفاع معامل الاحتكاك الخاص بها (Burstone, 2005)، وبحلول عام 1986، تم تقديم نوعين جديدين من أسلاك "superelastic" هما: أسلاك النايتي الياباني والنايتي الصيني، هذان النوعان يعتبران من السبائك الأوستنيتية النشطة التي تتحول إلى الشكل المرتسبتي عند تعرضها للتوتر أو التنشيط (Kusy, 2002). لكن بقيت خليطة الفولاذ المقاوم للصدأ حتى الوقت الحالي الخليطة المثالية من حيث تميزها بمعامل احتكاك منخفض للغاية (Kusy and Whitley, 1997, Kusy and Whitley, 1989).

في حوالي عام 1970، تم تصنيع الحاصرات التجميلية البلاستيكية بطريق الحقن. ولكن بعد ذلك بوقت قصير، ظهرت مساوئ هذا النوع من الحاصرات للممارس وخاصة التغييرات الفيزيائية والميكانيكية التي تطرأ عليها في أثناء الاستخدام كتغير لونها وامتصاصها للروائح وتشوهها بطول مدة استخدامها (Kusy, 2002).

ثم ظهرت الأسلاك التجميلية، وكانت البداية مع الأسلاك المعدنية المغلفة بالبلاستيك plastic coated إلا أنها عانت من سوء في خواصها الميكانيكية بسبب ثخانة الطبقة المغلفة التي قللت من الثخانة الفعلية للسلك من 0.020 حتى 0.012 إنشاً، بالإضافة إلى تلون السلك بعد فترة من استخدامه، كما أن هذه الطبقة تزول خلال 3 أسابيع (Kusy, 2002)، لذلك كانت الخطوة اللاحقة هي إنتاج أسلاك مغلفة بالتفلون teflon الذي امتاز بثخانة بسيطة جداً وتأثير لا يذكر في الخواص الميكانيكية، بالإضافة إلى تأثيره المخفف للاحتكاك خاصة في أسلاك الـ NITi التي كانت في البداية هي الوحيدة التي يمكن تغليفها، ثم فيما بعد ظهرت أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ المغلفة، لكن مجال استخدامها كان محدوداً كما أن ثبات طبقة التغليف عليها كان موضع شك (Birnie, 2006a).



الشكل (1-3) مريض مزود بحاصرات من البولي كربونات (polycarbonate) وسلك تقويمي من الفولاذ المقاوم للصدأ SS المغلف بالتفلون (Teflon-coated SS archwire) في الفك العلوي، وحاصرات من الفولاذ المقاوم للصدأ في الفك السفلي (Kusy, 2002).

في عام 1992 قام Talass بتطوير سلك Optiflex، الذي كان عبارة عن ليف شفاف مؤلف من طبقات متحدة المركز ويتمتع بمعامل مرونة منخفض، وقد سبب حركة ملحوظة في الأسنان كما أظهر ثباتاً فعالاً عند ربط الأسنان في مواقع القلع، لكن أداءه لم يكن بجودة الـ NITi وأقل قدرة على التطبيق في المراحل اللاحقة من المعالجة التقويمية التي تتطلب أسلاكاً أكثر صلابة (Birnie, 2006a).

يمكن اعتبار ما قدمه Kusy عام 1997 على تركيب الأسلاك انجازاً واعداءً، إذ جعل الأسلاك التجميلية التي تمتلك أداءً حسناً وخواصاً مقبولةً حقيقةً على المدى المنظور، إذ تتألف هذه الأسلاك من ألياف زجاجية وحيدة الاتجاه مغمورة في قالب راتنجي ذي روابط خطية أو متصالية - (unidirectional fiber reinforced polymeric composites - UFRPs) والنماذج المقدمة حالياً تشبه لون الأسنان وقوية بما يكفي للوصول إلى صلابة أسلاك الـ β - titanium (Birnie, 2006a , Kusy, 1997)، وقد تم دراستها عالمياً (Cacciafesta et al., 2007, Ballard et al., 2012, Dyer et al., 2004) ومحلياً في جامعة دمشق (الكاتب، 2012)، (البابا، 2013)، ولكنه وفي خضم هذا التطور السريع للأسلاك التقويمية بحثاً عن السلك التقويمي المثالي، كان الباحثون يلقون الضوء على الخصائص الميكانيكية للمادة المدروسة لأنها هي الأساس من أجل الحصول على

حركة تقويمية سليمة، وبالتالي فالمهمة الأساسية هي تأمين الناحية الجمالية بدون المساس بالخواص الميكانيكية التي لا بد من اختبارها، لذا سنحاول في هذا البحث التعرف على بعض الخواص الميكانيكية لهذه الأسلاك التجميلية.

(2-1-1) تصنيف الأسلاك التقويمية:

تصنف الأسلاك التقويمية (Birnie, 2006b):

1- حسب نوع المادة: إلى متعدد التماثر Polymers ، ألياف زجاجية Glass، خلائط التيتانيوم Ti. Alloy ، خلائط كروم-كوبالت (الإلجيلوي Elgieloy)، خلائط الفولاذ المقاوم للصدأ SS.

2- مغلقة تقسم حسب نوع التغليف: التغطية بشكل كامل Sleeving، الطلاء بالإرذاذ Spray coating، الزرع أو الغرس الشاردي Ion implantation .

- وبدون تغليف

3- حسب الشكل: مجدول متعدد الجدلات Multistranded، مفرد Single، مضلع Rectangular، مستدير Round .

4- حسب التركيب: مصنوعة من أكثر من شكل واحد (على سبيل المثال: Wonder Wire)، أو مصنوعة من مادة واحدة أو أكثر مع ارتباط ميكانيكي أو مادي ينتج خصائص مختلفة في مقاطع مختلفة من السلك التقويمي.

(3-1-1) تصنيف الأسلاك التجميلية:

تصنف الأسلاك التجميلية التجميلية (Birnie, 2006a , Singh, 2007) إلى:

1- الأسلاك المعدنية المغلفة: سواءً أكانت من خلائط التيتانيوم أم خلائط الفولاذ المقاوم للصدأ والتي كانت تغلف بالبلاستيك ثم أصبحت تغلف بالتفلون.

2- أسلاك Optiflex: تتكون هذه الأسلاك من نواة من ثاني أكسيد السيليسيوم SiO₂، الذي يعطي السلك القوة والرجوعية force & resiliency، ويشكل السيليكون الطبقة المركزية ضمن السلك وهذا يعطيه المتانة، ويحمي النواة من الرطوبة، أما

طبقة النايلون الخارجية المغلفة للسلك فتجعله مقاوماً للإجهاد وتقيه أيضاً من الأذى والكسر. تتوفر هذه الأسلاك بمقاطع مدورة ومضلعة وذات لون مشابه للون الأسنان، هذا يعني أنها أكثر جمالية من الخلائط المعدنية الأخرى، كما أن هذه الأسلاك تعطي قوى خفيفة مستمرة عند تطبيقها تمكن من استخدامها في المراحل الأولية من الرصف في سياق المعالجة التقويمية، ولكنه ينصح بتجنب الانحناء الحاد في السلك عند ربطه ضمن الحاصرات لمنع التشوه الدائم في السلك.

3- أسلاك الراتنج المركب (الكيموزيت) المغلفة: coated / composite: تصنع من مزيج من المواد التي يغطي بعضها الآخر، تتضمن الأسلاك الراتنجية المغلفة أليافاً زجاجية وقلباً راتنجياً Aramid، ويتكون الراتنج الأولي من BIS-GMA & TEGDMA.

ويكون لكل مجموعة ليف / راتنج مجال حراري أو مجال عمل يمكن للمادة فيه أن تتشكل وتتنشط بدون أي خسارة في خصائصها الميكانيكية.

(1-1-4) تركيب الأسلاك التقويمية التجميلية (الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف):

تتكون أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) Fiber-Reinforced Composites من مكونين أساسيين (Fujihara et al., 2004 , Graber, 2005) هما القلب الراتنجي والألياف الزجاجية:

- القلب الراتنجي : يتكون من جزيئات عضوية وغالباً ما يستخدم (bis-GMA) triethylene glycol dimethacrylate، أو (bisphenol-A glycidyl methacrylate) والتي تستخدم أيضاً في الأسمنات الراتنجية اللاصقة.
- الألياف الزجاجية: عبارة عن ألياف مكونة إما من جزيئات الكوارتز (ثاني أكسيد السيليسيوم SiO₂) أو ألياف الكربون.

يتم تصنيع أسلاك FRCs بعملية السحب Pultrusion وهي العملية التي تنتج أطوالاً مستمرة من المادة بمقطع ثابت، إذ يتم سحب حزم الألياف الزجاجية المستمرة من جهاز Extruder الذي يتم بداخله ترطيب الألياف بالراتنج وحيد الجزيء Monomer، لتمر هذه

الألياف ضمن آلة ذات قياس محدد لتُعطي الألياف التركيب والشكل والمقطع المطلوبين (أسطوانياً أو مضلعاً) وتحقق النسبة المطلوبة (ألياف/ راتنج)، ومن ثم تمر عبر آلة التصليب لإعطاء الشكل النهائي، إذ يعالج المونومير بالحرارة والضغط محدثاً عملية التماثر Polymerization، كما يتعرض لإشعاع كهربي في أثناء تصليبه، ومن الجدير بالذكر أنه يمكن تغيير شكل السلك عند الحاجة لذلك بمعالجة تدعى بالـ Beta - staging يتم تطبيقها على الأسلاك بين عمليتي السحب والتصليب، لإعطاء الشكل القوسي النهائي للسلك التقويمي (Birnie, 2006a , Kusy, 2000 , Kusy, 1997).

يمكن تغيير خواص السلك من خلال استخدام تقنيات مختلفة في التصنيع تتضمن اتجاه الألياف وتوضعها، ونسبة الألياف الموجودة ضمن القالب الراتنجي، فتوضُّع الألياف متوازية فيما بينها وموازية للمحور الطولي للسلك يزيد من جساءة (مقاومة الانحناء) السلك، كما يزيد المرونة Springback، مما يسمح بتحرر قوة أكبر وأكثر دقة، وأيضاً بالإمكان تقليل الاحتكاك وتعزيز التقبل الحيوي من خلال تعديل البنية الكيميائية السطحية في متعدد التماثر، أما نسبة الألياف فتتراوح بين (5% لتصل حتى 70 - 80%)، ويزيادة نسبة الألياف تزداد المتانة والجساءة ومقاومة الالتواء (الخضوع) (Huang et al., 2003).

(1-1-5) خواص أسلاك الراتنج المقوى بالألياف:

تتميز الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف بالتمازج الممتاز بين الاستعادة المرنة ومقاومة الشد العالية والوزن الخفيف، وقابلية التشكيل المرتفعة، والسماح بالجمع بين خصائص الفتل والانحناء، خواصها التجميلية بسبب شفافيتها (Fujihara et al., 2004) , (Valiathan and Siddhartha, 2006)، القدرة على تشكيل أسلاك ذات مقادير مختلفة من الجساءة (مقاومة الانحناء) ولكن بقياس المقطع ذاته، مما يسهل تطبيق التقنيات التقويمية باستخدام مقطع ثابت من الأسلاك. كما أن القدرة على ربط عناصر إضافية مباشرة إلى السلك يقلل الحاجة إلى التلحيم الكهربائي (Valiathan and Siddhartha, 2006).

كما أن هذه الأسلاك يمكن ربطها إلى الأسنان مباشرة دون الحاجة إلى حاصرات، وخاصة في الحالات التي تحتاج إلى زيادة الدعم عن طريق ربط عدد من الأسنان بهذا النوع من الأسلاك وعدم انكسارها تحت تأثير قوى المضغ (Tahmasbi et al., 2007)، ولاننسى أن إضافة مواد مزلفة (Lubricant materials) مثل التفلون في أثناء تصنيع الأسلاك يمكن من السيطرة على الخصائص الاحتكاكية لها، وهذه النقطة تعتبر هامة عند زلق الأسنان في سياق إغلاق مسافات القلع، بالإضافة إلى كل ما سبق فإن هذه المواد شافة على الأشعة ولا تتداخل مع التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI) (Valiathan and Siddhartha, 2006)، كما أن أهم خاصية لهذه الأسلاك أنه تم التخلص من مشكلة الحساسية تجاه النيكل في الخلائط والأسلاك المعدنية التي يدخل في تركيبها (Fujihara et al., 2004), (Valiathan and Siddhartha, 2006).

كما تمتلك هذه الأسلاك متانة (مقاومة التحطم) وقساوة (جساءة) بالمقارنة مع أسلاك الـ NiTi (Fujihara et al., 2004, Huang et al., 2003).

(1-1-6) الأبحاث على أسلاك الراتنج المقوى بالألياف:

قارن Zufall وزملاؤه الخصائص الاحتكاكية لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف تجاه حاصرات الفولاذ المقاوم للصدأ والحاصرات الخزفية، ووجدوا بالمقارنة مع دراسات أخرى أن الأسلاك الراتنجية تمتلك معاملات احتكاك حركية أعلى من الـ S.S ولكن أقل من الـ NiTi والـ β -Ti. وقد لاحظوا أيضاً اهتراء سطح الراتنج مكان اتصال الحاصرة مع السلك في حال تطبيق قوى كبيرة وكان التزوي عالياً في أثناء الحركة، وهذا الاهتراء أدى بالتالي وبشكل لاحق إلى تحرير ألياف زجاجية وإطلاقها ضمن الوسط الفموي الذي يعتبر أمراً غير مقبول سريرياً (Zufall et al., 1998).

درس Kusy & Zufall العلاقة بين مقاومة الاهتراء والاحتكاك المنخفض والتغليف لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف لحمايتها من الاهتراء، وكانت مادة التغليف المختبرة هي Poly (chloro-p-xylylene) المستخدمة في تغليف القطاطر ونواظم خطى القلب، فقد

أظهرت الدراسة أن إضافة طبقة من الـ Parylene بثخانة 10 ميكرون قد زادت معامل الاحتكاك الحركي بمقدار 72% إلى 0.43، ومع ذلك فقد كانت هذه المادة قادرة على تقليل الاهتراء والتحرير اللاحق للألياف الزجاجية ضمن الوسط الفموي، واعتمدت هذه المادة لتحسين الأداء السريري لأسلاك الراتنج (Zufall and Kusy, 2000a).

خلال الدراسات اللاحقة ازداد التركيز على الاستفادة من الطبيعة اللزجة المرنة للبوليمير الذي يدخل في تركيب الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف إذ تتأثر هذه المواد غالباً بالزمن فتتغير مرونتها لذلك تسمى (Time-dependent stress-strain behavior)، وهذا ما قد يسبب على المستوى السريري نقصاً في الانحراف المرن للسلك مؤدياً إلى حركة سنينة غير كافية (Valiathan and Siddhartha, 2006).

درس Kusy & Zufall الخواص المرنة اللزجة لأسلاك الـ bis-GMA & TEGDMA المقواة بزجاج S2 وبيننا أن اللزوجة تنقص بمقدار 1% عند الجهد الأولي، ولا علاقة لنسبة المادة المائنة بذلك، وخلصوا من هذه الدراسة إلى أن أسلاك الراتنج حافظت على رجوعية كافية خلال المراحل الأولى والمتوسطة من المعالجة التقويمية (Zufall and Kusy, 2000a, 2000b).

ومن جهة أخرى وعلى مستوى أسلاك الربط، فإن تحرر الجهد أمر مستحب بشكل كبير، لأن ذلك يخفف من الاحتكاك الناتج بين الحاصرة والسلك مسهلاً بذلك من انزلاق الأسنان (Valiathan and Siddhartha, 2006)، لذلك عمل Kusy & McKamey على تطوير مادة راتنجية تستخدم في أسلاك الربط يدخل في تركيبها: (n-butyl methacrylate) وألياف مسحوبة من ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)، وقد بينت الدراسة أن سلك الربط يفقد 98% من قوة الربط وبالتالي 98% من الاحتكاك خلال ساعات قليلة، وهذا أمر مرغوب خلال الحركة الانزلاقية وخاصة أن هذه الأسلاك ذات جمالية عالية لكن تبقى العقبة الأكبر في الكيفية الأمثل لربطها (Kusy, 1998).

وصف Burstone & Kuhlberg تطبيقاً جديداً للراتنج المقوى بالألياف وأطلقا عليه اسم (splint-it) الذي يتركب من ألياف زجاجية S2 في قالب راتنجي من bis-GMA، وقد استخدم بهدف التثبيت بعد المعالجة التقويمية سواءً لكامل القوس السنية أو لجزءٍ منها، وكذلك لتقوية الدعم عبر ربط عدة أسنان مع بعضها، إن الميزة الخاصة لهذا النوع من أسلاك الراتنج تأتي من قابلية الالتصاق المباشر على الأسنان دون الحاجة إلى تطبيق حاصرات في حالات معينة، بالإضافة إلى إمكانية أن تكون بديلاً فعالاً عن الأجهزة اللسانية (Burstone and Kuhlberg, 2000).

(2-1) الخصائص الميكانيكية للمواد:

يعرف العالم Kusy الخصائص الميكانيكية للمواد بأنها الخصائص التي تتمتع بها المواد مثل: (المتانة Strength - الجساءة Stiffness - مجال الانحراف Range - قابلية التشكيل Formability - قابلية اللحام Weldability - الخ) التي تتم دراستها من أجل الوصول إلى السلك التقويمي المثالي (Kusy, 1997).

والخصائص الميكانيكية للمواد كما يعرفها العالم Burstone بأنها أبسط طريقة لوصف الكيفية التي تعمل بها المواد عند تطبيق القوى التقويمية عليها (Burstone, 2000).

ويمكن تحديد الخصائص الميكانيكية لأي مادة على أساس استجابتها الداخلية للقوى الخارجية المؤثرة فيها، والتي تكون بشكل إجهاد (ضغط) أو انفعال (شد).

ويعرف Proffit الإجهاد Stress: بأنه التوزع الداخلي للقوة المطبقة على المادة المدروسة ويتحدد بشدة القوة المؤثرة في واحدة السطوح (Proffit, 2007).

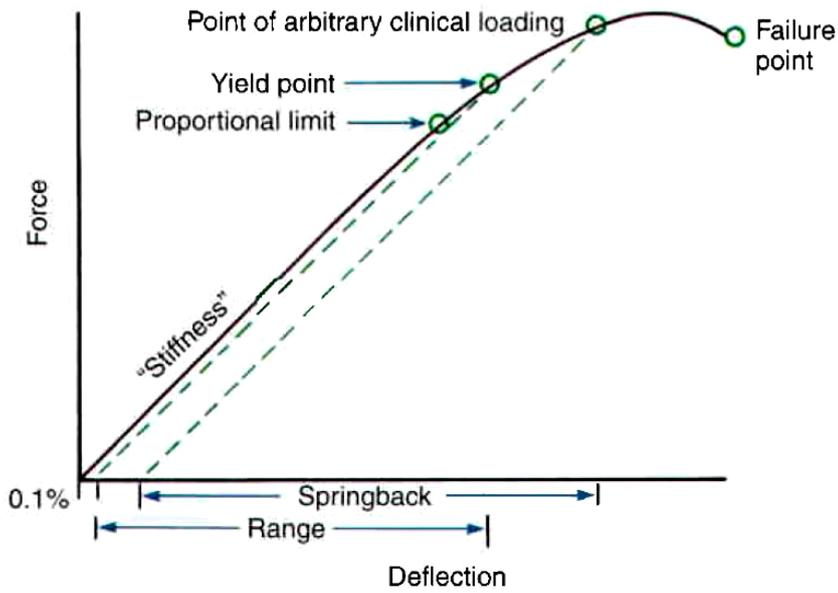
بينما يعرف Kumar الإجهاد بأنه رد فعل في الجسم الصلب عند تطبيق قوة ما عليه، يكون مساوياً للقوة المطبقة ومعاكساً في الاتجاه. (Krishnan and Kumar, 2004)

أما الانفعال Strain: فهو التشوه الداخلي للمادة الناتج عن القوة المؤثرة فيها ويتم تحديده بمقدار الانحراف (الاستطالة) Deflection أو التغير الذي يطرأ في واحدة طول المادة المدروسة. (Proffit, 2007)

يمكن قياس الإجهاد والانفعال الداخليين، في حالة الشد أو التوتر Tension، عن طريق معرفة القوة المطبقة (Force) والانحراف الناتج عنها (Deflection) وبعد الأخذ بعين الاعتبار مساحة العارضة وطولها الأصلي وبتحليل منحنى (إجهاد - انفعال) الخاص بالمادة يمكن فهم الخصائص الميكانيكية لهذه المادة بشكل أفضل. (Oltjen et al., 1997)

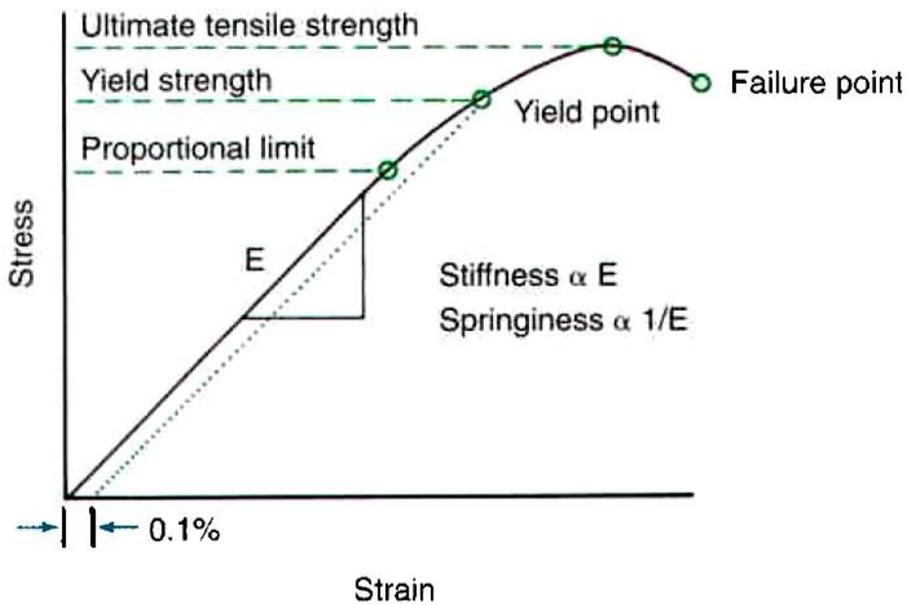
وفي النتيجة فإن القوة Force والانحراف Deflection مقداران قابلان للقياس، يقابلان مقدارين لا يمكن قياسهما هما الإجهاد Stress (وهو التوزع الداخلي للقوة المطبقة) ويقابل القوة، والانفعال Strain (وهو الخلل الداخلي الناجم عن القوة) ويقابل الانحراف. (Matasa, 2005)

فإذا تم تطبيق قوة على أي مادة فإن استجابتها (خصائصها الميكانيكية) تكون قابلة للقياس من خلال معرفة مقدار الانحراف، الذي يكون بشكل انحناء Bending أو قتل Twisting ناتج عن القوة المطبقة، ويمكن تمثيل العلاقة بين القوة المطبقة على المادة والانحراف الذي ينتج عن هذه القوة بواسطة منحنى بياني مميز من حيث شكله يعرف باسم منحنى (حمولة (قوة) - انحراف) (Load(Force) - Deflection) Diagram أو منحنى (إجهاد - انفعال) (Stress - Strain) Diagram. (Goldberg et al., 1983b)



الشكل (4-1) منحنى (قوة - انحراف) (Force - Deflection) Diagram

(Proffit, 2007)



الشكل (5-1) منحنى (إجهاد - انفعال) (Stress - Strain) Diagram

(Proffit, 2007)

لقد حدد Proffit الخصائص أو الصفات الميكانيكية للمواد والأسلاك التقويمية، التي تلعب دوراً هاماً في تحديد الفعالية السريرية لها (Proffit, 2007) كما يلي:

1- المقاومة أو المتانة Strength.

2- القساوة (الجساءة) Stiffness أو الخاصة المعاكسة لها وهي المرونة Springiness.

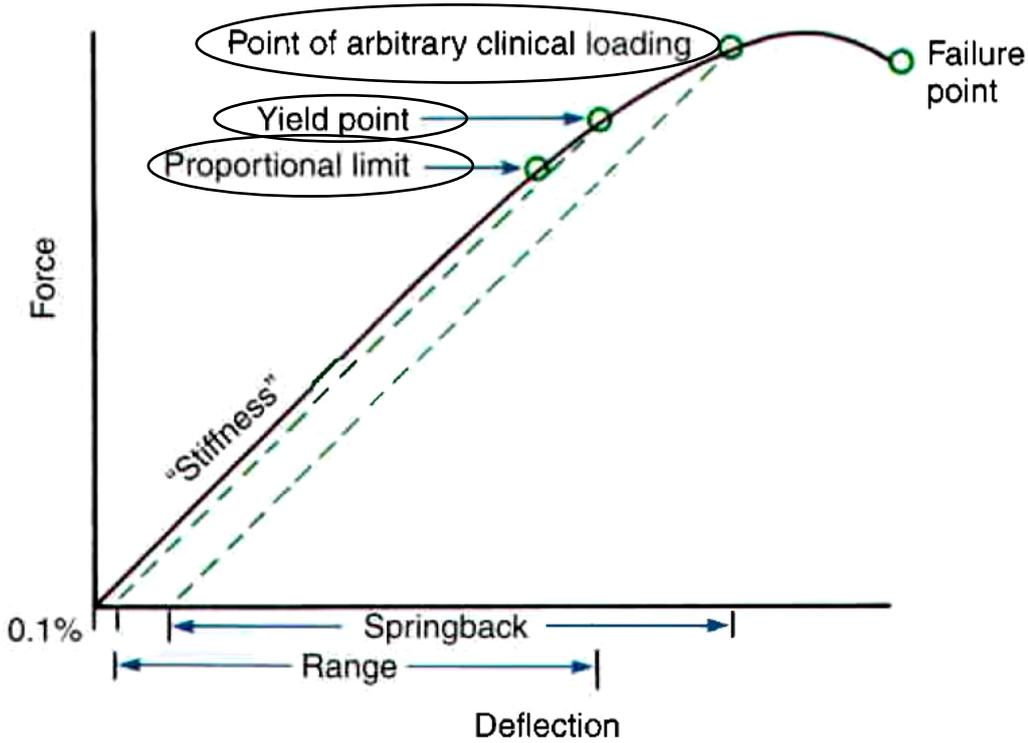
3- مجال الانحراف Range.

(1-2-1) المقاومة أو المتانة Strength:

هي القوة الأعظمية المطلوبة من أجل كسر بنية ما. (Burstone, 2005)

بينما يعرفها Kusy بأنها القوة اللازمة لتنشيط القوس السلكية مسافة معينة. ولدى الأخذ بعين الاعتبار نسب خاصة المرونة فإن المقاومة تعرف: بأنها القوة التي يتحملها السلك التقويمي ضمن مجال مرونته؛ (حد المرونة Elastic Limit) والتي تشابه في كميتها (حد التناسب Proportional Limit) (Kusy, 1997).

على المنحنى البياني النموذجي الذي يمثل العلاقة بين القوة والانحراف، أو بين الإجهاد والانفعال، توجد ثلاث نقاط يمكن استخدامها للدلالة على مقاومة المادة (Proffit, 2007):



الشكل (6-1) منحنى (قوة - انحراف) Diagram (Force - Deflection)

(Proffit, 2007)

* النقطة الأولى وتعرف باسم حد المرونة Elastic Limit أو حد التناسب Proportional Limit، وتمثل النقطة التي تبدأ عندها حدوث أولى علامات التشوه الدائم للمادة المدروسة التي تم تطبيق القوة عليها. (Proffit, 2007)

* النقطة الثانية وتعرف باسم نقطة الخضوع "Yield Point" أو نقطة مقاومة الشد "Yield Strength"، وهي أكثر دقة من الناحية الميكانيكية لأنها تمثل النقطة الموافقة لحدوث 0.1% من التشوه الدائم القابل للقياس الذي يطرأ على المادة المدروسة. (Proffit, 2007)

* النقطة الثالثة تعرف باسم مقاومة الشد القصوى "Ultimate Tensile Strength" وتمثل القوة القصوى التي تستطيع تحملها المادة المدروسة قبل حدوث التشوه الدائم. وبالمقابل تدل هذه النقطة على الحد الأقصى للقوة التي تستطيع المادة توليدها أو نقلها عند

استخدامها بشكل نابض Spring، لذلك تعرف أيضاً باسم «القوة المرنة القصوى» (Proffit, 2007)، بينما يعرفها Kusy بأنها المقاومة الهندسية العظمى المختبرة على المادة المدروسة عند اختبار الشد، وفي أغلب الأحيان يستخدم مصطلح مقاومة الشد القصوى "Ultimate Tensile Strength". (Kusy, 1997).

هذه النقطة الأخيرة تقع فوق مستوى نقطة مقاومة الخضوع وحد التناسب، ويتم الوصول إليها بعد حدوث درجة معينة من التشوه الدائم في مادة الخليطة المدروسة.

من ناحية أخرى توافق النقطة الموافقة لحد التناسب، أو حد المرونة (EL)، نهاية المنطقة الموافقة لمجال المرونة أو المنطقة التي يحدث فيها التشوه المرن الردود القابل للعودة إلى المادة المدروسة، كما أنه ضمن هذا المجال (مجال المرونة) توجد علاقة تناسبية مباشرة (طردية) وخطية بين القوة المؤثرة في سلك المادة المدروسة وكمية الانحراف الناتج عنها، وهذه العلاقة التناسبية توجد ضمن مجال المرونة فقط وتعرف باسم قانون هوك Hook's Law.

تقاس المتانة بوحدات الضغط أو الإجهاد أي الغرام / سم². (Proffit, 2007).

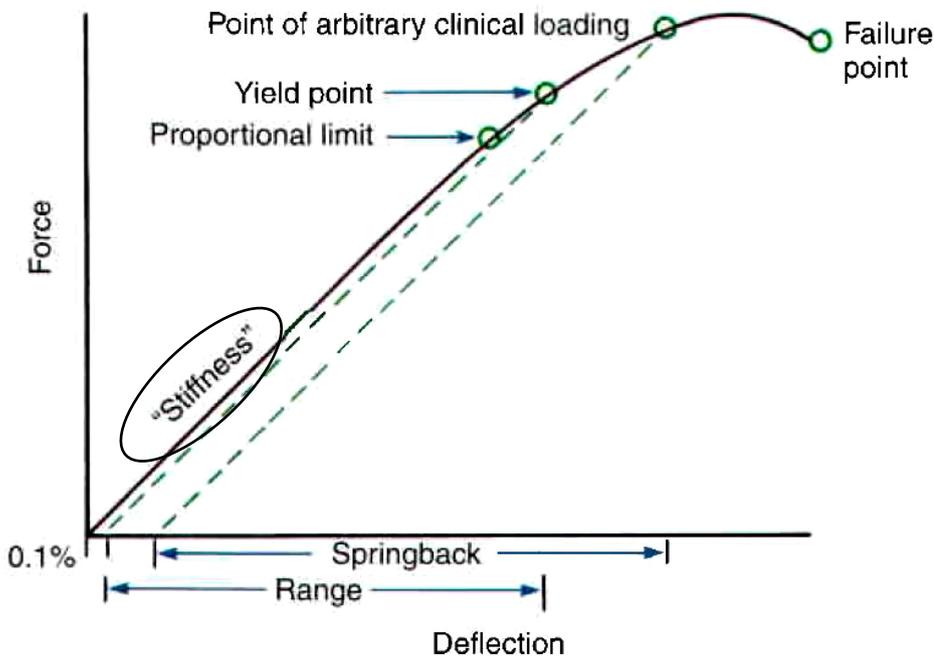
(2-2-1) القساوة (الجساءة) Stiffness:

جساءة المادة Stiffness: هي الخاصية المعاكسة لمرونتها Springiness أو نابضيتها، وتشير إلى العلاقة التناسبية الكائنة بين القوة Force والانحراف Deflection الناتج عن هذه القوة. لذلك تشير الجساءة من الناحية السريرية إلى خاصية هامة للمواد المرنة أو الأسلاك التقويمية تعرف باسم معدل الحمولة إلى الانحراف (Load - Deflection Rate) وتمثل عملياً القوة المتولدة عن السلك أو العنصر التقويمي المرن في كل وحدة من وحدات تنشيطه. (Proffit, 2007).

أما Kusy فيقول إن الجساءة هي نسبة القوة اللازمة للتنشيط -في الأقواس السلوكية- إلى المسافة التي ينتشط بهذه القوة القوس السلوكي بشكل مرن ضمن مجال المرونة. ومع

الأخذ بعين الاعتبار نسب خاصة المرونة فإن الجساءة تساوي حاصل قسمة المقاومة Strength على مجال الانحراف Range وذلك ضمن مجال المرونة. (Kusy, 1997)

تتناسب جساءة المادة أو السلك بشكل طردي مع معامل مرونة الخليطة المعدنية (E) Modulus Of Elasticity الذي يتمثل بدرجة ميلان الجزء المستقيم للخط البياني الذي يمثل العلاقة بين القوة المطبقة على السلك والانحراف الناتج عنها (أو منحى الإجهاد الانفعال). (Proffit, 2007)



الشكل (7-1) منحى (قوة - انحراف) (Force - Deflection) Diagram

(Proffit, 2007)

فكلما ازدادت قيمة معامل مرونة السلك (أو المادة المرنة)، أي ازدادت زاوية انحراف الجزء المستقيم للخط البياني السابق، تزداد جساءة السلك أو مقاومته للانحناء وبالتالي تزداد شدة القوة الناتجة عن هذا السلك في أثناء اختفاء التنشيط Deactivation المطبق عليه وعودته إلى حالته الحيادية. وبالمقابل مع انخفاض معامل مرونة السلك ونقصان درجة ميلان الجزء الخطي المستقيم، تصبح القوة الناتجة عن تنشيطه (والمؤثرة في النسج حول

السنية) محدودة الشدة. أي إن جساءة السلك المعدني أو مقاومته للانحناء تمثل الخاصة المعاكسة لمرونته Springness. (Kusy, 1997 , Matasa, 2005).

ولذلك فإنه بوجود جساءة منخفضة (أي معدل حمولة - انحراف منخفض) أو مرونة عالية للسلك التقويمي:

1- تتناقص شدة القوة المؤثرة في الأسنان الناتجة عن العناصر التقويمية المرنة في أثناء اخفاء التنشيط المطبق عليها Deactivation.

2- تصبح القوى الميكانيكية الناتجة عن الأسلاك أكثر استمرارية Constant ويتواصل تأثيرها خلال فترة زمنية طويلة نسبياً.

3- تزداد درجة السيطرة على دقة القوى التقويمية الناتجة عن تنشيط الأسلاك، ويسهل ضبطها وبالتالي تُمنع التأثيرات غير المرغوبة المرافقة عادة للقوى التقويمية الشديدة قصيرة الأمد (Burstone, 2005 , Rucker and Kusy, 2002).

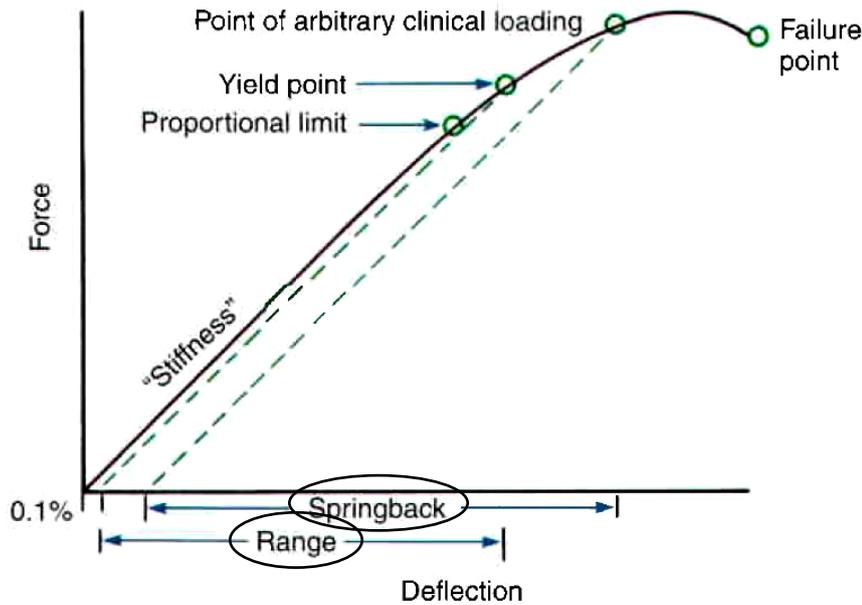
تتأثر جساءة السلك أو مقاومته للانحناء إذاً بمعامل مرونة المعدن الذي يرتبط بتركيب أو بنية الخليطة المعدنية التي استخدمت لصنع هذا السلك، إضافةً إلى بعض العوامل المرتبطة بأبعاد المقطع العرضي للسلك و شكله و طوله (Oltjen et al., 1997 , Burstone, 2005).

(1-2-3) مجال انحراف المادة المرنة Range:

يعرّف مجال الانحراف بأنه المسافة التي يظل فيها السلك المرن قابلاً للانحناء أو الانحراف بشكل مرن وقبل بداية حدوث تشوه دائم فيه. تقاس هذه المسافة بالمليمترات على محور السينات للخط البياني الذي يمثل العلاقة بين الحمولة والانحراف للسلك التقويمي المدروس، وتكون نهايته موافقة لمسقط النقطة التي تمثل « مقاومة أو نقطة الخضوع » على هذا المحور الأفقي. (Proffit, 2007)

أما Kusy فيعرف مجال الانحراف: بأنه مقدار الانحراف الحاصل للقوس السلوكية عند تعرضها لقوة محددة، ويصطلح على هذا المقدار عندما يتم تحديد حدود التنشيط بمجال الانحراف العامل (Working Range). ويقاس بالمسافة التي ينحرفها السلك التقويمي بشكل مرن (مجال الانحراف المرن) الذي ينتهي عند حد التناسب Proportional Limit. (Kusy, 1997)

إذا تعرض السلك لانحراف يفوق مقاومة الشد الخاصة به أو حد مرونته فإنه لا يعود إلى شكله الأصلي الذي كان عليه قبل الانحراف، ولكن تظل هناك بعض المرونة الارتدادية Springback التي يمكن الاستفادة منها سريرياً ما دام الانحراف الذي خضع له السلك لم يصل إلى نقطة انكساره Failure Point، تقاس هذه المرونة الارتدادية على محور السينات، بشكل مشابه لقياس مجال انحراف السلك المرن، حتى النقطة الموافقة لمسقط "مقاومة الشد العظمى" أو "نقطة التحميل السريري المطلق" Arbitrary Clinical Loading الخاصة بالسلك. كما تمثل أيضاً مجال تنشيط السلك أو مجال عمله Working Range أو لدونته القصوى Maximum Flexibility. (Graber, 2000)



الشكل (8-1) منحنى (قوة - انحراف) Diagram (Force - Deflection) (Proffit, 2007)

أخيراً يجب الإشارة إلى أن هناك علاقة هامة بين الخواص الثلاث السابقة، وهذه العلاقة تكون على الشكل التالي: (Proffit, 2007)

$$\text{مقاومة (متانة) المادة أو السلك} = \text{الجساءة (مقاومة الانحناء)} \times \text{مجال الانحراف}$$

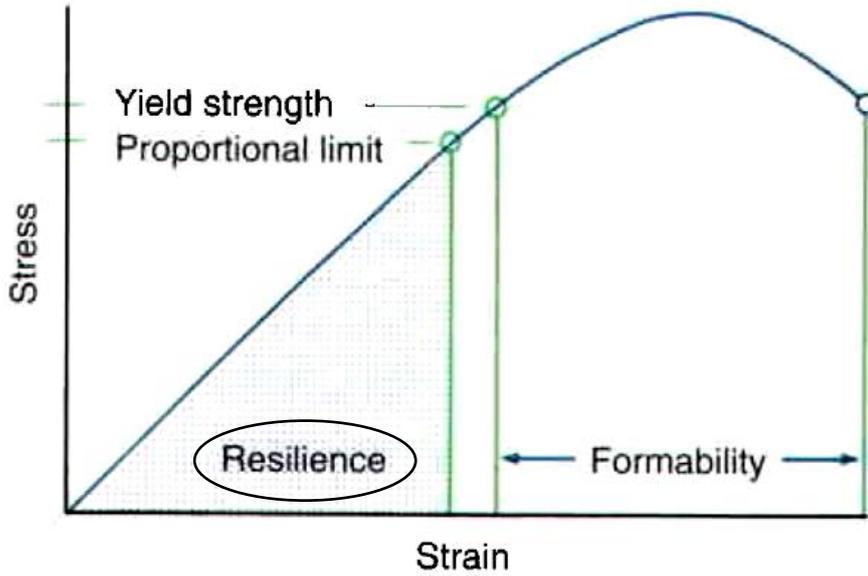
إضافة إلى الخصائص الثلاث السابقة التي تتدخل إلى حد كبير في تحديد سلوك الأسلاك التقويمية، توجد خاصتان إضافيتان تؤثران في فعالية الأسلاك التقويمية من الناحية السريرية، وهما:

(4-2-1) الرجوعية Resilience:

تُعرّف الرجوعية بقدرة السلك على العودة إلى حالته الأولية السابقة للتنشيط، وتتمثل بالمنطقة الموجودة تحت حد المرونة أو حد التناسب الخاص بالسلك وذلك على المنحنى الذي يمثل العلاقة بين الإجهاد والانفعال. (Proffit, 2007)

كما يعرفها Kusy بأنها قدرة المادة على امتصاص الطاقة إذا تعرضت لتشوّه ردود، وتتمثل بالمنطقة الواقعة تحت الجزء المرن على المنحنى الممثل (إجهاد-انفعال). (Kusy, 1997)

إذاً تعبر هذه الخاصة - الرجوعية - عن قدرة السلك على تخزين الطاقة ضمنه Energy Storage، التي ترتبط بدورها بخاصتي المتانة (مقاومة السلك) والمرونة. كذلك تشير هذه الخاصة إلى الطاقة أو كمية العمل الفعلية التي يستطيع الطبيب استعادتها من السلك أو القوس التقويمي بعد تنشيطه (Kusy, 1997 , Proffit, 2007).



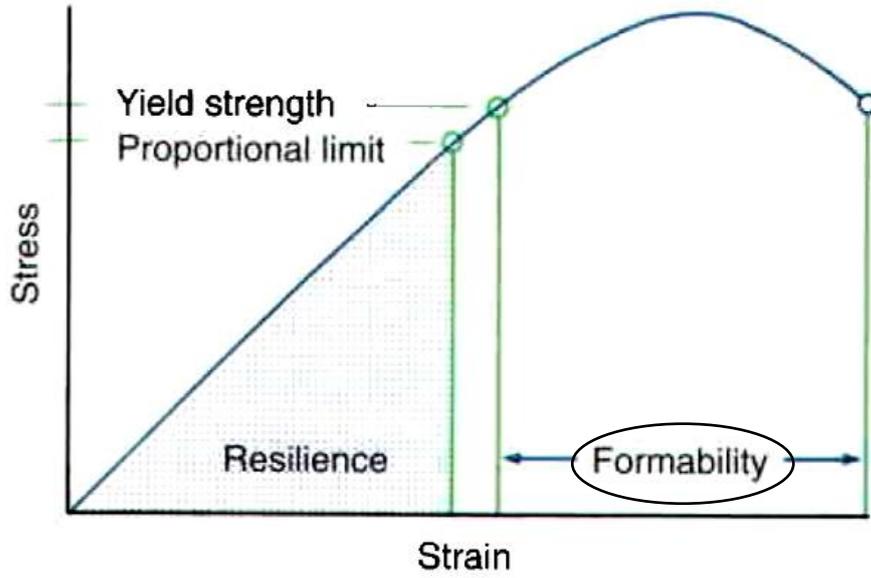
الشكل (9-1) منحنى (إجهاد - انفعال) (Stress - Strain) Diagram

(Proffit, 2007)

(5-2-1) قابلية التشكيل Formability:

قابلية تكييف أو تشكيل الأسلاك Formability هي خاصية تشير إلى مقدار التشوه الدائم الذي يمكن للسلك التقويمي تحمله قبل أن يتعرض للانكسار أو التخرّب البنيوي، أي قبل الوصول إلى نقطة الانهيار أو الانكسار الخاصة به Failure Point. (Proffit, 2007)

أما Kusy فيعرّف قابلية التشكيل لأي مادة بأنها سهولة تكييف المادة وتشوهها بشكل دائم، وتقاس بمقدار الاختلاف بين مجال الانحراف المرن (Elastic Range) ومجال الانحراف عند نقطة الانكسار. (Kusy, 1997)



الشكل (10-1) منحنى (إجهاد - انفعال) (Stress - Strain) Diagram

(Proffit, 2007)

يستفاد من هذه الخاصة على المستوى التقويمي السريري في أثناء استخدام الأسلاك بشكل أقواس مرنة أو نوابض، إذ تحدد قابلية التشكيل مقدار تحمل الأسلاك للانحناءات الدائمة والإجهادات في أثناء التشكيل دون تعرضها للانكسار. (Vena et al., 2007)

على المخطط الذي يمثل العلاقة بين الإجهاد والانفعال تتمثل قابلية تشكيل السلك في المنطقة الموافقة لمجال اللدونة Zone Of Plasticity التي تمتد بين النقطة الموافقة لنهاية مجال المرونة (أي نقطة مقاومة الشد أو الخضوع) ونقطة انكسار السلك. (Proffit, 2007)

(3-1) أنواع العارضات:

يمكن اعتبار الأسلاك والأقواس التقويمية المستخدمة لإنجاز مختلف الحركات السنية التقويمية بمنزلة دعامات أو عارضات Beams، ولها نوعان:

1- العارضة المجنحة Cantilever: هي العارضة المثبتة من إحدى نهايتها فقط بينما تكون النهاية الأخرى حرة، كما في حالة النابض البسيط المستخدم في الأجهزة المتحركة أو الثابتة.

2- العارضة المدعمة Supported Beam: هي العارضة المثبتة من نهايتها معاً (كما في حال جزء من قوس تقويمي مستمر يمتد بين حاصرتين متجاورتين). (Proffit, 2007)

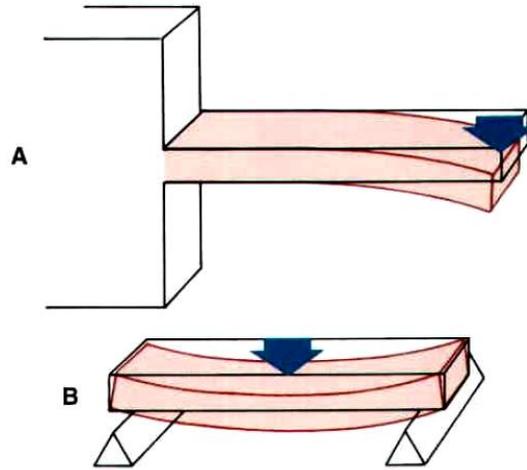


FIGURE 10-1 Cantilever (A) and supported beams (B).

الشكل (11-1) النموذجان الأساسيان للعارضات أو الدعامات:

(A) المجنحة (B) المدعمة. (Proffit, 2007)

(4-1) تأثير أبعاد الأسلاك وشكل مقطعها في خصائصها الميكانيكية:

تتأثر الخصائص الميكانيكية الأساسية المميزة للأسلاك التقويمية وهي:

- المتانة أو المقاومة Strength.
- الجساءة أو مقاومة الانحناء Stiffness.
- مجال الانحراف Range.

بأي تبدل يحدث على مستوى الصفات الهندسية والشكلية للسلك التقويمي، الذي يمكن اعتباره من الناحية الميكانيكية عارضة أو دعامة: إما من النموذج المجّح Cantilever (نقطة ارتكاز واحدة لإحدى نهايتي العارضة) أو من النموذج المدعم Supported (بنقظتي ارتكاز على نهايتي العارضة). (Graber, 2000)

فالمقطع العرضي للسلك Cross-section (دائري أو مستطيل أو مربع)، وكذلك طول السلك يؤثران بشكل واضح جداً في الخصائص الميكانيكية السابقة، لكن هذا الأمر لا يلغي حقيقة أن أداء الدعامة التي يمثلها السلك التقويمي يتحدد بالأثر المشترك لخصائص المادة الأساسية وبعض العوامل الهندسية المرتبطة بتصميم السلك وطوله وشكله وأبعاد مقطعه العرضي. (Burstone, 2005)

(1-4-1) تأثير المقطع العرضي أو قطر السلك:

(1-1-4-1) حالة العارضة المجّحة Cantilever Beam:

عند مضاعفة قطر السلك في النابض الإصبعي البسيط Finger Spring المصمم من سلك دائري المقطع تزداد متانته Strength بمقدار 8 مرات ، أي إن السلك الأكبر قطراً يكون قادراً على مقاومة قوة أشد بثمانية مرات من السلك الأصغر قطراً قبل أن يتعرض للتشوه الدائم (أو أن السلك الأكبر قطراً يكون قادراً على توليد قوة أكبر بثمانية مرات من السلك الأصغر قطراً)، وبالمقابل ينتج عن مضاعفة قطر السلك الدائري المقطع والمستخدم بشكل عارضة مجّحة انخفاض في مرونته Springiness (أو زيادة في قساوته أو مقاومته للانحناء Stiffness) بمقدار 16 مرة، وكذلك انخفاض مجال تنشيطه Range إلى النصف (علاقة تناسبية عكسية مباشرة بين المجال وأبعاد المقطع العرضي للسلك الدائري المقطع). (Proffit, 2007)

وبشكل عام يمكن صياغة القوانين التالية المتعلقة بالعارضة المجّحة والأسلاك التقويمية المماثلة لها من حيث التصميم:

1) متانة (أو قوة) العارضة تتغير لمكعب النسبة بين السلك الأكبر قطراً والسلك الأصغر قطراً، أي إن المتانة تزداد مع زيادة أبعاد مقطع السلك.

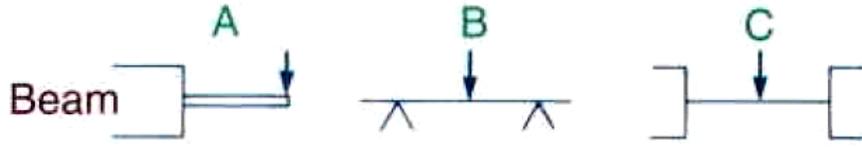
2) مرونة السلك (الخاصة المعاكسة للجساءة) تتغير تبعاً للقوة الرابعة للنسبة بين السلك الأصغر قطراً والسلك الأكبر قطراً أي إن المرونة تتناقص أو إن جساءة السلك تزداد مع زيادة أبعاد مقطع السلك.

3) مجال انحراف السلك يتغير بعلاقة عكسية بين السلك الأصغر قطراً والسلك الأكبر قطراً، أي إن المجال ينقص مع زيادة أبعاد مقطع السلك. (Burstone, 2005)

2-1-4-1) حالة العارضة المثبتة من نهايتها Supported Beam:

في هذه الحالة يعتبر الأمر أكثر تعقيداً لأن تثبيت نهايتي العارضة (أو السلك) يجعلها أكثر متانة وأقل مرونة أو أقل قابلية للانثناء، وبشكل خاص عندما تكون نهايتا السلك مرتبطتين بشكل محكم مع الحاصرتين وغير قابلتين للحركة أو الانزلاق بحرية على طول شق الحاصرة Bracket Slot. وعند استخدام سلك مستطيل المقطع فإن البعد الذي يوافق اتجاه انحناء السلك أو العارضة سيشكل المحدد الأولي للخواص المرنة المرتبطة بهذه العارضة. وتبقى القواعد المرتبطة بالعارضة المجنحة قابلة للتطبيق على العارضة المثبتة من طرفيها، أي إنه مع زيادة قطر السلك تزداد متانته بمقدار 8 أمثال وتنخفض مرونته بمقدار 16 مثلاً وينخفض مجال انحرافه للنصف. (Proffit, 2007)

كما تكون القوة الناتجة عن استخدام سلك مستطيل المقطع متناسبة طردياً مع عرض السلك وبشكل أسّي مع مكعب ثخانته (أو طول الضلع الأصغر للمستطيل) لذلك تؤدي مضاعفة ثخانة السلك المستطيل المقطع إلى زيادة القوة الناتجة عنه بمعدل 8 أمثال، بينما ينتج عن زيادة عرض السلك المستخدم مضاعفة القوة الناتجة عنه فقط. (Burstone, 2005)



For A:

$$\text{Strength} \quad d \rightarrow 2d = 8 \quad \left(\frac{2d}{d}\right)^3$$

$$\text{Springiness} \quad d \rightarrow 2d = 1/16 \quad \left(\frac{d}{2d}\right)^4$$

$$\text{Range} \quad d \rightarrow 2d = 1/2 \quad \left(\frac{d}{2d}\right)$$

الشكل (12-1) تأثير المقطع العرضي أو قطر العارضة وكذلك طريقة ارتباطها (في حال العارضة المدعمة المتمثلة بجزء من القوس التقويمي الممتد بين حاصرتين) على خواصها الميكانيكية الأساسية (Proffit, 2007)

(2-4-1) تأثير طول السلك وقوة ارتباطه:

ينتج عن تعديل طول العارضة (السلك التقويمي)، مهما كانت طبيعة الخليطة المعدنية المكونة له، تبدلات جوهرية في الخصائص الميكانيكية لهذا السلك. (Burstone, 2000)

(1-2-4-1) حالة العارضة المجنحة Cantilever Beam:

ينتج عن مضاعفة طول العارضة المجنحة انخفاض قوة انحنائها Bending Strength إلى النصف. وزيادة مرونتها 8 أمثال ومجال انحرافها 4 أمثال. (Burstone, 2005)

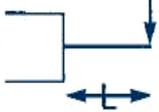
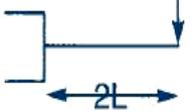
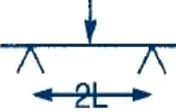
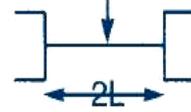
وبشكل عام مع زيادة طول العارضة المجنحة تتناقص متانتها أو قوتها بعلاقة تناسبية طردية، وتزداد مرونتها بمقدار مكعب النسبة بين طول السلك الأقصر والسلك الأطول، ويزداد مجال انحرافها بمقدار مربع النسبة بين طول السلكين. (Proffit, 2007)

إن تعديل طول السلك في حالة الفتل Torsion يؤثر في خصائصه الميكانيكية بشكل مختلف تماماً عن حالة الانحناء Bending، إذ تزداد المرونة ومجال الانحراف بعلاقة تناسبية طردية في حالة الفتل، بينما لا تتأثر متانة السلك أو قساوته (مقاومته للانحناء) في هذه الحالة. (Burstone, 2005)

(1-4-2-2) حالة العارضة المثبتة من نهايتها Supported Beam:

وفي حالة العارضة المدعمة أو المثبتة من طرفيها لا تختلف المعطيات كثيراً عن تلك المرافقة للعارضة المجنحة، إذ يؤدي زيادة الطول إلى تناسب عكسي بالنسبة للمتانة وزيادة طردية لكل من المرونة ومجال الانحراف. (Proffit, 2007)

تتأثر الخواص الميكانيكية للعارضة أيضاً بطريقة ارتباطها أو تثبيتها، فالسلك التقويمي قد يكون مرتبطاً مع الحاصرات بشكل قوي ومحكم أو بشكل ضعيف ورخو، فالسلك الذي يكون بشكل مشابه لعارضة مثبتة من نهايتها يتميز بمرونة أكبر عندما يكون ارتباطه مع الحاصرات ضعيفاً، أو غير محكم وقادر على الانزلاق بشيء من الحرية ضمن الحاصرات التي يرتبط معها. وبشكل عام تكون العارضة السلوكية، غير المثبتة بإحكام من نهايتها ذات مرونة تعادل 4 أضعاف مرونة العارضة المماثلة في الطول والمثبتة بإحكام مع الحاصرات، ومتانتها تعادل نصف متانة العارضة المثبتة بإحكام، ومجال انحرافها يعادل ضعف مجال انحراف العارضة المثبتة بإحكام. (Proffit, 2007 , Adams et al., 1987).

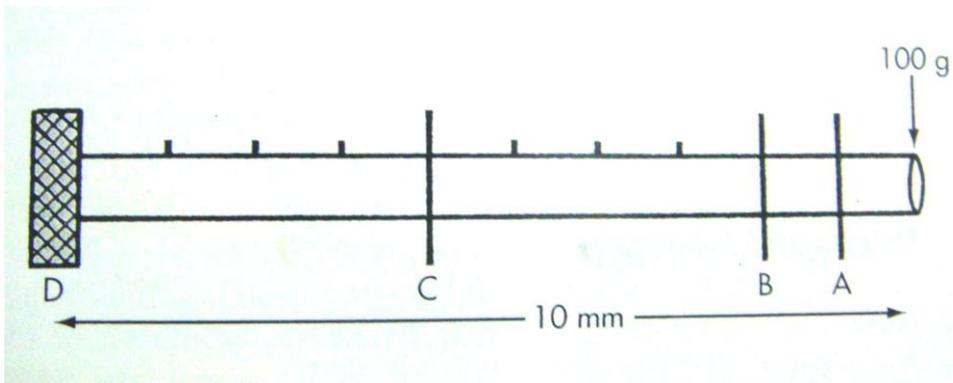
Beam				
Strength	1/2	1/4	1	2
Springiness	1	8	1	1/4
Range	1	4	1	1/2

الشكل (13-1) تأثير طول العارضة وكذلك طريقة ارتباطها (في حال العارضة المدعمة المتمثلة بجزء من القوس التقويمي الممتد بين حاصرتين) في خواصها الميكانيكية الأساسية (Proffit, 2007).

(5-1) بعض الإجراءات المتخذة للتأثير في معدل (حمولة - انحراف):

(1-5-1) زيادة طول السلك:

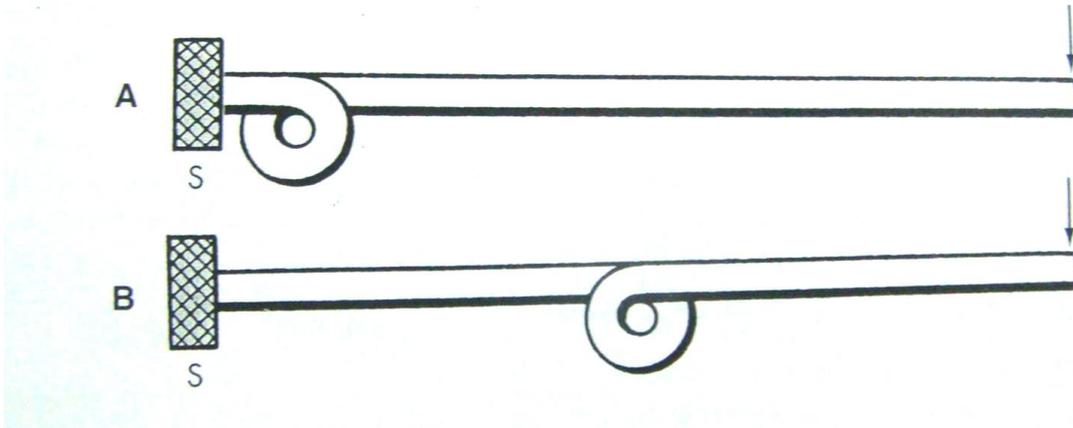
يمكن دمج طول إضافي من السلك التقويمي ضمن تصميم أي نابض أو قوس فعال عن طريق استخدام الحلقات Helices أو العرى، هذه الإضافات تعمل على تقليل معدل (حمولة - انحراف) الخاص بالسلك المستخدم ك نابض، وبالتالي زيادة مرونة هذا العنصر الفعال ومجال عمله. وتجدر الإشارة إلى أن هذا الإجراء لا يؤثر بشكل ملموس في الحمولة المرنة القصوى للسلك.



الشكل (14-1) تأثير زيادة طول السلك في خواصه الميكانيكية الأساسية (Burstone, 2005)

ولكن السؤال المهم: ماهو المكان الأمثل للعروة (السلك الإضافي)، للتمكن من إنقاص جساءة السلك دون التأثير في الحمولة المرنة القصوى الخاصة به؟

إن النابض المرن، الذي يبلغ طوله 10 مم، يخضع لقوة عمودية مثلاً بقيمة 100 غ تؤثر في نهايته الحرة أو غير المثبتة. فإذا تصورنا وجود مقاطع عمودية ممتدة على طول هذا السلك (وموافقة للنقاط A و B و C)، يصبح من الممكن حساب الانحناء الناتج عن القوة المطبقة على كل جزء من النابض. إذ يمكن الحصول على عزم الانحناء Bending Moment عن طريق ضرب شدة القوة المؤثرة في النهاية الحرة للنابض بالمسافة العمودية التي تفصلها عن موضع المقطع المدروس. لذلك يكون عزم الانحناء في النقطة الموافقة لنهاية الحرة للنابض المرن معدوماً، ويصبح 100 غ. مم عند النقطة A التي تبعد 1 ملم عن النهاية الحرة للنابض. أما عزم الانحناء في النقطة D الموافقة لنقطة ارتكاز النابض فيكون مساوياً 1000 غ. مم. هذا العزم يولد رد فعل ضمن السلك يمثل العزم الداخلي الذي يعاكس أو يقاوم قوة بقيمة 100 غ مطبقة على النهاية الحرة للنابض الذي يكون بطول 10 مم. فكلما ازدادت قيمة عزم الانحناء المتولد في أي جزء من أجزاء المقطع العرضي للسلك، تزداد كمية الانحناء التي يخضع لها السلك في ذلك الجزء، لأن مدلول عزم الانحناء يشير إلى مقدار الانحناء عند كل جزء من أجزاء المقطع العرضي للسلك، لذلك فإن الموضع الأمثل للعروة المضافة التي تهدف إلى تقليل معدل (حمولة - انحراف) الخاص بالنابض المستخدم، يوافق الأجزاء التي يكون فيها عزم الانحناء أعظم ما يمكن، ويوافق في حالة النابض المرن، نقطة ارتكاز هذا النابض أو نقطة تثبيته، وبالمقابل لا تؤدي هذه العرى أو الحلقات المضافة إلى تصميم النابض وشكله، إلى أي تأثير في قيمة الحمولة المرنة القصوى للنابض، لأن هذا العامل يرتبط بطول النابض، ووجود العروة لا يزيد من طول النابض. (Burstone, 2005)



الشكل (1-15) تأثير كمية السلك في خواصه الميكانيكية الأساسية

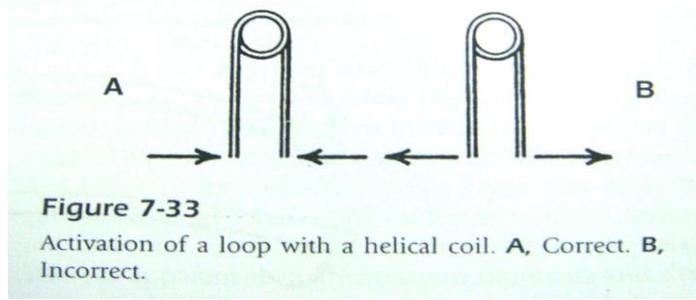
(A): الموضع الأمثل للعروة الحلقية المضافة إلى العارضة المجنحة يكون النقطة الموافقة للحد الأعظمي من عزم الانحناء (Burstone, 2005).

وأخيراً فإنه يجب التنويه بأن هذه الطريقة يجب ألا تستخدم على مستوى العناصر المنفصلة أو غير المرنة ضمن الجهاز التقويمي. فالحلقات والعرى تعمل على تقليل متانة السلك وقد تكون مسؤولة عن بعض الضياع في التحكم المطلوب على مستوى الأسنان التي تؤمن وظيفة الدعم. لهذا السبب ينصح باستخدام القوس الحنكي المعترض، المصنوع من سلك فولاذي ذو مقطع مربع دون إضافة أي عروة أو حلقة إليه، عندما يكون الهدف من تطبيق هذا القوس زيادة ثبات الأسنان الخلفية التي تقوم بتأمين وظيفة الدعم. (Burstone, 2005)

(1-5-2) تأثير اتجاه التحميل:

تتأثر الخواص المرنة للأسلاك التقويمية أيضاً وبشكل واضح بالاتجاه الذي يتم من خلاله تنشيط العنصر المرن للجهاز التقويمي أو اتجاه تحميله، فإذا تم إخضاع جزء مستقيم من أي سلك تقويمي إلى قوة تؤدي إلى انحنائه لدرجة إحداث تشوه دائم فيه، ثم حاولنا بعد فترة من الزمن زيادة مقدار الانحناء أو التشوه الناتج عن المحاولة السابقة عن طريق حني السلك باتجاه مماثل لاتجاه الانحناء الأولي الذي طبق عليه، نجد أن السلك يكون أكثر مقاومة للتشوه الدائم مقارنة بالمقاومة التي يبديها فيما لو تمت محاولة تعريضه للانحناء باتجاه معاكس للاتجاه الأولي. أي إن السلك يكون أكثر مقاومة للتشوه الدائم بسبب احتوائه

على بعض الإجهاد المتبقي Residual Stress الذي ينتج عن الانحناء الأولي الذي تعرض له هذا السلك. وكقاعدة عامة لا يتعرض أي عنصر مرن ضمن الجهاز التقويمي للتشوه بسهولة إذا ما تم تنشيطه باتجاه مماثل لاتجاه الانحناءات الأولية التي طبقت عليه في أثناء تشكيله، فإذا أضيف انحناء ما للسلك التقويمي الفعال لا تكون الحمولة المرنة القصوى الخاصة بهذا السلك متماثلة في جميع الاتجاهات، بل هي أكبر ما يمكن في الاتجاه المماثل للاتجاه الأصلي الموافق لانحناء هذا السلك أو فتلته. وتعرف الظاهرة الفيزيائية المسؤولة عن هذا الاختلاف باسم ظاهرة بوشينغر Bauschinger Effect. (Burstone, 2005)



الشكل (16-1) عروة تقويمية تضم في قمته حلقة مؤلفة من عدد معين من الدورات Turns

الطريقة الأولى (A) من التحميل باتجاه مماثل للاتجاه الأولي الذي تم فيه تشكيل الحلقات ضمن هذه العروة، فإن نتيجة هذا التنشيط تكون صحيحة وفعالة على عكس الطريقة الثانية (B) (Burstone, 2005).

الجدول رقم (1-1) يلخص العوامل المؤثرة في: معدل (حمولة - انحراف)، الحمولة القصوى، الانحراف الأعظمي: (Burstone, 2005)

تأثير عامل التصميم	معدل الحمولة / الانحراف	الحمولة القصوى	الانحراف الأعظمي
Design Factor	Load-Deflection Rate	Maximal Load	Maximal Deflection
إضافة كمية (طول) من السلك بدون تعديل طول العنصر	ينخفض	لا تتأثر	يزداد
تنشيط العنصر باتجاه موافق	لا يتبدل	تزداد	يزداد

			لاتجاه التنشيط الأصلي
$\frac{1}{D}$	3D	4D	المقطع العرضي (D) للسلك الدائري المقطع
$\frac{1}{h}$	bh ²	bh ³	المقطع العرضي للسلك المستطيل المقطع (b, h) (سماعة السلك = h)
L ²	$\frac{1}{L}$	$\frac{1}{L^3}$	طول (L) السلك أو النابض المجنح
D = قطر السلك، L = طول السلك، h = سماعة السلك المستطيل المقطع			

(1-2-6) الاحتكاك Friction:

(1-6-2-1) تعريف الاحتكاك:

يُعرّف الاحتكاك: بأنه القوة الماسة للسطوح الخارجية المتلاصقة لجسمين متماسين، إذ تقاوم هذه القوة حركة أحد الجسمين بالنسبة للآخر تحت تأثير فعل تطبيق قوة خارجية. (O'Reilly et al., 1999 , Omana et al., 1992).

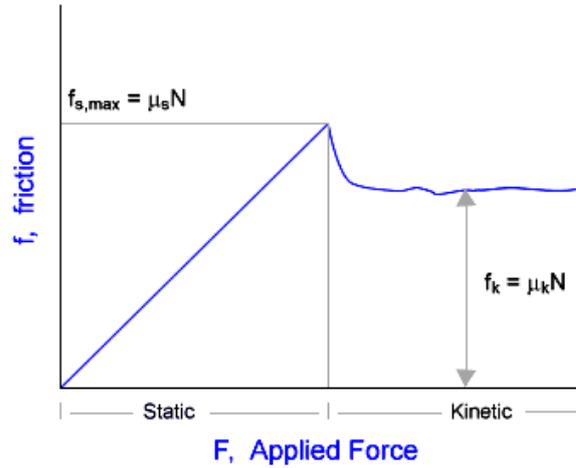
وبعبارة أكثر اختصاراً: هو القوة التي تقاوم الحركة النسبية لجسمين متماسين. (Cacciafesta et al., 2003)

(1-2-6-2) أنواع القوى الاحتكاكية:

يتميز Kusy و Omana و Redlich بين نوعين من الاحتكاك:

- الاحتكاك الساكن Static Friction: وهو أصغر قوة مطلوبة للبدء بحركة السطوح الصلبة المتلامسة، بعد أن كانت في حالة سكون قبل هذه الحركة نسبة إلى بعضها البعض.

- الاحتكاك الحركي Kinetic Friction: هو القوة التي تقاوم حركة انزلاق جسم صلب عندما يتحرك بتماس جسم آخر بسرعة ثابتة (Kusy and Whitley, 1989 , 1992 , Omana et al., 2003 , Redlich et al.).



الشكل (17-1) يبين الفرق بين الاحتكاك الساكن والاحتكاك الحركي.

في أثناء الحركة الانزلاقية ينبغي التغلب على المقاومة الاحتكاكية الساكنة (الاحتكاك الساكن) الناتجة عن الحركة من أجل بدء الحركة السنية، وحالما تبدأ الحركة يجب التغلب على المقاومة الاحتكاكية الحركية (الاحتكاك الحركي) بهدف الحفاظ على حركة ثابتة. (Jones et al., 2002)

وتكمن أهمية التمييز بين نوعي الاحتكاك في أمرين:

- اعتبرت العديد من الدراسات أن الاحتكاك الساكن أكثر أهمية من الاحتكاك الحركي، (Omana et al., 1992 , Redlich et al., 2003 , Iwasaki et al., 2003) بسبب الطبيعة المتقطعة للحركة السنية التي يُشار لها بظاهرة (انزلاق - توقف) أو (إمالة - تعמיד)، أي إن الحركة الانزلاقية للحاصرة على القوس السلكية ليست حركة مستمرة وثابتة وبالتالي فهي لا تشبه النموذج التقليدي لانزلاق أي جسم على آخر، (Jones et al., 2002 , Redlich et al., 2003)

(Nanda et al., 2005) وهنا تبرز الحاجة المستمرة إلى تجاوز الاحتكاك الساكن

في كل مرة تتحرك فيها السن مقداراً بسيطاً. (Chimenti et al., 2005)

- ومن وجهة نظر سريرية - ولأن المقاومة الاحتكاكية الساكنة أكبر من الحركية- فإن الاحتكاك الساكن هو الذي يُحدد مقدار القوة الفاعلة على الأسنان للتغلب على هذه المقاومة وإنجاز الحركة السنوية المطلوبة، بدون وضع المستويات المنخفضة لقوى الاحتكاك الحركية بعين الاعتبار. (Redlich et al., 2003)

من جهة ثانية؛ وجدت دراسات أخرى أنه من الصعوبة قياس كل نوع من نوعي الاحتكاك بشكل منفصل؛ إذ لا يكون من الواضح دائماً أي القياسين تم تسجيله، أو أيهما الأفضل لتمييز القوى الاحتكاكية والمقارنة بين الأنواع المختلفة من الحاصرات والأسلاك. (Taylor and Ison, 1996 , Tselepis et al., 1994).

(1-2-9-3) قانون الاحتكاك:

1- القوة الطبيعية (قوة الثقل) (N) Normal Force

الاحتكاك يتناسب طردياً مع القوة الطبيعية بقيمة معامل الاحتكاك (μ). (Kusy et al., 1997)

$$F = \mu N$$

من هذه العلاقة نستنتج أن القوة الاحتكاكية تتغير مع تغير القوة الطبيعية بشكل عمودي على سطوح التماس نظراً لثبات معامل الاحتكاك.

2- سطح التماس

لا تؤثر مساحة سطح التماس بين السطحين المنزلقين في الاحتكاك، وهكذا تمتلك الأجسام الصغيرة والكبيرة ذات التركيب نفسه معامل احتكاك مماثل، (Kusy et al., 1997) لكنه يتأثر بطبيعة هذا السطح (خشن - أملس - وجود سائل مزلق). (Proffit, 2007)

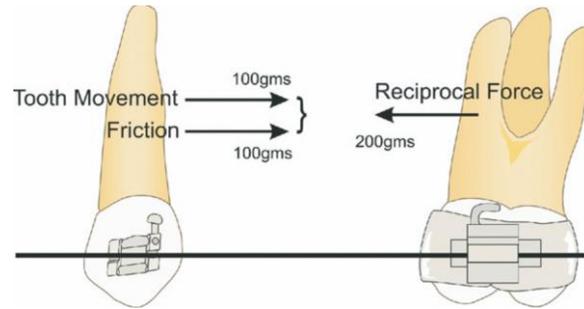
3- معدل سرعة الانزلاق (V)

الاحتكاك مستقل عن معدل سرعة الانزلاق بين السطحين المنزلقين. (Kusy et al., 1997)

(1-2-9-4) أهمية دراسة الاحتكاك:

يتداخل الاحتكاك مع القوى التقويمية المطبقة لإحداث الحركة السنوية التقويمية، لذلك يُشير الباحثون إلى ضرورة تخفيف مقدار الاحتكاك من أجل تحقيق أخفض مستويات للقوة المطلوبة لتحريك الأسنان والتغلب على المقاومة الحيوية للنسج العظمية وبالتالي الحصول على أفضل نظام للقوة مما يُقصر زمن المعالجة ويحسن النتائج (Kapila et al., 1990 , Baccetti and Franchi, 2006).

إن القوى التقويمية المطبقة لتأمين الحركة السنوية التقويمية والتغلب على الاحتكاك، تزيد الإرهاق على الدعم الخلفي وتؤدي إلى خسارته، إضافة إلى أن الاحتكاك المتزايد يؤدي إلى صعوبة تحديد مقدار القوة المطبقة المناسبة لكل حركة سنوية من الحركات التقويمية، وكل ذلك يسبب حدوث حركات سنوية أو ردود فعل غير مرغوبة (Taylor and Ison, 1996 , Baccetti and Franchi, 2006 , Nanda et al., 2005).



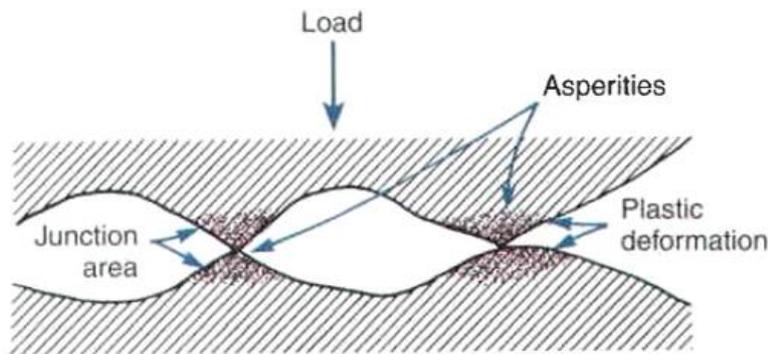
الشكل (1-18) يوضح حالة فقدان الدعم عندما يتزايد الاحتكاك ليساوي مقدار القوة المطبقة

يعتبر انعدام الاحتكاك بين الحاصرة والسلك هو الوضع المثالي لحدوث الحركة السنوية، وبما أن تحقيق ذلك مستحيل خلال الحركات الانزلاقية، فقد كان على المقوم أن يأخذ بعين

الاعتبار مقدار الاحتكاك الناتج بين أجزاء الجهاز التقويمي وتعويض القوة الضائعة بسببه بغية الوصول إلى قيمة القوة المثالية. (Kusy et al., 1997)

(1-2-6-5) آلية حدوث الاحتكاك :

عند حدوث حركة لجسمين أحدهما بتماس الآخر يتولد مقدار معين من الاحتكاك عند السطح البيني لهما، ويؤدي هذا الاحتكاك إلى تشكل مقاومة تعاكس الحركة السنية المرغوبة وتحد من قيمتها الفعلية، بشكل تكون فيه قوى الاحتكاك متناسبة مع القوة المطبقة الناظمة لتأمين التماس الصميمي بين السطحين المتماسين، وتتأثر بطبيعة السطح الموجود عند منطقة التماس (سطح خشن أو أملس، سطح فعال كيميائياً أو خامد، وجود سائل مزلق كاللعاب...)، أما الشيء المثير للدهشة فهو أن الاحتكاك لا يتعلق بمساحة منطقة التماس الظاهرة بين الجسمين المتماسين؛ ويعزى هذا الأمر إلى أن جميع السطوح، تبدي على المستوى المجهرى- وإن كانت ذات مظهر عياني أملس- تعرجات أو مناطق غير منتظمة، ولذلك يقتصر التماس الحقيقي بين السطحين المتماسين على عدد محدود من النقاط الدقيقة الاتساع والأبعاد التي تتوضع عند قمم هذه النتوءات السطحية المجهرية. هذه المناطق الدقيقة التي يحدث فيها التماس الفعلي بين الجسمين المولدين للاحتكاك تعرف باسم المناطق الخشنة أو الحادة Asperities وتحمل كل القوة المتولدة بين السطحين، أي كامل مقدار الاحتكاك المتولد. (Proffit, 2007)



الشكل (1-19) التماس الفعلي لسطحين قاسيين على مستوى مناطق "البروزات" التي لا ترى بالعين المجردة والتي يتولد على مستواها الاحتكاك الفعلي (Proffit, 2007).

وبناء على ما سبق فإن المقاومة الاحتكاكية الإجمالية تكون حصيداً لثلاث مُركّبات

هي:

(1) القوة الضرورية للقص shear جميع مناطق الاتصال بين السطحين المتماسين.

(2) المقاومة الناتجة عن التشابك بين التعرجات السطحية والمناطق الحادة الدقيقة.

(3) درجة تغلغل سطح المادة الأكثر جساءة ضمن سطح المادة الأخرى الأقل جساءة.

فإذا كانت المادتان بدرجة جساءة متعادلة تقريباً وسطحهما أملس، تتحدد المقاومة الاحتكاكية الناتجة عن تماسهما بالاعتماد على قوى القص إلى حد كبير. (Proffit, 2007)

إن المقاومة الاحتكاكية التي تنتج عن الحركة الانزلاقية بتماس الحاصرات المثبتة على الأسنان مع الأقواس التقويمية، تكون قابلة للتعديل من خلال التأثير في أي من العوامل الآتية الذكر، لكن لا يمكن إلغاؤها بشكل تام، لذلك يجب الأخذ بعين الاعتبار مقدار الاحتكاك في أثناء تحديد القيم الفعلية للقوى الضرورية لإنجاز مختلف الحركات السنوية المرغوبة علاجياً. (Nanda et al., 2005)

(1-2-6-6) العوامل المؤثرة في مقدار الاحتكاك المرافق للأجهزة التقويمية الثابتة:

1- الخواص السطحية للأسلاك.

2- الخواص السطحية للحاصرات.

3- قوى التماس بين الأسلاك والحاصرات:

وتقسم إلى عاملين : أ- زاوية التماس بين السلك والحاصرة

ب- نوع الربط بين السلك والحاصرة

(1-2-6-6-1) تأثير الخواص السطحية للأسلاك التقويمية:

في البداية ظهرت الأسلاك المصنوعة من خليطة النيكل- تيتانيوم (NiTi) وانتشر استخدامها على المستوى السريري، إذ اعتقد البعض بأن قوى الاحتكاك المعيقة الناجمة عن

أسلاك خليطة (NiTi) تكون أقل نسبياً من القوى الاحتكاكية المتولدة عن الأسلاك التقويمية الفولاذية (SS)، الأمر الذي يعني أفضلية استخدام أسلاك التيتانيوم عند الحاجة إلى تحريك الأسنان بألية انزلاقية، لكن الدراسات والتجارب اللاحقة (Ireland et al., 1991 , Whitley and Kusy, 2007 , Articolo and Kusy, 1999) أكدت عدم صحة هذه الادعاء، وبينت أن سطح أسلاك NiTi يكون أكثر خشونة (نتيجة لوجود عيوب سطحية بسبب تركيبها وليس بسبب نقص في درجة صقلها السطحية) من الأسلاك المصنوعة من خليطة بيتا- تيتانيوم (TMA) وهذه بدورها تكون أكثر خشونة من الأسلاك الفولاذية (Juvvadi et al., 2010).

وأما ما يهم من الناحية العملية فهو أن الارتباط ضعيف أو معدوم بين معامل احتكاك الأسلاك التقويمية ودرجة خشونة سطحها (Kusy and Whitley, 1990)، إذ إنه على الرغم من أن أسلاك NiTi تتميز بخشونة سطح أكبر نسبياً من أسلاك خليطة بيتا- تيتانيوم (TMA)، إلا أن هذه الأخيرة تكون ذات مقاومة احتكاكية أكبر ومعامل احتكاك أكبر، وهذا الاختلاف في معامل الاحتكاك للخليطتين يعود إلى أن محتوى خليطة بيتا-تيتانيوم (Ti) يكون أكبر من الخليطة التيتانية NiTi العادية (50% Ti) (Michelberger et al., 2000)، وبالنتيجة تكون القوة الاحتكاكية المعيقة للحركة الانزلاقية للأسنان في الحالتين (أسلاك خليطة TMA أو خليطة NiTi) أعلى مما هي في حالة استخدام الأسلاك الفولاذية التقليدية (Kapila et al., 1990).

ففي حالة الأسلاك المصنوعة من خليطة بيتا- تيتانيوم، تؤدي النسبة المرتفعة لعنصر التيتانيوم ضمن الخليطة إلى حدوث نوع من الالتحام على البارد Cold weld بين السلك والحاصرة وهذا يجعل الحركة الانزلاقية للحاصرة شبه مستحيلة والمقاومة الاحتكاكية في أعلى درجاتها (Cacciafesta et al., 2003 , Kusy and Whitley, 1990)، وللتغلب على المشكلة المرافقة لأسلاك TMA لجأ بعض الباحثين إلى طريقة كيميائية مخبرية تعتمد على مبدأ تعديل الخواص السطحية للأسلاك عن طريق تشريبها بالشوارد (طريقة انغراس الشوارد Ion Implantation) (Kusy et al., 1997) التي تعتمد على

غرس بعض الشوارد كالنتروجين أو الكربون على الأجزاء السطحية للخليطة المعدنية والذي أدى إلى انخفاض قوة الاحتكاك التي تنتجها هذه الأسلاك (Cash et al., 2004a).

(1-2-6-2) تأثير الخواص السطحية للحاصرات:

يلعب سطح الحاصرة التقويمية دوراً هاماً على مستوى الاحتكاك المتولد في أثناء الحركة الانزلاقية. فالحاصرات الفولاذية المستخدمة على نحو واسع في الوقت الحالي تتميز بسطوح صقيلة تماماً، لذلك فإن القوى الاحتكاكية المترافقة مع استخدام مثل هذه الحاصرات تكون بعدها الأدنى (Khalid et al., 2012) دون أي تأثير يذكر في القوى التقويمية الضرورية لتحريك الأسنان أو في قيمة الدعم (Kusy and Whitley, 1989).

أما حاصرات التيتانيوم التي ظهرت مؤخراً، وأصبحت تستخدم في بعض الحالات السريرية بسبب الارتكاسات التحسسية للنكل الموجود ضمن الأجهزة المصنوعة من خليطة الفولاذ المقاوم للصدأ، فإنها في أحسن الأحوال تتميز بخواص سطحية مشابهة للأسلاك المصنوعة من خليطة النكل- تيتانيوم NiTi، وفي كثير من الأحيان يكون من الصعب جداً إجراء صفق جيد للسطوح الداخلية لشقوق حاصرات التيتانيوم، لذلك تكون هذه المناطق ذات درجة خشونة أكبر من الأسلاك التيتانية نفسها، لهذه الأسباب قد يكون من الصعب تطبيق آليات الحركة الانزلاقية للأسنان باستخدام الحاصرات التيتانية (Husain and Kumar, 2011)، وبشكل خاص عند استخدام أسلاك خليطة TMA أيضاً (Michelberger et al., 2000).

ثم ظهرت الحاصرات الخزفية، وانتشرت بشكل واسع خلال الثمانينات من القرن العشرين بسبب خواصها الجمالية الممتازة، ولكنها سرعان ما تراجعت ولدرجة كبيرة بسبب القوى الاحتكاكية الكبيرة التي تنتجها (Ireland et al., 1991) فالحاصرات المصنوعة من الخزف العديد البلورات Polycrystalline تتميز بسطوح أخشن بكثير من الحاصرات المعدنية الفولاذية (Keith et al., 1993). إذ يندخل السطح الخزفي الخشن والعالي الجساءة ضمن بنية سطح الأسلاك التقويمية الفولاذية في أثناء الحركة الانزلاقية للأسنان،

مما يؤدي إلى إعاقة واضحة لهذه الحركة وتأثيرات غير مرغوبة على مستوى الدعم الذي تؤمنه الأسنان الخلفية. هذه المشكلة تصبح أسوأ في حال استخدام الأسلاك المصنوعة من الخلائط التيتانية (TMA أو Niti) (Omana et al., 1992).

ثم تم تطوير الحاصرات الخزفية لتصبح حاصرات وحيدة البلورات أكثر نعومة من الحاصرات الخزفية العديدة البلورات (Viazis et al., 1989)، لكنها مع ذلك يمكن أن تؤدي إلى أذية الأسلاك في أثناء الحركة الانزلاقية، وتترافق بمعامل احتكاك مرتفع يعيق هذه الحركة، ثم طبقت مؤخراً بعض المحاولات للتغلب على هذه المشكلة الملازمة للحاصرات الخزفية، تم تعديل تركيب الحاصرة ليكون شقها Slot معدنياً لتسهيل الحركة الانزلاقية وتجنب الأذيات المحتملة لسطوح الأسلاك التقويمية فأصبحت تعمل كأنها حاصرات فولاذية (Kusy and Whitley, 2001)، كما تم إنتاج حاصرات كريستالية تنتج قوى احتكاكية قليلة مقارنة للقوى الاحتكاكية للحاصرات الفولاذية (Cha et al., 2007).

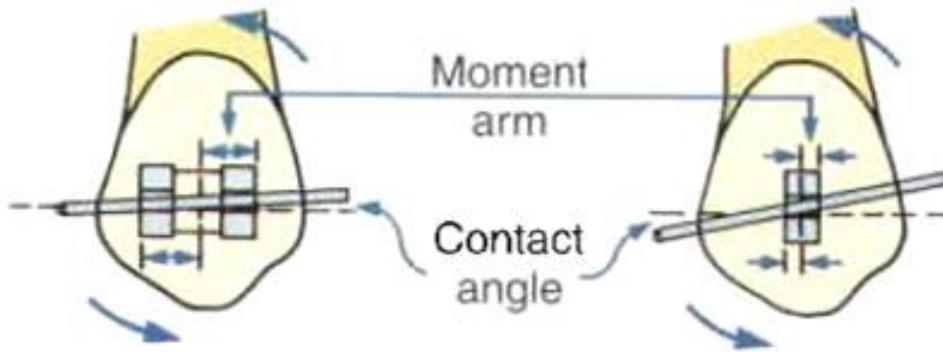
الحاصرات البلاستيكية أو المصنوعة من لدائن الكمبوزيت Composite Plastic تكون ذات مزايا جمالية جيدة إذا ما قورنت بالحاصرات المعدنية، إضافة إلى كونها لا تسبب التحسس على مستوى النسج الرخوة الفموية، أما على مستوى الاحتكاك فتتميز هذه الحاصرات بمعامل احتكاك مرتفع (Cacciafesta et al., 2003)، ولذلك فإنها تكون غير ملائمة للحالات التي تتطلب تحريك الأسنان بشكل انزلاقي، لكن المشكلة الأكبر في هذا النوع من الحاصرات أنها ذات متانة منخفضة وتتعرض للكسر في أثناء المعالجة التقويمية، إضافة إلى تلونها بسبب امتصاصها للسوائل الفموية (Aird and Durning, 1987)، ولذلك كان الحل لمشكلة الانكسار المتكرر للحاصرات البلاستيكية هو تزويدها بشقوق فولاذية لزيادة قساوتها وتحسين أدائها على المدى الزمني المتوسط (Feldner et al., 1994).

(1-2-6-6-3) قوة التماس بين السلك والحاصرة:

تتأثر قوة الاحتكاك المتولدة بين السلك التقويمي والحاصرة بشكل كبير بمقدار القوة التي تؤمن التماس بينهما والتي تتأثر بعاملين:

أ- العامل الأول: زاوية التماس بين السلك والحاصرة

عند إخضاع السن لقوة تعمل على تحريكه بحركة انزلاقية على طول القوس التقويمي، فإن السن سوف يحدث لها إمالة حتى يتم التماس بين السلك وزاويتي الحاصرة الأنسية الوحشية ضمن ظاهرة (إمالة - تعמיד) (Nanda et al., 2005)، وبذلك يتولد عزم ضمن شق الحاصرة يمنع استمرارية حركة الميلان التي تتعرض لها السن (تورك أنسي وحشي).



الشكل (1-20) زاوية التماس بين السلك والحاصرة

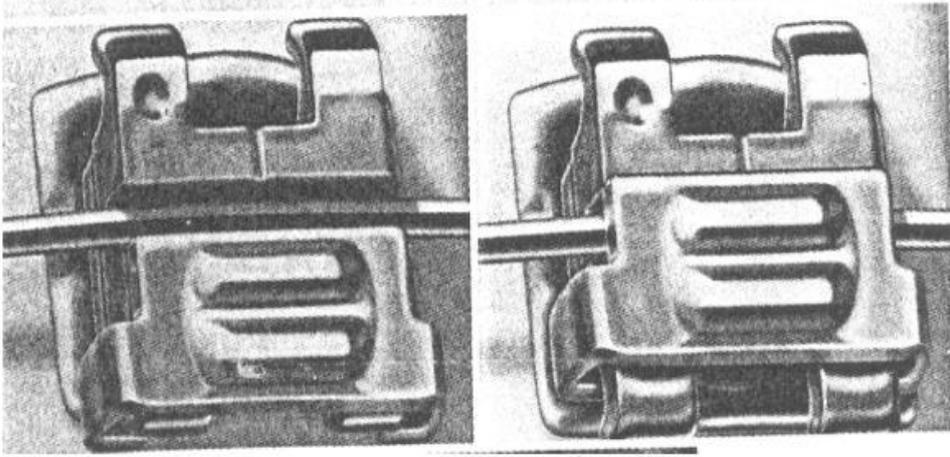
فإذا أردنا التغلب على هذه المشكلة وتحريك السن بشكل شبه جسمي، يجب إخضاع أي سلك يكون مقطعه أصغر من أبعاد شق الحاصرة إلى درجة معينة من الفتل لمعاكسة التورك الأنسي الوحشي الحاصل بحيث يعبر السلك شق الحاصرة بزاوية معينة تسمى زاوية التماس الحرجة (**critical contact angle**) والتي يعرفها العالم Kusy بأنها أكبر زاوية يمكن للسلك أن يشكلها مع شق الحاصرة دون أن يتشوه (Kusy and Whitley, 1999)، فكلما كانت هذه الزاوية أكبر ازدادت قيمة العزم الأولي، وبالتالي تزداد قوة التماس بين السلك

التقويمي والحاصرة، مما يؤدي إلى زيادة مقدار قوة الاحتكاك بشكل ملحوظ، ولهذا السبب تؤثر الخصائص المرنة للسلك في الاحتكاك، لأنه إذا كان السلك أكثر مرونة (أقل جساءة) فإنه يخضع للانثناء وبالتالي تتناقص الزاوية المتشكلة بينه وبين الحاصرة، وتتناقص كمية الاحتكاك الناتجة (Kusy, 2000)، ولاننسى أنه كلما كانت الحاصرة أعرض تناقصت مقدار القوة التي يجب أن تُطبق عند طرفيها لتوليد العزم الضروري لتعديل الإمالة، وبالتالي تتناقص قوة الاحتكاك بشكل تناسبي مع زيادة عرض الحاصرة، بسبب انخفاض شدة القوة التي يجب أن تطبق على جانبي شق الحاصرة والتي تكون ضرورية للتحكم جيداً بالوضع المحوري للجذور، لذلك عند الحاجة إلى تحريك الأسنان بشكل انزلاقي، يصبح من الأسهل توليد العزوم اللازمة للسيطرة على وضعية الجذور باستخدام حاصرات عريضة نسبياً (Proffit, 2007).

ب- العامل الثاني: نوع الربط بين السلك والحاصرة

ويتمثل بالقوة الطبيعية (N) التي تؤثر في الاحتكاك المتولد بين السلك والحاصرة، وهي القوة التي تشد السلك نحو الحاصرة، وتنتج عن تطبيق سلك الربط Ligature أو مطاط الربط المثبت للقوس التقويمي ضمن شق الحاصرة، إذ تشد هذه القوة السلك التقويمي إلى السطح الداخلي لشق الحاصرة، مما يؤدي إلى إنتاج قوة احتكاك أكبر لزيادة القوة الطبيعية (N) (Lin and Wu, 2005).

وهذا يفسر من ناحية أخرى سهولة الحركة الانزلاقية للأسنان على طول الأقواس التقويمية المستمرة عندما يتم ربط السلك بشكل غير قوي ضمن شقوق الحاصرات حيث تتناقص القوة الطبيعية (N) التي تشد السلك التقويمي نحو السطح الداخلي لشق الحاصرة، وبالتالي تتناقص قوة الاحتكاك الناتجة (Franchi et al., 2007)، مما أدى إلى تطوير حاصرات تقويمية حديثة (Self Ligating) تتميز بنظام إغلاق أو ربط ذاتي يضمن ثبات الأقواس التقويمية ضمن شق الحاصرات دون الحاجة إلى أسلاك الربط أو الحلقات المطاطية المشابهة من حيث آلية العمل (Proffit, 2007).



الشكل (21-1) الحاصرات ذاتية الربط.

الباب الثاني

المواد والطرائق

Materials and Methods

2

العينة Sample (1-2):

تتألف عينة البحث الكلية من (240) سلكاً تقويمياً بطول (30) ملم بمقطع مضلع، تم تقسيمها طبقاً لمادة السلك إلى مجموعتين بمعدل (120) سلكاً لكل مجموعة، كما تم تقسيم كل مجموعة حسب مقطع السلك إلى مجموعتين فرعيتين بمعدل (60) سلكاً لكل منها، إذ تم إجراء اختبارات كل من المتانة والجساءة والمرونة والاحتكاك لكل مجموعة، وبالتالي تم تقسيم كل مجموعة فرعية طبقاً للاختبار إلى مجموعتين تحت فرعيتين بمعدل (20) سلكاً لاختبار المتانة والجساءة والمرونة و(40) سلكاً لاختبار الاحتكاك، التي تم تقسيمها طبقاً لنوع الربط إلى مجموعتين: (20) سلكاً تم ربطها بمطاط الربط و(20) سلكاً تم ربطها بأسلاك الربط.

وبالتالي تم توزيع العينة كما يأتي: حسب مادة السلك - ثخانة مقطع السلك - نوع الاختبار المُجرى.

الجدول رقم (1-2) توزع عينة الأسلاك المدروسة طبقاً لمادة السلك وثخانة مقطعه ونوع الاختبار المُجرى ونوع الربط.

240=n سلكاً										الأسلاك المدروسة
أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ SS					أسلاك الراتنج المقواة بالألياف FRCs					نوع السلك
120=n سلكاً					120=n سلكاً					نوع السلك
ثخانة (0.025×0.021)		ثخانة (0.025×0.019)		ثخانة (0.025×0.021)		ثخانة (0.025×0.019)		مقطع السلك		
60=n سلكاً		60=n سلكاً		60=n سلكاً		60=n سلكاً		مقطع السلك		
اختبار المتانة والجماعة والمرونة		اختبار المتانة والجماعة والمرونة		اختبار المتانة والجماعة والمرونة		اختبار المتانة والجماعة والمرونة		نوع الاختبار		
40=n سلكاً		40=n سلكاً		40=n سلكاً		40=n سلكاً		نوع الاختبار		
20=n سلكاً		20=n سلكاً		20=n سلكاً		20=n سلكاً		نوع الاختبار		
مطاط الربط		مطاط الربط		مطاط الربط		مطاط الربط		طريقة الربط		
20=n سلكاً		20=n سلكاً		20=n سلكاً		20=n سلكاً		طريقة الربط		

(1-1-2) أولاً: تم تقسيم الأسلاك التقييمية طبقاً لمادة السلك إلى مجموعتين:

المجموعة الأولى: أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs): وعددها (120) سلكاً موزعة

على قياسين إلى مجموعتين فرعيتين:

أ- (60) سلكاً (FRCs) بمقطع مضلع مستطيل قياس (0.025×0.019) إنشاً قُسمت طبقاً لنوع الاختبار إلى مجموعتين فرعيتين: (20) سلكاً لاختبار المتانة والجساءة والمرونة، بالإضافة إلى (40) سلكاً لاختبار الاحتكاك التي قُسمت إلى مجموعتين من (20) سلكاً لكل مجموعة بحسب طريقة الربط (مطاط الربط-أسلاك الربط).

ب- (60) سلكاً (FRCs) بمقطع مضلع مستطيل قياس (0.025×0.021) إنشاً قُسمت طبقاً لنوع الاختبار إلى مجموعتين فرعيتين: (20) سلكاً لاختبار المتانة والجساءة والمرونة، بالإضافة إلى (40) سلكاً لاختبار الاحتكاك التي قُسمت إلى مجموعتين من (20) سلكاً لكل مجموعة بحسب طريقة الربط (مطاط الربط-أسلاك الربط).

المجموعة الثانية: أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS): وعددها (120) سلكاً موزعة على قياسين إلى مجموعتين فرعيتين:

أ- (60) سلكاً فولادياً مقاوماً للصدأ (SS) بمقطع مضلع مستطيل قياس (0.025×0.019) إنشاً قُسمت طبقاً لنوع الاختبار إلى قسمين: (20) سلكاً لاختبار المتانة والجساءة والمرونة، بالإضافة إلى (40) سلكاً لاختبار الاحتكاك التي قُسمت إلى مجموعتين من (20) سلكاً لكل مجموعة بحسب طريقة الربط (مطاط الربط-أسلاك الربط).

ب- (60) سلكاً فولادياً مقاوماً للصدأ (SS) بمقطع مضلع مستطيل قياس (0.025×0.021) إنشاً قُسمت طبقاً لنوع الاختبار إلى قسمين: (20) سلكاً لاختبار المتانة والجساءة والمرونة، بالإضافة إلى (40) سلكاً لاختبار الاحتكاك التي قُسمت إلى مجموعتين من (20) سلكاً لكل مجموعة بحسب طريقة الربط (مطاط الربط-أسلاك الربط).

(2-1-2) ثانياً: تم تقسيم الأسلاك التقويمية طبقاً لثخانة مقطع السلك إلى مجموعتين:

المجموعة الأولى: الأسلاك ذات ثخانة (0.025×0.019) إنشاً: وعددها (120) سلكاً موزعة على نوعين طبقاً لمادة السلك إلى مجموعتين فرعيتين:

أ- (60) سلكاً من الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) قُسمت طبقاً لنوع الاختبار إلى (20) سلكاً لاختبار المتانة والجساءة والمرونة، بالإضافة إلى (40) سلكاً لاختبار الاحتكاك التي قُسمت إلى مجموعتين من (20) سلكاً لكل مجموعة بحسب طريقة الربط (مطاط الربط-أسلاك الربط).

ب- (60) سلكاً من الراتنج المقوى بالألياف (FRCS) قُسمت طبقاً لنوع الاختبار إلى (20) سلكاً لاختبار المتانة والجساءة والمرونة، بالإضافة إلى (40) سلكاً لاختبار الاحتكاك التي قُسمت إلى مجموعتين من (20) سلكاً لكل مجموعة بحسب طريقة الربط (مطاط الربط-أسلاك الربط).

المجموعة الثانية: أسلاك ذات ثخانة (0.025×0.021) إنشاً: وعددها (120) سلكاً
موزعة على نوعين طبقاً لمادة السلك إلى مجموعتين فرعيتين:

أ- (60) سلكاً من الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) قُسمت طبقاً لنوع الاختبار إلى (20) سلكاً لاختبار المتانة والجساءة والمرونة، بالإضافة إلى (40) سلكاً لاختبار الاحتكاك التي قُسمت إلى مجموعتين من (20) سلكاً لكل مجموعة بحسب طريقة الربط (مطاط الربط-أسلاك الربط).

ب- (60) سلكاً من الراتنج المقوى بالألياف (FRCS) قُسمت طبقاً لنوع الاختبار إلى (20) سلكاً لاختبار المتانة والجساءة والمرونة، بالإضافة إلى (40) سلكاً لاختبار الاحتكاك التي قُسمت إلى مجموعتين من (20) سلكاً لكل مجموعة بحسب طريقة الربط (مطاط الربط-أسلاك الربط).

(3-1-2) ثالثاً: تم تقسيم الأسلاك التقويمية طبقاً لنوع الاختبار المُجرى إلى مجموعتين:

المجموعة الأولى: اختبار المتانة والجساءة والمرونة: عدد أسلاك الاختبار (80) سلكاً
موزعة على قياسين إلى مجموعتين فرعيتين:

أ- (40) سلكاً بمقطع مضع مستطيل قياس (0.025×0.019) إنشاً قُسمت طبقاً لمادة السلك إلى (20) سلكاً من الراتنج المقوى بالألياف (FRCs)، بالإضافة إلى (20) سلكاً من الفولاذ المقاوم للصدأ (SS).

ب- (40) سلكاً بمقطع مضع مستطيل قياس (0.025×0.021) إنشاً قُسمت طبقاً لمادة السلك إلى (20) سلكاً من الراتنج المقوى بالألياف (FRCs)، بالإضافة إلى (20) سلكاً من الفولاذ المقاوم للصدأ (SS).

المجموعة الثانية: اختبار الاحتكاك: عدد أسلاك الاختبار (160) سلكاً موزعة على قياسين على النحو الآتي:

أ- (80) سلكاً بمقطع مضع مستطيل قياس (0.025×0.019) إنشاً قُسمت طبقاً لمادة السلك إلى (40) سلكاً من الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) قُسمت إلى مجموعتين من (20) سلكاً لكل مجموعة بحسب طريقة الربط (مطاط الربط-أسلاك الربط)، بالإضافة إلى (40) سلكاً من الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) أيضاً قُسمت إلى مجموعتين من (20) سلكاً لكل مجموعة بحسب طريقة الربط (مطاط الربط-أسلاك الربط).

ب- (80) سلكاً بمقطع مضع مستطيل قياس (0.025×0.021) إنشاً قُسمت طبقاً لمادة السلك إلى (40) سلكاً من الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي قُسمت إلى مجموعتين من (20) سلكاً لكل مجموعة بحسب طريقة الربط (مطاط الربط-أسلاك الربط)، بالإضافة إلى (40) سلكاً من الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) التي قُسمت إلى مجموعتين من (20) سلكاً لكل مجموعة بحسب طريقة الربط (مطاط الربط-أسلاك الربط).

(2-2) الأدوات والأجهزة المستخدمة في الدراسة:

(1-2-2) أجهزة القياس لقوى المتانة والجساءة والمرونة والاحتكاك (جهاز Instron):

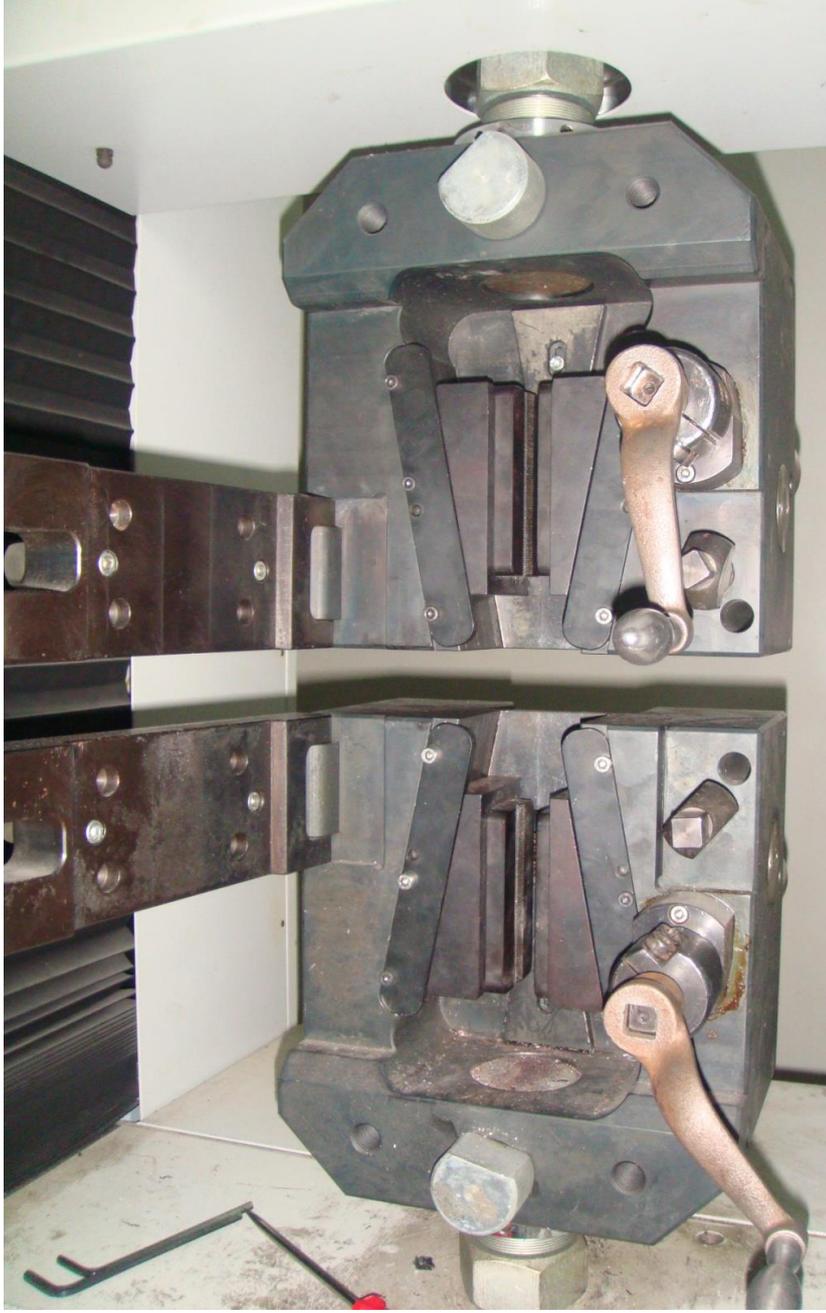
استخدمت الدراسة الحالية جهاز القياس الميكانيكي للقوى (Instron) مع إدخال تعديلات خاصة على تصميم الجهاز من أجل تحقيق الأهداف الخاصة بالبحث الحالي في قياس قوى المتانة والجساءة والمرونة والاحتكاك، وتم وضع تصميم خاص لأجهزة إضافية يتم تركيبها على جهاز القياس (Instron) وتنفيذها بالتعاون مع كلية الهندسة الميكانيكية في جامعة دمشق ليصبح الجهاز قادراً على تحقيق أهداف البحث المرجوة منه.

وصف جهاز القياس (Instron):

جهاز القياس من نوع Shimadzu new AG-Xplus SC يتيح تنفيذ مجموعة متنوعة من الاختبارات يتميز بدقة اختبار ضمن $\pm 0.5\%$ من 100/1 إلى 1000/1 من قدرة الجهاز.

قدرة التحميل: 5 كيلو نيوتن.

سرعة الاختبارات: 0.0005-1000 ملم / دقيقة.



الشكل (1-2) يوضح جهاز القياس (Instron)

يتألف الجهاز من رأسين الشكل (1-2):

- رأس علوي متحرك بالاتجاه الشاقولي للأعلى والأسفل، عبارة عن فكين يطبقان على بعضهما بواسطة ذراع يُدار يدوياً، ويحوي هذا الرأس حساساً لقياس القوى.

- رأس سفلي ثابت عبارة عن فكين يطبقان على بعضهما بواسطة ذراع يُدار يدوياً، تثبت عليه العينات المراد دراستها.

ويكون هذا الجهاز موصولاً بحاسب يتم عن طريقه تحديد السرعة التي يتحرك بها الرأس العلوي وتظهر على شاشة ذلك الحاسب القيم والأرقام والمخططات الناتجة عن الاختبارات، يوجد هذا الجهاز في مخبر مقاومة المواد في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق.

(2-2-2) الأجهزة المستخدمة لاختبار المتانة والجساءة والمرونة واختبار الاحتكاك:

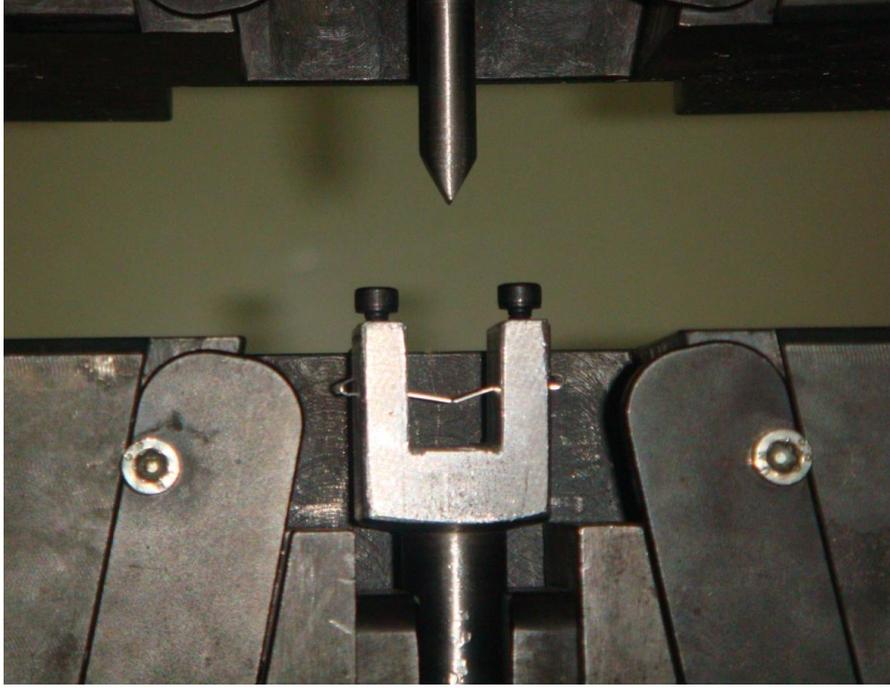
(1-2-2-2) الأجهزة المستخدمة لاختبار المتانة والجساءة والمرونة:

1- الممسك المعدني:

تم تصميم ممسك معدني على شكل حرف (Y) يكون ذراعه متوازيين والبعد بينهما 14 ملم، بشكل مشابه للدراسة التي قام بها Nakano وزملاؤه عام 1999 إذ يمثل هذا الطول متوسط المسافة بين المركز الدهليزي لوحشي حاصرة الرباعية السفلية وحاصرة الضاحكة الأولى السفلية (Nakano et al., 1999).

يستخدم هذا الممسك لتثبيت الأسلاك التقويمية بشكل أفقي بواسطة بُزال (برغي) مثبت على كل ذراع من ذراعي حرف الـ Y، يضغط البزال على السلك فيثبتته بمكانه تمهيداً لتطبيق القوة بالاتجاه العمودي عليه، يُثبت الممسك بالرأس السفلي الثابت لجهاز القياس (Instron) عن طريق قاعدته، الشكل (2-2).

2- رأس معدني مؤنّف يتم تثبيت قاعدته بالرأس العلوي المتحرك لجهاز القياس (Instron) بينما تُستخدم ذروته المؤنّفة لتطبيق القوة عمودياً على منتصف السلك التقويمي، الشكل (2-2).



الشكل (2-2) يوضح الممسك المعدني على شكل حرف (Y) في الأسفل

والرأس المعدني المؤنّف في الأعلى

يمكن تلخيص الأدوات والأجهزة المستخدمة في اختبار المتانة والجساءة والمرونة بما يلي:

1- جهاز القياس (Instron).

2- الممسك المعدني ذو شكل الحرف (Y).

3- الرأس المعدني المؤنّف.

4- الأسلاك المدروسة: (SS)، (FRCs)، الشكل (2-6).

(2-2-2-2) الأجهزة المستخدمة لاختبار الاحتكاك:

1- تم تصميم قضيب معدني يحوي في طرفه تلماً بهدف إدخال سنخ لضاحكة أكريلية

أولى علوية يمني مأخوذ من مثال المحاكاة للفكين (فرازاكو) تمهيداً لتنشيطه وإصاقه

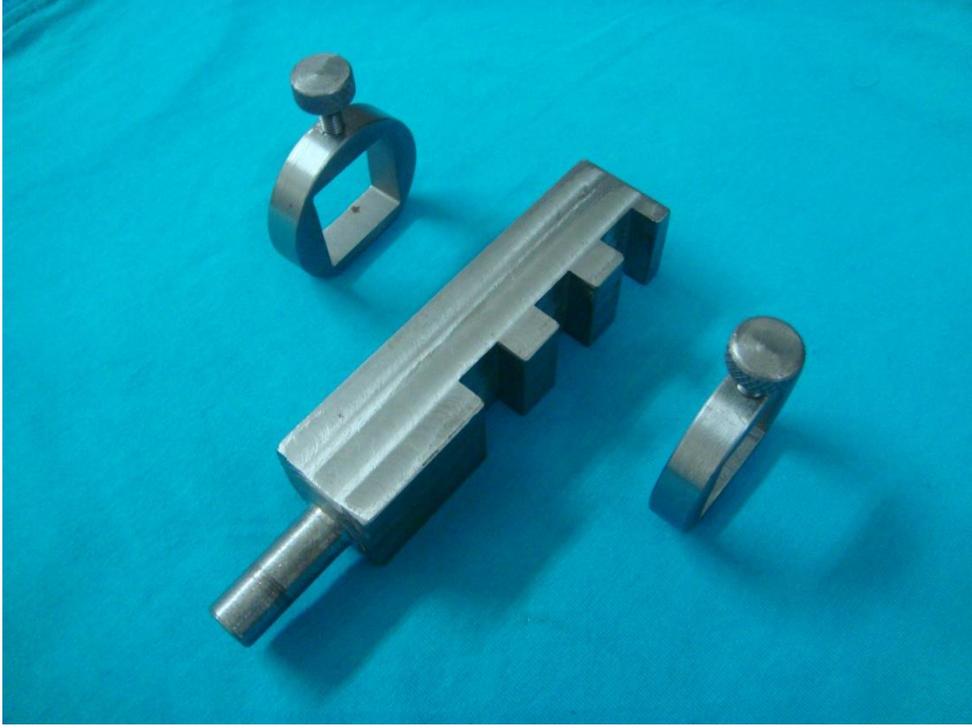
بواسطة الأكريل البارد على ذلك القضيب المعدني (الشكل 2-3).

- 2- ذراع معدني منحنى شكله قريب من شكل حرف (L) يثبت طرفه العلوي بالرأس العلوي المتحرك لجهاز القياس (Instron) وفي طرفه السفلي الحر ثقب يدخل ضمنه القضيب المعدني الذي ألصق عليه سنخ الضاحكة الأولى العلوية ويثبت بواسطة بُزال (برغي) يُشد على القضيب المعدني (الشكل 2-3).
- 3- ممسك معدني تُثبت قاعدته على الرأس السفلي لجهاز القياس (Instron)، ويكون في طرفه العلوي أثلام أو بشكل حرف (C)، يقوم هذا الممسك بتهيئة السلك التقويمي بشكل عمودي بواسطة بُزال (برغي) موجود على كل ارتفاع بين الأثلام بهدف قياس قوة الاحتكاك (الشكل 2-4).



الشكل (2-3) يوضح القضيب المعدني الذي ألصق في طرفه سنخ لضاحكة أكريلية أولى علوية يمينى

ويوضح الذراع المعدني المنحني



الشكل (2-4) يوضح الممسك المعدني الذي في طرفه العلوي أثلام

ويمكن تلخيص المواد والأجهزة المستخدمة في اختبار الاحتكاك بما يلي:

- 1- جهاز القياس (Instron).
- 2- الذراع المعدني الذي يكون بشكل الحرف (L).
- 3- القضيب المعدني المثبت عليه سنخ الفرازكو.
- 4- الممسك المعدني الذي يحوي أثلام.
- 5- الأسلاك المدروسة: (SS)، (FRCs).
- 6- الحاصرات: تم استخدام (160) حاصرة خزفية من حاصرات الضواحك الأولى العلوية من نظام Edgewise 0,022 من شركة American Orthodontics من أجل اختبار الاحتكاك قُسمت إلى مجموعتين حسب قياس ثخانة مقطع السلك المستخدم إلى:
- (80) حاصرة خزفية من أجل الاختبارات التي يكون قياس مقطع السلك فيها (0.025×0.019) إنشاً.

- (80) حاصرة خزفية من أجل الاختبارات التي يكون قياس مقطع السلك فيها (0.025×0.021) إنشاً.
- 7- (160) ضاحكة أكريلية أولى علوية يمنى.
- 8- مطاط ربط رمادي اللون من شركة American Orthodontics.
- 9- أسلاك ربط (Ligature) قياس (0.254 mm - 0.10") من شركة Rocky Mountain Orthodontics (RMO).
- 10- موسكيتو لمسك كل من أسلاك ومطاط الربط تمهيداً لربط الأسلاك على الحاصرات، الشكل (2-5).
- 11- قطاعة مستقيمة لقطع أسلاك الربط.
- 12- جهاز لقياس الأبعاد (بياكوليس رقمي) للتأكد من قياس مقاطع الأسلاك التقويمية المختبرة، الشكل (2-7).



الشكل (2-5) موسكيتو لمسك كل من أسلاك ومطاط الربط



الشكل (2-6) سلك راتنجي مقوى بالألياف (FRCs)



الشكل (2-7) جهاز لقياس الأبعاد (بياكوليس رقمي)

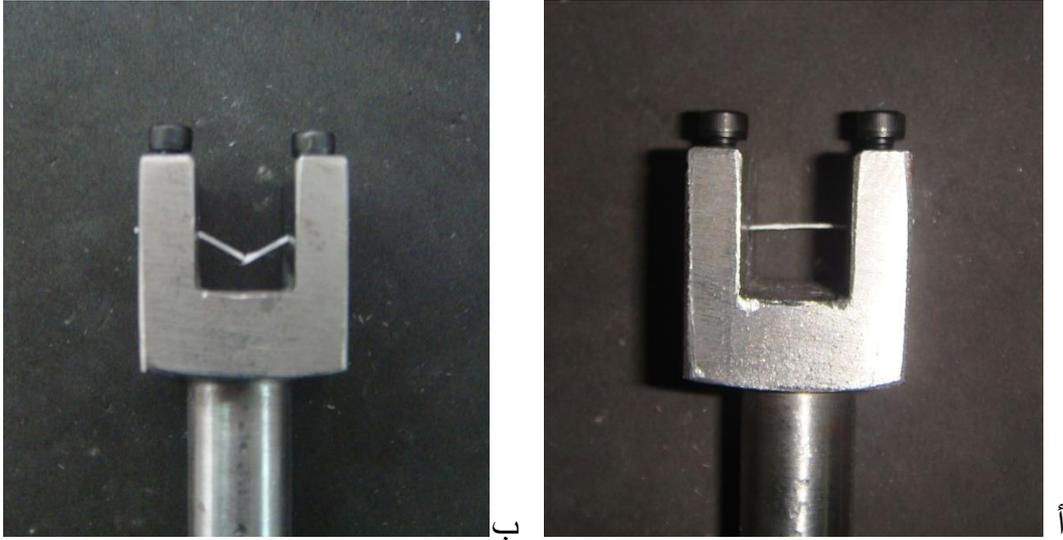
(3-2) الطرائق:

(1-3-2) اختبار المتانة والجساءة والمرونة (اختبار النقاط الثلاث) (3-point bending)

(test):

بعد تثبيت السلك المراد تطبيق اختبار المتانة والجساءة والمرونة عليه بشكل أفقي ضمن ذراعي الممسك الذي على شكل حرف (Y)، الشكل (2-8)، يتم تثبيت الرأس المؤنّف المعدني على الرأس العلوي لجهاز القياس (Instron)، وبالضغط على زر تشغيل جهاز القياس يتحرك الرأس العلوي للجهاز حاملاً الرأس المؤنّف المعدني المثبت به باتجاه الأسفل

عمودياً على منتصف السلك التقويمي المدروس وبسرعة (1 ملم / دقيقة) (Ohtonen et al., 2013) فيؤدي ذلك إلى انحناء السلك التقويمي حتى الوصول إلى نقطة الكسر (Ohtonen et al., 2013, Goldberg et al., 1983a, Vallittu, 1999) (التحطم) وتسجيل القوة بالنيوتن التي تظهر على شاشة الحاسب يتم إنجاز اختبار المتانة. وعند انحراف السلك التقويمي نتيجة انحنائه لدى تحريك الرأس المعدني المؤنف باتجاهه ينتج قوة بالنيوتن-ستظهر على شاشة الحاسب أيضاً- يتم تسجيلها بواسطة الحساسات الموجودة في الرأس العلوي لجهاز القياس (Instron)، وبذلك يتم إنجاز اختبار الجساءة. وأما اختبار المرونة فيتم إنجازه عن طريق قياس مجال الانحراف بالميليمتر الناتج عن تحريك الرأس العلوي لجهاز القياس (Instron) حاملاً الرأس المعدني المؤنف باتجاه السلك التقويمي، وتُقرأ أيضاً على شاشة الحاسب المرتبطة بجهاز القياس (Instron).



الشكل (2-8) السلك التقويمي المدروس مثبت على الممسك المعدني على شكل حرف (Y)

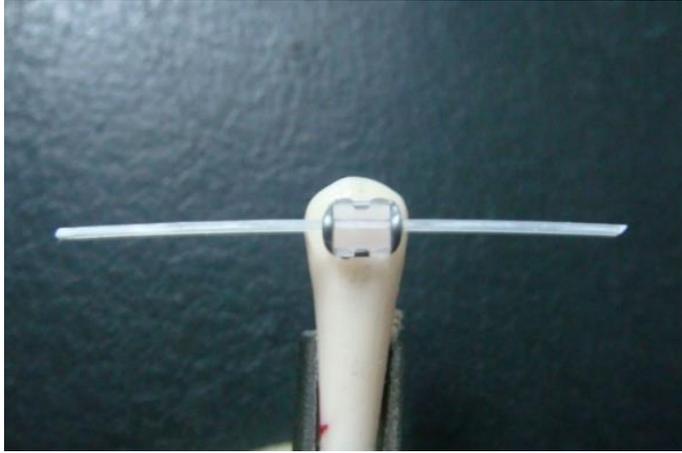
ب- بعد الاختبار.

أ- قبل الاختبار.

(2-3-2) اختبار الاحتكاك :

تم إجراء اختبار الاحتكاك مع الأخذ بعين الاعتبار سرعة الحركة والمسافة التي تقطعها الحاصرة في أثناء حركتها على طول السلك خلال مسار الحركة، وتم اعتماد سرعة (1 ملم / دقيقة) لعدم وجود أية فروق دالة إحصائياً بين سرعتي (1 ملم / دقيقة) و(10 ملم / دقيقة)، وهذا ما أكدته دراسة (Ireland et al., 1991).

تم إجراء اختبار الاحتكاك عن طريق محاكاة ما يحدث في أثناء الحركة الانزلاقية للأسنان خلال مرحلة الإرجاع خلال المعالجة التقويمية باستخدام سن أكريلية ألصقت عليها حاصرة خزفية وفق المحور الطولي لها وعلى بعد (3.5) غوج (3.5 gauge) من السطح الطاحن، الشكل (2-9).



الشكل (2-9) ضاحكة أكريلية أولى علوية اليمنى ملصق عليها حاصرة خزفية مربوط عليها سلك FRCs

بمطاط ربط

وصف المسار: تم تقسيم مسار الحركة إلى (5) مراحل بفاصل مسافة مقداره (1) ملم بين كل مرحلة والأخرى؛ لتكون المرحلة الأولى عند المليمتر الأول، والمرحلة الثانية عند المليمتر الثاني، والمرحلة الثالثة عند المليمتر الثالث، والمرحلة الرابعة عند المليمتر الرابع، والمرحلة الخامسة عند المليمتر الخامس. كما تم تسجيل قيمة لقوة الاحتكاك عند كل

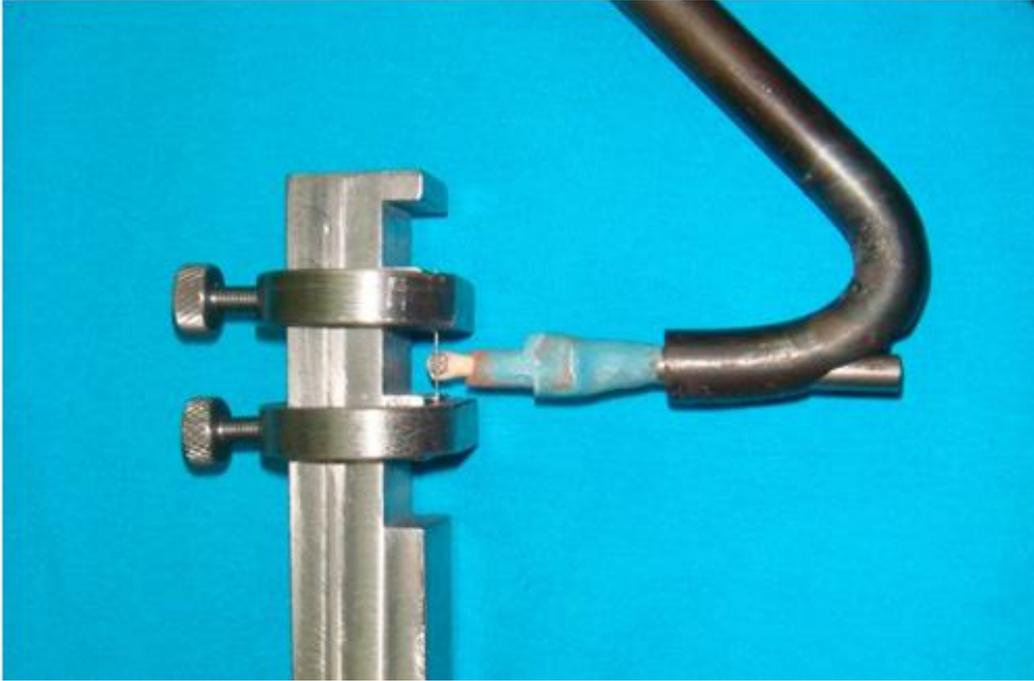
مرحلة، فأصبح لدينا (5) قيم لقوى الاحتكاك في أثناء انزلاق الحاصرة على طول السلك عند نهاية المسار.

إن مسافة المسار الكلية هي (5) ملم، وتم اختيارها بسبب كون مسافة الإرجاع الكلية (7) ملم وسطياً أثناء المعالجة التقويمية وهي عبارة عن وسطي عرض الضاحكة الأولى التي يتم قلعها عادة في حالات الإرجاع وعلى اعتبار نموذج الدعم كان من النموذج A (الذي يتم فيه الإرجاع ثلثي مسافة القلع) (Keng et al., 2012) وهي تقريباً (5) ملم من أصل (7) ملم.

وبعد قياس ثخانات جميع عينات الأسلاك التقويمية المراد دراستها للتأكد من قياسها بواسطة جهاز البياكلوليس الرقمي، تم تطبيق إحدى طريقتي ربط السلك التقويمي بالحاصرة الخزفية إما بمطاط الربط أو بأسلاك الربط فأصبح لدينا جملة (سن أكريلية - حاصرة خزفية - سلك تقويمي).

ثم تم تثبيت السلك التقويمي من هذه الجملة بشكل عمودي في مكانه على الممسك المعدني الذي على شكل حرف (C) بواسطة البُزالات الموجودة على الممسك المعدني الذي تُبَت بالرأس السفلي لجهاز القياس (Instron)، أما السن الأكريلية من الجملة السابقة فيتم إدخالها ضمن السنخ المأخوذ من الفرازكو المثبت على القضيب المعدني ثم يتم إدخال هذا القضيب ضمن الثقب الموجود في الطرف السفلي للذراع المعدني الذي على شكل حرف (L) ويُثبت بواسطة البُزال (البرغي) الموجود على الذراع الشكل (2-10).

تم ضبط جهاز القياس (Instron) على سرعة (1 ملم / دقيقة) ليتحرك مسافة (5) ملم بشكل عمودي وبتجاه واحد نحو الأسفل دون عودة.



الشكل (2-10) السلك التقويمي المدروس مثبت على الممسك المعدني الذي طرفه أثلام. تم ربط السلك ضمن الحاصرة المثبتة على السن الأكريلية، هذه السن مثبتة على سنخ فرازاكو موصولة إلى الذراع المعدني المنحني.

وبالضغط على زر تشغيل جهاز القياس (Instron) يبدأ الرأس العلوي بالتحرك فتنزلق الحاصرة المثبتة على الرأس العلوي على طول السلك التقويمي المثبت على الرأس السفلي (محاكية الحركة الانزلاقية للأسنان في أثناء عمليات الإرجاع على طول السلك التقويمي) وفي أثناء انزلاق الحاصرة على طول السلك التقويمي يتم تسجيل قيمة قوة الاحتكاك الظاهرة على شاشة الحاسب عند كل (1) ملم خلال شوط الحركة أي إنه يتم تسجيل خمس قيم لقوة الاحتكاك في أثناء كل اختبار أي عند (1-2-3-4-5) ملم على التوالي، وبذلك يتم إنجاز اختبار الاحتكاك.

(2-4) الدراسة الإحصائية Statistical Analysis:

جُمِعَتُ البيانات لكامل عينة الأسلاك التقويمية المدروسة وتم ترميزها، وإدخالها إلى الحاسب باعتماد البرنامج الإحصائي (Statistical Package for the Social Sciences)

SPSS Ver.17

أُجريت دراسة وصفية للعينة وفقاً للمتغيرات المختلفة (نوع مادة السلك، ثخانة مقطع السلك، طريقة الربط) وتم الحصول على نتائج التحليل الوصفي.

كما تم حساب المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية للقوى اللازمة لتحطم (متانة) أسلاك كل من مجموعتي الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) والراتنج المقوى بالألياف (FRCs)، ثم المقارنة بين تلك المتوسطات وحساب دلالة الفروق باستخدام الاختبار الإحصائي t ستيودنت في العينات المستقلة Independent t -student test، واعتُبرت الفروق ذات دلالة إحصائية عند قيمتين لمستوى الدلالة P الأولى: لدى P أصغر من (0.05) على اعتبار أن مستوى الثقة 95%، والثانية: لدى P أصغر من (0.01) على اعتبار أن مستوى الثقة 99%.

كما تم أيضاً حساب المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية للقوى المحررة (الجساءة) من أسلاك كل من مجموعتي الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) والراتنج المقوى بالألياف (FRCs)، ثم المقارنة بين تلك المتوسطات وحساب دلالة الفروق باستخدام الاختبار الإحصائي t ستيودنت في العينات المستقلة Independent t -student test، واعتُبرت الفروق ذات دلالة إحصائية عند قيمتي مستوى الدلالة ($P < 0.05$) و ($P < 0.01$).

أما بالنسبة لمجال الانحراف (المرونة) لأسلاك كل من مجموعتي الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) والراتنج المقوى بالألياف (FRCs)، فقد تم حساب المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لها ثم المقارنة بين تلك المتوسطات وحساب دلالة الفروق باستخدام الاختبار الإحصائي t ستيودنت في العينات المستقلة Independent t -student test، واعتُبرت الفروق ذات دلالة إحصائية عند قيمتي مستوى الدلالة ($P < 0.05$) و ($P < 0.01$).

كما تم حساب المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لقوى الاحتكاك لكل من أسلاك مجموعتي الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) والراتنج المقوى بالألياف (FRCs)، ثم المقارنة بين تلك المتوسطات وحساب دلالة الفروق باستخدام الاختبار الإحصائي t ستيودنت في العينات

المستقلة Independent *t*-student test، واعتُبرت الفروق ذات دلالة إحصائية عند قيمتي مستوى الدلالة ($P < 0.05$) و ($P < 0.01$).

ولدراسة الفروق بين قياسي ثخانة الأسلاك التقويمية المدروسة في جميع اختبارات الخصائص الميكانيكية (المتانة- الجساءة- المرونة- الاحتكاك) في كل مجموعة أسلاك (SS-FRCs) على حدة، تم استخدام الاختبار الإحصائي *t* ستيودنت في العينات المستقلة Independent *t*-student test عند قيمتي مستوى الدلالة ($P < 0.05$) و ($P < 0.01$).

وفي اختبار الاحتكاك بالخاصة تم استخدام الاختبار الإحصائي *t* ستيودنت في العينات المستقلة Independent *t*-student test، لمقارنة متوسطات قوى الاحتكاك بين طريقتي الربط المستخدمة (مطاط الربط- أسلاك الربط) في كل قياس على حدة في أسلاك كل من مجموعتي الدراسة (SS-FRCs) على حدة عند قيمتي مستوى الدلالة ($P < 0.05$) و ($P < 0.01$).

الباب الثالث

النتائج

Results

3

نتائج دراسة الخواص الميكانيكية:

جميع النتائج التي تم الحصول عليها مفصلة بشكل واضح ضمن الجداول، إلا أنه سوف يتم التطرق لأهم الاختلافات النوعية:

(1-3) نتائج دراسة المتانة:

(1-1-3) تأثير مادة السلك في المتانة:

أظهرت الدراسة الحالية أنّ متوسط القوة اللازمة لتحطم في الأسلاك الفولاذية (SS) ذات الثخانة (0.025X0.019) إنشاً والذي بلغ (304.55) نيوتن كان أكبر نوعياً لدى مقارنته بمتوسط القوة المطلوبة لتحطم أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) والذي بلغ (56) نيوتن، ولدى دراسة دلالة الفروق بين عيني الأسلاك المدروستين عند الثخانة نفسها تم تسجيل الفروق ذات المغزى الإحصائي عند مستوى الدلالة ($P < 0.01$) كما هو موضح في الجدول (1-3).

كما يلاحظ من الجدول نفسه أن متوسط القوة اللازمة لتحطم الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ (SS) ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً كان (263.45) نيوتن، وهو أكبر نوعياً من متوسط القوة اللازمة لتحطم الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف بالثخانة نفسها وبالبلغ (56.55) نيوتن، ولدى دراسة دلالة الفروق بين عيني الأسلاك المدروستين عند الثخانة نفسها تم تسجيل الفروق ذات الدلالة الإحصائية عند ($P < 0.01$).

الجدول رقم (1-3) يبين نتائج اختبار t-student في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط المتانة (القوة اللازمة لتحطم السلك) بين نوعي الأسلاك المدروسة: (SS) و (FRCs) عند ثخانة السلك (0.025X0.019) و (0.025X0.021) إنش.

Sig.	قيمة P	أسلاك الـ (FRCs)		أسلاك الـ (SS)		القوة اللازمة للتحطم (N)
		الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	
++	0.000	12.13	56	49.74	304.55	ثخانة (0.025X0.019) إنش
++	0.000	12.05	56.55	18.2	263.45	ثخانة (0.025X0.021) إنش

Sig. by ($P < 0.01$) (++)

Sig. by ($P < 0.05$) (+)

Non Sig. (-)

(2-1-3) تأثير ثخانة السلك في المتانة:

أظهرت الدراسة الحالية أن متوسط القوة اللازمة لتحطم (متانة) الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً كان (304.55) نيوتن، وأما متوسط القوة اللازمة لتحطم (متانة) الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً كان (263.45) نيوتن، وعند مقارنة المتوسطين تم تسجيل فروق ذات دلالة إحصائية بين القياسين المدروسين من أسلاك (SS) عند قيمة مستوى الدلالة ($P < 0.01$)، إذ كان المتوسط الحسابي للقوة اللازمة لتحطم (متانة) الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً أكبر نوعياً من ذلك اللازم لتحطم (متانة) الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً مما أظهر فروقاً دالة إحصائية عند قيمة مستوى الدلالة كانت ($P < 0.01$).

أما بالنسبة لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً فقد لوحظ من الجدول (2-3) أن متوسط القوة اللازمة للتحطم (المتانة) كان (56) نيوتن، بينما كان

متوسط القوة اللازمة لتحطم (متانة) الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً (56.55) نيوتن، وعند مقارنة المتوسطين لم يتم التوصل إلى فروق نوعية ذات دلالة إحصائية بين القياسين المدروسين من أسلاك (FRCs).

الجدول رقم (2-3) يبين نتائج اختبار *t-student* في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط المتانة (القوة اللازمة لتحطم السلك) بين قياسي ثخانة الأسلاك المدروسة: (0.025X0.019) - (0.025X0.021) إنشاً.

Sig.	قيمة P	ثخانة (0.025X0.021) إنش		ثخانة (0.025X0.019) إنش		القوة اللازمة للتحطم (N)
		الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	
++	0.002	18.2	263.45	49.74	304.55	أسلاك الـ (SS)
-	0.889	12.05	56.55	12.13	56	أسلاك الـ (FRCs)

Sig. by ($P < 0.01$) (++)

Sig. by ($P < 0.05$) (+)

Non Sig. (-)

(2-3) نتائج دراسة القساوة (الجساءة):

(1-2-3) تأثير مادة السلك في القساوة (الجساءة):

(1-1-2-3) تأثير مادة السلك في القساوة (الجساءة) في الأسلاك ذات ثخانة

(0.025X0.019) إنشاً:

يُلاحظ من الجدول (3-3) أن متوسط القوة المتحررة من أسلاك الفولاذ المقاومة للصدأ

(SS) ذات الثخانة (0.025X0.019) إنشاً عند التنشيط بمقدار (1 ملم) بلغ (53.5)

نيوتن، بينما كان متوسط القوة المتحررة لدى تنشيط أسلاك الراتنج المقوى بالألياف

(FRCs) ذات الثخانة نفسها بالمقدار نفسه أقل نوعياً إذ بلغ (24.9) نيوتن، وعند مقارنة

المتوسطين تم تسجيل فروق ذات دلالة إحصائية بين النوعين المدروسين من الأسلاك عند

مستوى الدلالة ($P < 0.01$).

وكذلك الأمر لدى مقارنة نوعي الأسلاك بثخانة (0.025X0.019) إنش عند تنشيطها بمقدار (2 مم) إذ كان المتوسط الحسابي للقوة المتحررة من أسلاك (SS) أكبر نوعياً من تلك المتحررة من أسلاك (FRCs)، فظهرت فروق دالة إحصائية لاسيما أن قيمة مستوى الدلالة كانت ($P < 0.01$).

الجدول رقم (3-3) يبين نتائج اختبار *t-student* في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط الجساءة (القوة المتحررة من السلك عند تنشيطه) بين نوعي الأسلاك المدروسة: (SS) و (FRCs) عند ثخانة السلك (0.025X0.019) إنشاً.

Sig.	قيمة P	أسلاك الـ (FRCs)		أسلاك الـ (SS)		ثخانة إنش (0.025X0.019)
		الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	
++	0.000	5.27	24.9	20.36	53.5	القوة المحررة عند تنشيط (1) ملم (N)
++	0.000	6.56	47.2	37.53	174.26	القوة المحررة عند تنشيط (2) ملم (N)

Sig. by ($P < 0.01$) (++)

Sig. by ($P < 0.05$) (+)

Non Sig. (-)

(2-1-2-3) تأثير مادة السلك في القساوة (الجساءة) في الأسلاك ذات ثخانة (0.025X0.021) إنشاً:

أظهرت الدراسة التي تم إجراؤها أن متوسط القوة المتحررة من أسلاك الفولاذ المقاومة للصدأ (SS) التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً عند تنشيطها بمقدار (1 ملم) بلغ (73.75) نيوتن، في حين كان متوسط القوة المتحررة من أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً عند تنشيطها بمقدار (1 ملم) (27.87) نيوتن وكانت أقل نوعياً من تلك المتحررة من أسلاك (SS)، وعند مقارنة المتوسطين باستخدام

اختبار *t-student* في العينات المستقلة تم تسجيل فروق ذات دلالة إحصائية بين النوعين المدروسين من الأسلاك عند قيمة مستوى الدلالة ($P < 0.01$).

وكذلك الأمر لدى مقارنة نوعي الأسلاك بثخانة (0.025X0.021) إنش عند تنشيطها بمقدار (2 مم) إذ كان المتوسط الحسابي للقوة المتحررة من أسلاك (SS) والبالغ (203.05) نيوتن أكبر نوعياً من ذلك المتوسط للقوة المتحررة من أسلاك (FRCs) والبالغ (54.76) نيوتن، مما أدى إلى وجود فروق دالة إحصائية عند قيمة مستوى الدلالة ($P < 0.01$).

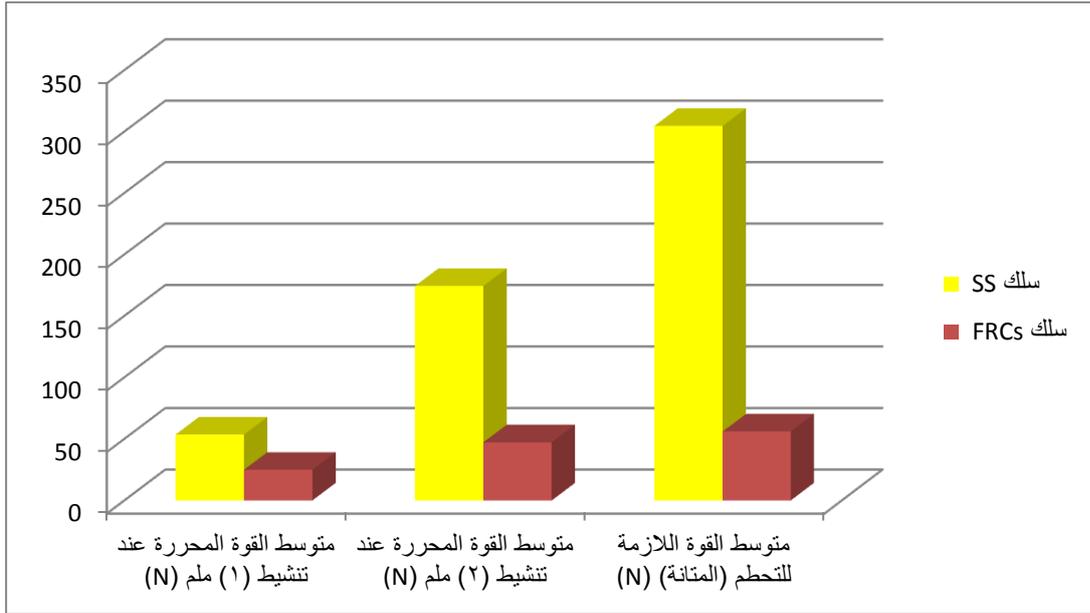
الجدول رقم (3-4) يبين نتائج اختبار *t-student* في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط الجساءة (القوة المتحررة من السلك عند تنشيطه) بين نوعي الأسلاك المدروسة: (SS) و (FRCs) عند ثخانة السلك (0.025X0.021) إنشاً.

Sig.	قيمة P	أسلاك الـ (FRCs)		أسلاك الـ (SS)		ثخانة إنش (0.025X0.021)
		الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	
++	0.000	5.11	27.87	23.38	73.75	القوة المحررة عند تنشيط (1) ملم (N)
++	0.000	11.22	54.76	35.07	203.05	القوة المحررة عند تنشيط (2) ملم (N)

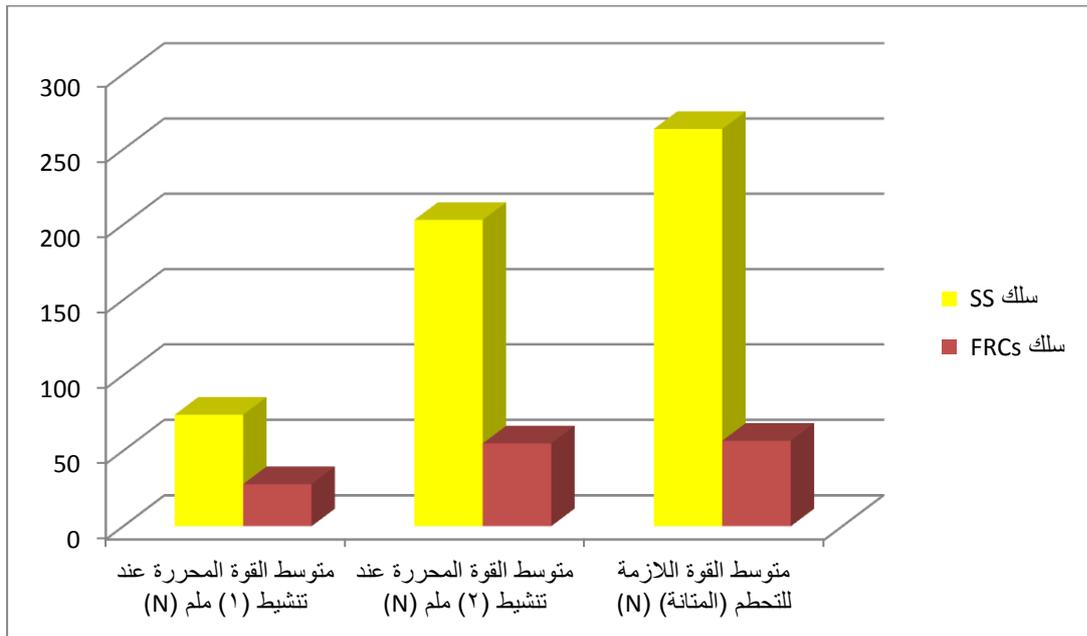
Sig. by ($P < 0.01$) (++)

Sig. by ($P < 0.05$) (+)

Non Sig. (-)



المخطط رقم (3-1) يمثل المتوسطات الحسابية للقوى المتحررة في أثناء التنشيط والقوة اللازمة للتحطم التي أبدت اختلافات نوعية بين أسلاك SS وأسلاك FRCs بثخانة (0.025X0.019) إنشاً.



المخطط رقم (3-2) يمثل المتوسطات الحسابية للقوى المتحررة في أثناء التنشيط والقوة اللازمة للتحطم التي أبدت اختلافات نوعية بين أسلاك SS وأسلاك FRCs بثخانة (0.025X0.021) إنشاً.

(2-2-3) تأثير ثخانة السلك في القساوة (الجساءة):

(1-2-2-3) تأثير ثخانة السلك في القساوة (الجساءة) في الأسلاك الفولاذية المقاومة

للصدأ (SS):

يُلاحَظ من الجدول (3-5) أنّ متوسط القوة المتحررة من أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) ذات الثخانة (0.025X0.019) إنشاً عند تنشيطها بمقدار (1 ملم) هو (53.5) نيوتن، بينما كان متوسط القوة المتحررة من أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) ذات الثخانة (0.025X0.021) إنشاً عند تنشيطها بمقدار (1 ملم) أكبر نوعياً من ذلك إذ بلغ (73.75) نيوتن، وعند مقارنة المتوسطين تم تسجيل فروق ذات دلالة إحصائية بين النوعين المدروسين من الأسلاك عند قيمة مستوى الدلالة ($P < 0.01$).

وكذلك الأمر لدى مقارنة قياسي الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ (SS) عند تنشيطها بمقدار (2 ملم) كان المتوسط الحسابي للقوة المتحررة من الأسلاك ذات الثخانة (0.025X0.019) إنشاً والبالغ (174.26) نيوتن أقل نوعياً من ذلك المتوسط للقوة المتحررة من الأسلاك ذات الثخانة (0.025X0.021) إنشاً والبالغ (203.05) نيوتن، مما أدى إلى وجود فروق دالة إحصائية عند قيمة مستوى الدلالة ($P < 0.05$).

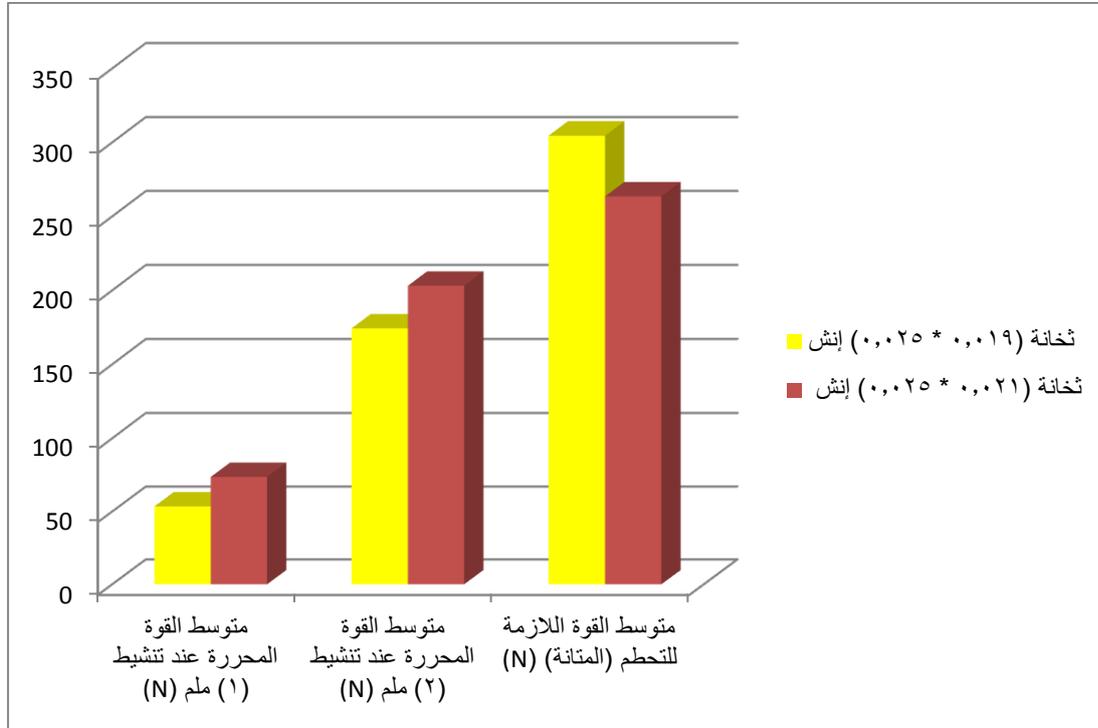
الجدول رقم (3-5) يبين نتائج اختبار *t-student* في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط الجساءة (القوة المتحررة من السلك عند تنشيطه) بين قياسي ثخانة أسلاك الـ(SS): (0.025X0.019) - (0.025X0.021) إنشاً.

Sig.	قيمة P	ثخانة (0.025X0.021) إنش		ثخانة (0.025X0.019) إنش		أسلاك الـ (SS)
		الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (N)	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (N)	
++	0.007	23.38	73.75	20.36	53.5	القوة المحررة عند تنشيط (1) ملم
+	0.019	35.07	203.05	37.53	174.26	القوة المحررة عند تنشيط (2) ملم

Sig. by ($P < 0.01$) (++)

Sig. by ($P < 0.05$) (+)

Non Sig. (-)



المخطط رقم (3-3) يمثل المتوسطات الحسابية للقوى المتحررة في أثناء التنشيط والقوة اللازمة للتحطم التي أبدت اختلافات نوعية بين ثخانة (0.025X0.019) إنشاً وثخانة (0.025X0.021) إنشاً في أسلاك SS.

(2-2-2-3) تأثير ثخانة السلك في القساوة (الجساءة) في الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف (FRCs):

أظهرت الدراسة الحالية أن متوسط القوة المتحررة من أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً عند تنشيطها بمقدار (1 ملم) كانت (24.9) نيوتن، في حين بلغ متوسط القوة المتحررة من أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً عند تنشيطها بمقدار (1 ملم) (27.87)

نيوتن، وعند مقارنة المتوسطين لوحظ عدم وجود فروق نوعية ذات دلالة إحصائية بين القياسين المدروسين من أسلاك (FRCs).

ولكن الأمر لم يكن كذلك عند زيادة التنشيط إلى (2 ملم)، إذ بلغ متوسط القوة المتحررة من أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً عند تنشيطها بمقدار (2 ملم) (47.2) نيوتن، وكان هذه المتوسط أقل نوعياً من متوسط القوة المتحررة من أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً عند تنشيطها بمقدار (2 ملم) والبالغة (54.76) نيوتن، مما أدى إلى وجود فروق دالة إحصائية عند قيمة مستوى الدلالة ($P < 0.05$).

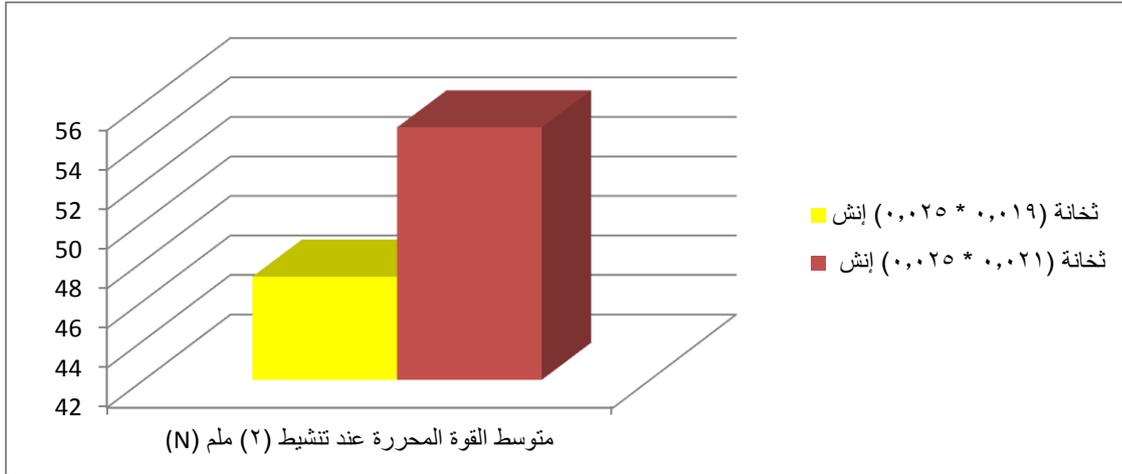
الجدول رقم (3-6) يبين نتائج اختبار *t-student* في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط الجساءة (القوة المتحررة من السلك عند تنشيطه) بين قياسي ثخانة أسلاك الـ(FRCs): (0.025X0.019) - (0.025X0.021) إنشاً.

Sig.	قيمة P	ثخانة (0.025X0.021) إنش		ثخانة (0.025X0.019) إنش		أسلاك الـ (FRCs)
		الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (N)	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (N)	
-	0.085	5.11	27.87	5.27	24.9	القوة المحررة عند تنشيط (1) ملم
+	0.015	11.22	54.76	6.56	47.2	القوة المحررة عند تنشيط (2) ملم

Sig. by ($P < 0.01$) (++)

Sig. by ($P < 0.05$) (+)

Non Sig. (-)



المخطط رقم (3-4) يمثل المتوسط الحسابي للقوة المنحرفة في أثناء التنشيط التي أبدت اختلافات نوعية بين ثخانة (0.025X0.019) إنشاً وثخانة (0.025X0.021) إنشاً في أسلاك FRCs.

(3-3) نتائج دراسة المرونة (مجال الانحراف):

(1-3-3) تأثير مادة السلك في المرونة (مجال الانحراف):

لوحظ من الدراسة المجراة أن متوسط مجال الانحراف الناتج عن تنشيط أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ فقد انخفض نسبياً وبشكلٍ طفيفٍ مقارنةً بمتوسط مجال الانحراف المسجل في أسلاك الراتنج المقواة بالألياف (FRCs) ذات الثخانة نفسها (0.025X0.019) إنشاً، ولم يؤد ذلك إلى أية فروقٍ جوهرية لدى مقارنة متوسطي أسلاك العينتين المدروستين إحصائياً ولكن عند قيمة مستوى الدلالة ($P < 0.01$).

وكذلك الأمر عند ثخانة (0.025X0.021) إنشاً فقد أظهر الجدول (3-7) أن متوسط مجال الانحراف الناتج عن تنشيط أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ بلغ (2.6) ملم، ولم تكن هناك أية فروقٍ دالة إحصائياً لدى مقارنة بمتوسط مجال الانحراف الناتج عن تنشيط أسلاك الراتنج المقواة بالألياف (FRCs) ذات الثخانة نفسها والبالغ (2.79) ملم.

الجدول رقم (3-7) يبين نتائج اختبار *t-student* في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط المرونة (التي يعبر عن مفهومها بمجال الانحراف) بين نوعي الأسلاك المدروسة: (SS) و(FRCs).

Sig.	قيمة P	أسلاك الـ (FRCs)		أسلاك الـ (SS)		مجال الانحراف (ملم)
		الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	
-	0.159	1.01	3.71	0.57	3.33	ثخانة (0.025X0.019) إنش
-	0.341	0.8	2.79	0.28	2.6	ثخانة (0.025X0.021) إنش

Sig. by ($P < 0.01$) (++)

Sig. by ($P < 0.05$) (+)

Non Sig. (-)

(3-3-2) تأثير ثخانة السلك في المرونة (مجال الانحراف):

عند تأمل الجدول (3-8) يظهر أن متوسط مجال الانحراف الناتج عن تنشيط أسلاك الفولاذ المقاومة للصدأ (SS) التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً كان (3.33) ملم، وهذا المتوسط كان أكبر نوعياً من متوسط مجال الانحراف الناتج عن تنشيط أسلاك الفولاذ المقاومة للصدأ (SS) التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً (2.6) ملم، وعند مقارنة المتوسطين تم تسجيل فروق ذات دلالة إحصائية بين القياسين المدروسين من أسلاك (SS) عند قيمة مستوى الدلالة ($P < 0.01$).

أظهرت الدراسة الحالية أن متوسط مجال الانحراف الناتج عن تنشيط أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً والبالغ (3.71) ملم، كان أكبر نوعياً من متوسط مجال الانحراف الناتج عن تنشيط أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً والبالغ (2.79) ملم، وعند مقارنة

المتوسطين تم تسجيل فروق ذات دلالة إحصائية بين القياسين المدروسين من أسلاك (FRCs) عند قيمة مستوى الدلالة ($P < 0.01$).

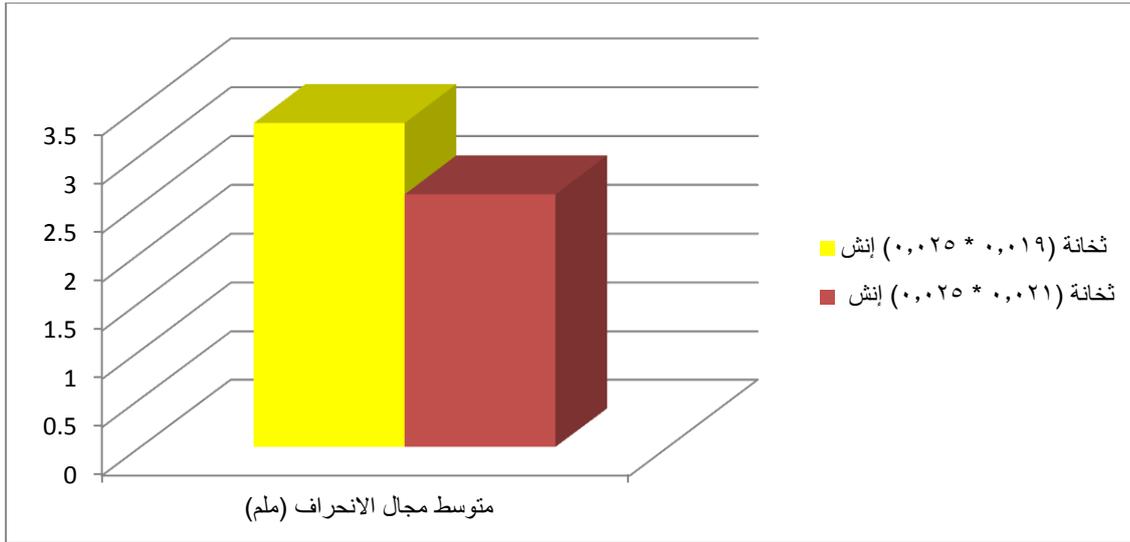
الجدول رقم (3-8) يبين نتائج اختبار *t-student* في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفرق في متوسط المرونة (التي يعبر عن مفهومها بمجال الانحراف) بين قياسي ثخانة الأسلاك المدروسة: (0.025X0.019) - (0.025X0.021) إنشاً.

Sig.	قيمة P	ثخانة (0.025X0.021) إنش		ثخانة (0.025X0.019) إنش		مجال الانحراف (ملم)
		الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	
++	0.000	0.28	2.6	0.57	3.33	أسلاك الـ (SS)
++	0.004	0.8	2.79	1.01	3.71	أسلاك الـ (FRCs)

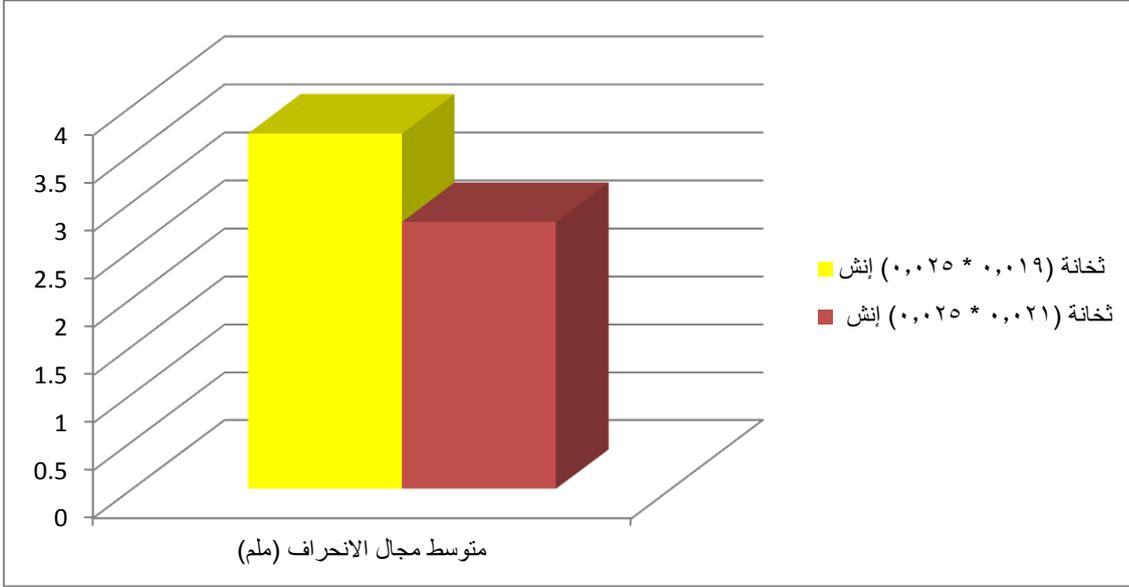
Sig. by ($P < 0.01$) (++)

Sig. by ($P < 0.05$) (+)

Non Sig. (-)



المخطط رقم (3-5) يمثل المتوسط الحسابي لمجال الانحراف الذي أبدى اختلافات نوعية بين ثخانة (0.025X0.019) إنشاً وثخانة (0.025X0.021) إنشاً في أسلاك SS.



المخطط رقم (3-6) يمثل المتوسط الحسابي لمجال الانحراف الذي أبدى اختلافات نوعية بين خناتة (0.025X0.019) إنشاً وخناتة (0.025X0.021) إنشاً في أسلاك FRCs.

(3-4) نتائج دراسة قوة الاحتكاك:

تم القيام باختبارات الاحتكاك على عينة أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) وبالبالغة (80) سلكاً وعينة أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) وبالبالغة (80) سلكاً بقياسين: (0.025X0.019) - (0.025X0.021) إنشاً بطريقتي ربط: مطاط الربط وأسلاك الربط

(3-4-1) تأثير مادة السلك على قوة الاحتكاك:

(3-4-1-1) تأثير مادة السلك في قوة الاحتكاك في الأسلاك ذات خناتة (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بالمطاط:

عند ملاحظة القيم في الجدول التالي يظهر أن متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) التي خناتها (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بالمطاط كانت (7) -

12 - 16.75 - 21.75 - 25.5) دييسي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، ولوحظ أنها أقل نوعياً بشكل كبير من متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بالمطاط والبالغة (9.5 - 17.25 - 25.25 - 32.5 - 40.5) دييسي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، مما أدى إلى وجود فروق دالة إحصائياً بين كل متوسطين عند المرحلة نفسها عند قيمة مستوى الدلالة ($P < 0.01$).

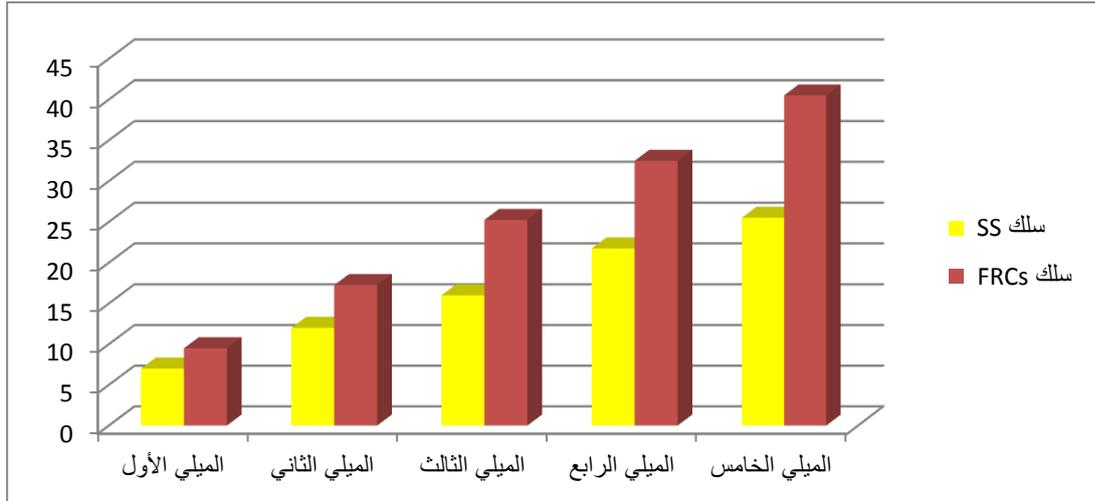
الجدول رقم (3-9) يبين نتائج اختبار *t-student* في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين نوعي الأسلاك المدروسة: (SS) و (FRCs) بثخانة السلك (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بمطاط الربط

Sig.	قيمة P	أسلاك الـ (FRCs)		أسلاك الـ (SS)		مطاط الربط
		الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	
++	0.001	1.5	9.5	2.51	7	المرحلة الأولى
++	0.000	2.94	17.25	3.40	12	المرحلة الثانية
++	0.000	3.69	25.25	4.37	16.75	المرحلة الثالثة
++	0.000	4.03	32.5	4.94	21.75	المرحلة الرابعة
++	0.000	3.12	40.5	3.59	25.5	المرحلة الخامسة

Sig. by ($P < 0.01$) (++)

Sig. by ($P < 0.05$) (+)

Non Sig. (-)



المخطط رقم (3-7) يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين أسلاك SS وأسلاك FRCs بثخانة (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بمطاط الربط.

(3-4-1-2) تأثير مادة السلك في قوة الاحتكاك في الأسلاك ذات ثخانة (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط:

أظهرت الدراسة الحالية أن متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط (6 - 10.25 - 14.5 - 18.75 - 21.75) ديسي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، بينما بلغت متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط (8.75 - 12.75 - 17.75 - 24 - 29.25) ديسي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي وكانت أكبر نوعياً من تلك القيم المسجلة في أسلاك (SS)، ولما تمت مقارنة المتوسطات تم تسجيل فروق ذات دلالة إحصائية بين كل متوسطين عند المرحلة نفسها.

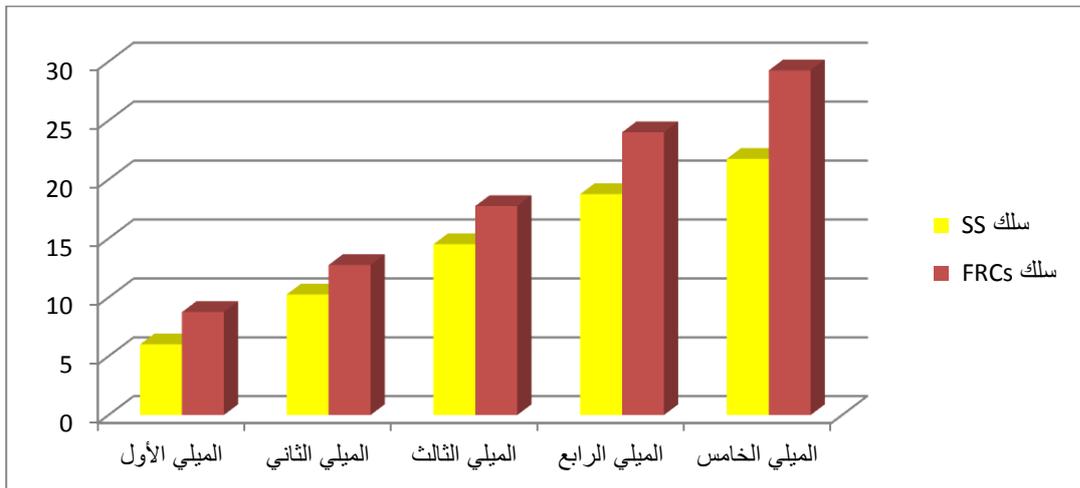
الجدول رقم (3-10) يبين نتائج اختبار *t-student* في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين نوعي الأسلاك المدروسة: (SS) و (FRCs) بثخانة السلك (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط

Sig.	قيمة P	أسلاك الـ (FRCs)		أسلاك الـ (SS)		أسلاك الربط
		الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	
++	0.000	2.16	8.75	2	6	المرحلة الأولى
++	0.007	2.48	12.75	2.94	10.25	المرحلة الثانية
++	0.002	2.94	17.75	3.12	14.5	المرحلة الثالثة
++	0.000	3	24	2.68	18.75	المرحلة الرابعة
++	0.000	3.26	29.25	2.86	21.75	المرحلة الخامسة

Sig. by ($P < 0.01$) (++)

Sig. by ($P < 0.05$) (+)

Non Sig. (-)



المخطط رقم (3-8) يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين أسلاك SS وأسلاك FRCs بثخانة (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط.

(3-1-4-3) تأثير مادة السلك في قوة الاحتكاك في الأسلاك ذات ثخانة

(0.025X0.021) إنشاً عند الربط بالمطاط:

لوحظ من الجدول (3-11) أن متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ

(SS) التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بالمطاط (9 - 14.75 - 20.5

- 26.5 - 32) ديبي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، إذ كانت هذه المتوسطات أقل بشكل متناقص من متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بالمطاط والبالغة (9.5 - 17 - 24.5 - 31.5 - 37.75) ديبي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، وعند مقارنة المتوسطات لم يتم تسجيل فروق ذات دلالة إحصائية في المرحلة الأولى، لكن هذا الأمر اختلف وتم تسجيل فروق ذات دلالة إحصائية بين كل متوسطين عند المرحلة نفسها عند قيمة مستوى الدلالة ($P < 0.05$) في المرحلة الثانية، وسُجّلت فروق أخرى ذات دلالة إحصائية عند قيمة مستوى الدلالة ($P < 0.01$) في المرحلة الثالثة والرابعة والخامسة.

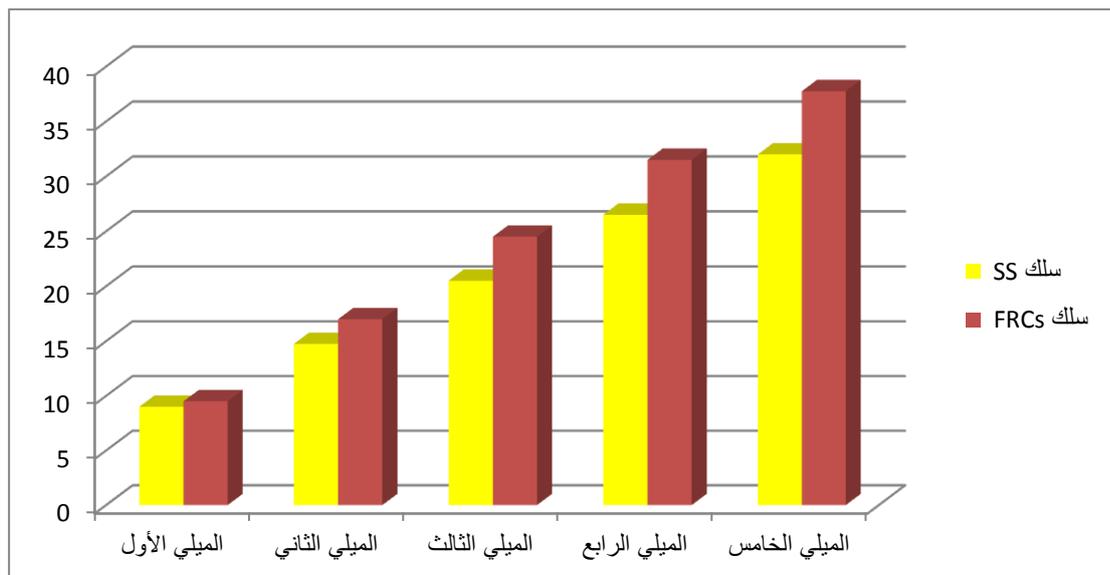
الجدول رقم (3-11) يبين نتائج اختبار *t-student* في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين نوعي الأسلاك المدروسة: (SS) و(FRCs) بثخانة السلك (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بمطاط الربط

Sig.	قيمة P	أسلاك الـ (FRCs)		أسلاك الـ (SS)		مطاط الربط
		الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	
-	0.389	1.5	9.5	2	9	المرحلة الأولى
+	0.023	2.44	17	3.34	14.75	المرحلة الثانية
++	0.002	3.84	24.5	3.5	20.5	المرحلة الثالثة
++	0.000	3.90	31.5	3.20	26.5	المرحلة الرابعة
++	0.000	4.02	37.75	2.44	32	المرحلة الخامسة

Sig. by ($P < 0.01$) (++)

Sig. by ($P < 0.05$) (+)

Non Sig. (-)



المخطط رقم (3-9) يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين أسلاك SS وأسلاك FRCs بثخانة (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بمطاط الربط.

(3-4-1-4) تأثير مادة السلك في قوة الاحتكاك في الأسلاك ذات ثخانة (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط:

لوحظ من الجدول (3-12) أن متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط (8.5 - 14 - 18 - 22 - 26.75) ديسي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، في حين كانت هذه المتوسطات لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط (9.5 - 14.5 - 20.25 - 26.5 - 31.25) ديسي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، وعند مقارنة المتوسطات لم يتم تسجيل فروق ذات دلالة إحصائية في المرحلة الأولى والثانية، في حين تم تسجيل فروق ذات دلالة إحصائية بين كل متوسطين عند المرحلة نفسها عند قيمة مستوى الدلالة ($P < 0.05$) في المرحلة الثالثة لأن متوسطات

قوى الاحتكاك لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) كانت مرتفعة بشكل متزايد، ثم سُجلت فروق أخرى ذات دلالة إحصائية عند قيمة مستوى الدلالة ($P < 0.01$) في المرحلة الرابعة والخامسة.

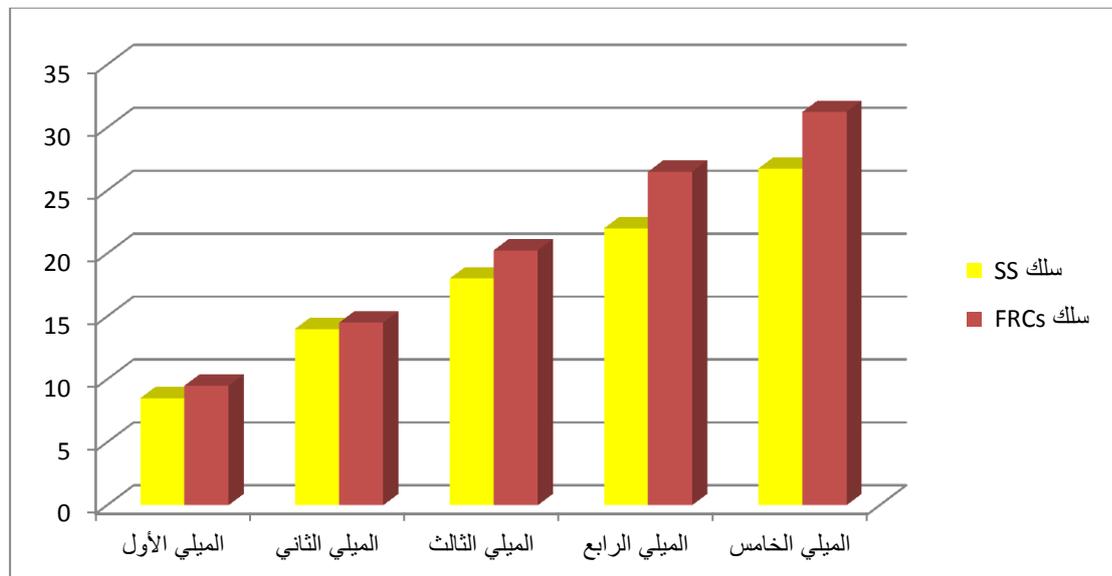
الجدول رقم (3-12) يبين نتائج اختبار *t-student* في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين نوعي الأسلاك المدروسة: (SS) و (FRCs) بثخانة السلك (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط

Sig.	قيمة P	أسلاك الـ (FRCs)		أسلاك الـ (SS)		أسلاك الربط
		الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	
-	0.120	1.5	9.5	2.29	8.5	المرحلة الأولى
-	0.520	1.5	14.5	3	14	المرحلة الثانية
+	0.023	2.48	20.25	3.31	18	المرحلة الثالثة
++	0.001	3.5	25.5	2.44	22	المرحلة الرابعة
++	0.000	3.83	31.25	2.86	26.75	المرحلة الخامسة

Sig. by ($P < 0.01$) (++)

Sig. by ($P < 0.05$) (+)

Non Sig. (-)



المخطط رقم (3-10) يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين أسلاك SS وأسلاك FRCs بثخانة (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط.

(2-4-3) تأثير ثخانة السلك في قوة الاحتكاك:

(1-2-4-3) تأثير ثخانة السلك في قوة الاحتكاك في الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ

(SS) عند الربط بالمطاط:

أظهرت الدراسة المجراة أن متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بالمطاط (7 - 12 - 16.75 - 21.75) دييسي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، وكانت هذه المتوسطات أقل نوعياً وبشكل واضح من متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بالمطاط وبالباغة (9 - 14.75 - 20.5 - 26.5) دييسي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، ولما تمت مقارنة المتوسطات سُجلت فروق ذات دلالة إحصائية بين كل متوسطين عند المرحلة نفسها عند مستوى الدلالة ($P < 0.05$) في المرحلة الأولى والثانية، وسُجلت فروق أخرى ذات دلالة إحصائية عند قيمة مستوى الدلالة ($P < 0.01$) في المرحلة الثالثة والرابعة والخامسة.

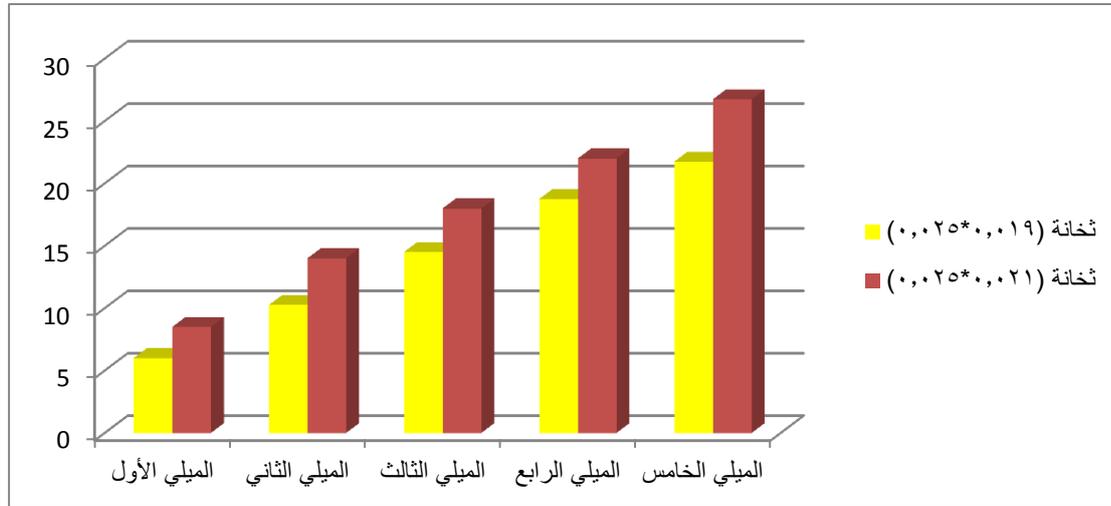
الجدول رقم (3-13) يبين نتائج اختبار *t-student* في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين قياسي ثخانة أسلاك الـ (SS): (0.025X0.019) - (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بمطاط الربط

Sig.	قيمة P	ثخانة (0.025X0.021) إنش		ثخانة (0.025X0.019) إنش		مطاط الربط
		الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	
+	0.010	2	9	2.51	7	المرحلة الأولى
+	0.016	3.34	14.75	3.40	12	المرحلة الثانية
++	0.006	3.5	20.5	4.37	16.75	المرحلة الثالثة
++	0.001	3.20	26.5	4.94	21.75	المرحلة الرابعة
++	0.000	2.44	32	3.59	25.5	المرحلة الخامسة

Sig. by ($P < 0.01$) (++)

Sig. by ($P < 0.05$) (+)

Non Sig. (-)



المخطط رقم (3-11) يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين ثخانة (0.025X0.019) إنشاً وثخانة (0.025X0.021) إنشاً في أسلاك SS عند الربط بمطاط الربط.

(3-2-4-3) تأثير ثخانة السلك في قوة الاحتكاك في الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ (SS) عند الربط بأسلاك الربط:

أظهرت القيم في الجدول (3-14) أن متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط كانت (6 - 10.25 - 14.5 - 18.75 - 21.75) ديسي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، وهي أقل نوعياً من متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط وبالباغة (8.5 - 14 - 18 - 22 - 26.75) ديسي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، وعند مقارنة المتوسطات لوحظ وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين كل متوسطين عند المرحلة نفسها عند قيمة مستوى الدلالة ($P < 0.01$).

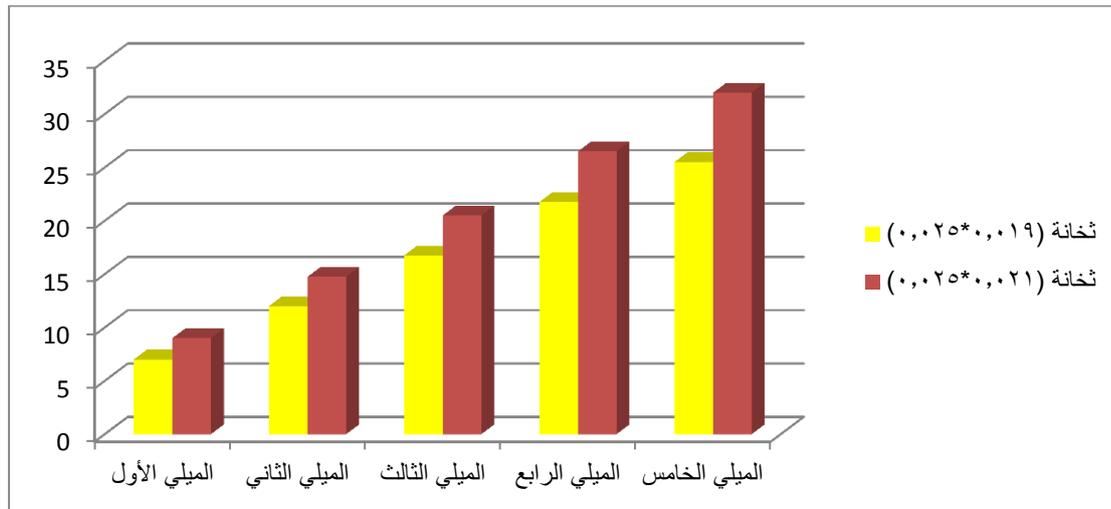
الجدول رقم (3-14) يبين نتائج اختبار *t-student* في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين قياسي ثخانة أسلاك الـ (SS): (0.025X0.019) - (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط

Sig.	قيمة P	ثخانة (0.025X0.021) إنش		ثخانة (0.025X0.019) إنش		أسلاك الربط
		الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	
++	0.001	2.29	8.5	2	6	المرحلة الأولى
++	0.000	3	14	2.94	10.25	المرحلة الثانية
++	0.002	3.31	18	3.12	14.5	المرحلة الثالثة
++	0.000	2.44	22	2.68	18.75	المرحلة الرابعة
++	0.000	2.86	26.75	2.86	21.75	المرحلة الخامسة

Sig. by ($P < 0.01$) (++)

Sig. by ($P < 0.05$) (+)

Non Sig. (-)



المخطط رقم (3-12) يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين ثخانة

(0.025X0.019) إنشاً و(0.025X0.021) إنشاً في أسلاك SS عند الربط بأسلاك الربط.

(3-2-4-3) تأثير ثخانة السلك في قوة الاحتكاك في الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف

(FRCs) عند الربط بالمطاط:

لوحظ من الدراسة الحالية أن متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بالمطاط كانت (9.5 – 17.25 – 25.25 – 32.5 – 40.5) دييسي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، بوجود زيادة طفيفة عن متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بالمطاط وبالباغة (9.5 – 17 – 24.5 – 31.5 – 37.75) دييسي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، وعند مقارنة المتوسطات تمت ملاحظة عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية عدا عند المرحلة الخامسة فقط فقد وُجد فروق ذات دلالة إحصائية بين كل متوسطين عند المرحلة نفسها عند قيمة مستوى الدلالة $(P < 0.05)$.

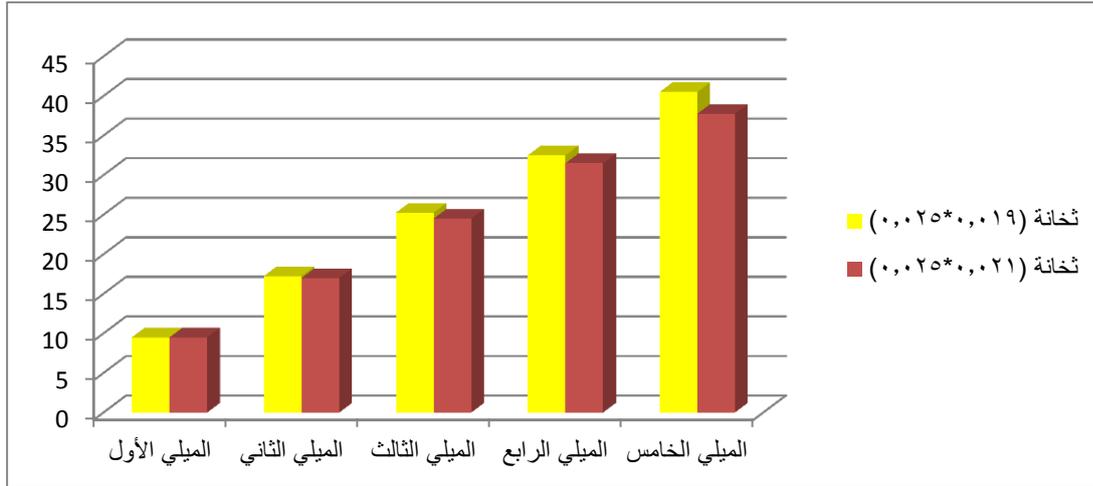
الجدول رقم (3-15) يبين نتائج اختبار *t-student* في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين قياسي ثخانة أسلاك الـ (FRCs): (0.025X0.019) – (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بمطاط الربط

Sig.	قيمة P	ثخانة (0.025X0.021) إنش		ثخانة (0.025X0.019) إنش		مطاط الربط
		الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	
-	1.000	1.5	9.5	1.5	9.5	المرحلة الأولى
-	0.778	2.44	17	2.94	17.25	المرحلة الثانية
-	0.543	3.84	24.5	3.69	25.25	المرحلة الثالثة
-	0.442	3.90	31.5	4.03	32.5	المرحلة الرابعة
+	0.024	4.02	37.75	3.12	40.5	المرحلة الخامسة

Sig. by $(P < 0.01)$ (++)

Sig. by $(P < 0.05)$ (+)

Non Sig. (-)



المخطط رقم (3-13) يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين ثخانة (0.025X0.019) إنشاً وثخانة (0.025X0.021) إنشاً في أسلاك FRCs عند الربط بمطاط الربط.

(3-4-2-4) تأثير ثخانة السلك في قوة الاحتكاك في الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف

(FRCs) عند الربط بأسلاك الربط:

عند تأمل القيم في الجدول (3-16) لوحظ أن متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط قد بلغت (8.75 - 12.75 - 17.75 - 24 - 29.25) دييسي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، بينما بلغت متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط (9.5 - 14.5 - 20.25 - 26.5 - 31.25) دييسي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، وعند مقارنة المتوسطات لم يتم تسجيل أية فروق ذات دلالة إحصائية بين كل متوسطين عند المرحلة نفسها عدا عند المرحلة الثانية والثالثة فقط فقد لوحظ أن متوسطات قوى الاحتكاك للأسلاك

التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً كانت أكبر نوعياً عند قيمة مستوى الدلالة
($P < 0.05$).

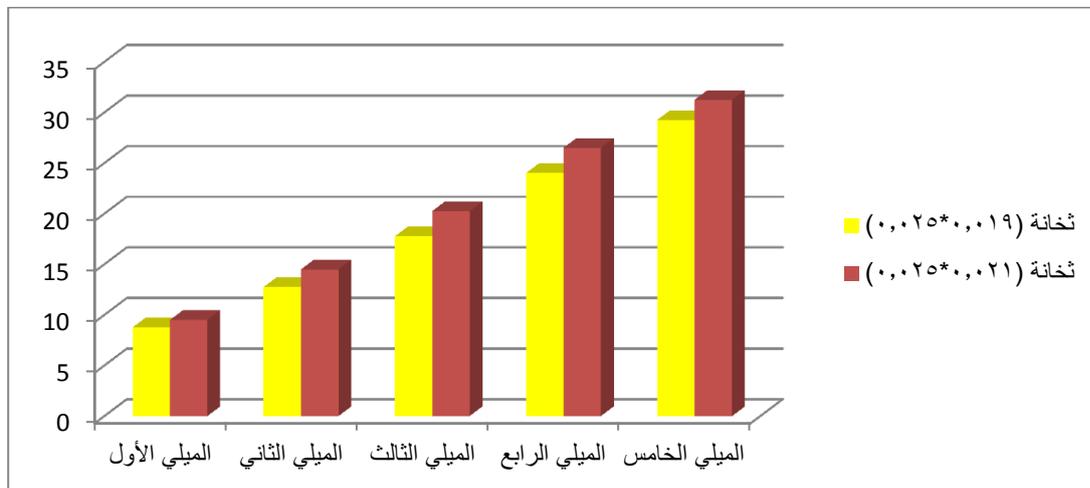
الجدول رقم (3-16) يبين نتائج اختبار *t-student* في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين قياسي ثخانة أسلاك الـ (FRCs): (0.025X0.019) - (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط

Sig.	قيمة P	ثخانة (0.025X0.021) إنش		ثخانة (0.025X0.019) إنش		أسلاك الربط
		الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	
-	0.222	1.5	9.5	2.16	8.75	المرحلة الأولى
+	0.012	1.5	14.5	2.48	12.75	المرحلة الثانية
+	0.007	2.48	20.25	2.94	17.75	المرحلة الثالثة
-	0.164	3.5	25.5	3	24	المرحلة الرابعة
-	0.092	3.83	31.25	3.26	29.25	المرحلة الخامسة

Sig. by ($P < 0.01$) (++)

Sig. by ($P < 0.05$) (+)

Non Sig. (-)



المخطط رقم (3-14) يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين ثخانة (0.025X0.019) إنشاً و ثخانة (0.025X0.021) إنشاً في أسلاك FRCs عند الربط بأسلاك الربط.

(3-4-3) دور طريقة الربط في قوة الاحتكاك:

(1-3-4-3) دور طريقة الربط في قوة الاحتكاك في الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ

(SS) عند ثخانة (0.025X0.019) إنشاً:

أظهرت الدراسة المجراة أن متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) التي ثخانته (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بالمطاط كانت (7 - 12 - 16.75 - 21.75 - 25.5) ديسي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، في حين كانت متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) التي ثخانته (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط أقل من سابقها فقد بلغت (6 - 10.25 - 14.5 - 18.75 - 21.75) ديسي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، وعند مقارنة المتوسطات لم يُلاحظ وجود فروق ذات دلالة إحصائية عدا عند المرحلة الرابعة إذ سُجلت الفروق الجوهرية بين كل متوسطين عند المرحلة نفسها عند قيمة مستوى الدلالة أقل من 0.05، أما عند المرحلة الخامسة فكانت الفروق ذات الدلالة الإحصائية عند قيمة مستوى الدلالة ($P < 0.01$).

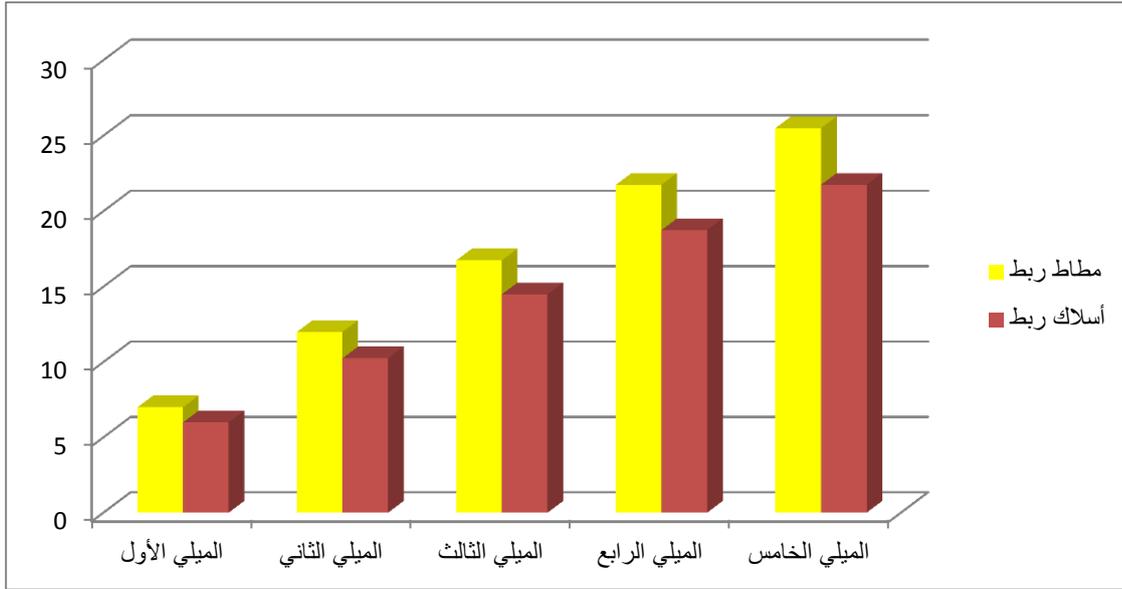
الجدول رقم (3-17) يبين نتائج اختبار *t-student* في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين طريقتي ربط أسلاك ال (SS): مطاط الربط وأسلاك الربط عند ثخانة السلك (0.025X0.019) إنشاً.

Sig.	قيمة P	أسلاك الربط		مطاط الربط		أسلاك ال (SS)
		الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	
-	0.183	2	6	2.51	7	المرحلة الأولى
-	0.098	2.94	10.25	3.40	12	المرحلة الثانية
-	0.076	3.12	14.5	4.37	16.75	المرحلة الثالثة
+	0.025	2.68	18.75	4.94	21.75	المرحلة الرابعة
++	0.001	2.86	21.75	3.59	25.5	المرحلة الخامسة

Sig. by ($P < 0.01$) (++)

Sig. by ($P < 0.05$) (+)

Non Sig. (-)



المخطط رقم (3-15) يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين أسلاك الربط ومطاط الربط عند ثخانة (0.025X0.019) إنشاً في أسلاك SS.

(3-4-3-2) دور طريقة الربط في قوة الاحتكاك في الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ (SS) عند ثخانة (0.025X0.021) إنشاً:

أظهرت نتائج الدراسة الحالية أن متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بالمطاط البالغة (9 - 14.75 - 20.5 - 26.5 - 32) ديبي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، كانت أكبر من متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط والبالغة (8.5 - 14 - 18 - 22 - 26.75) ديبي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، وبمقارنة المتوسطات لم يُلاحظ وجود فروق ذات دلالة إحصائية عند المرحلة الأولى والثانية فقط، أما عند المرحلة الثالثة فقد لوحظ وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين كل متوسطين عند المرحلة نفسها عند قيمة مستوى الدلالة ($P < 0.05$).

ولكنه عند المرحلة الرابعة والخامسة كانت الفروق ذات الدلالة الإحصائية عند قيمة مستوى

الدلالة ($P < 0.01$).

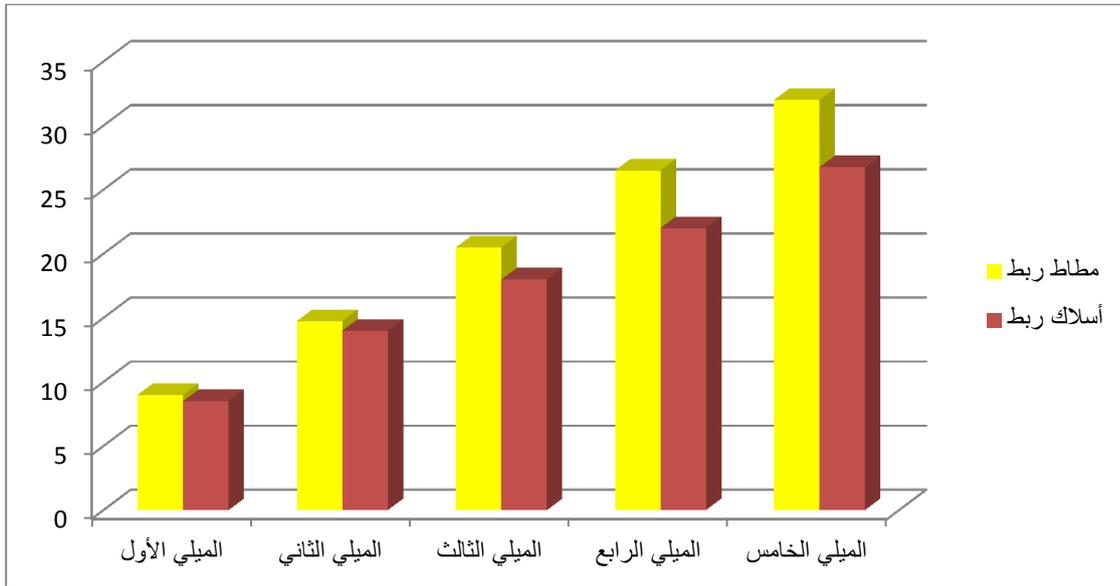
الجدول رقم (3-18) يبين نتائج اختبار *t-student* في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين طريقتي ربط أسلاك الـ (SS): مطاط الربط وأسلاك الربط عند ثخانة السلك (0.025X0.021) إنشاً.

Sig.	قيمة P	أسلاك الربط		مطاط الربط		أسلاك الـ (SS)
		الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	
-	0.478	2.29	8.5	2	9	المرحلة الأولى
-	0.471	3	14	3.34	14.75	المرحلة الثانية
+	0.030	3.31	18	3.5	20.5	المرحلة الثالثة
++	0.000	2.44	22	3.20	26.5	المرحلة الرابعة
++	0.000	2.86	26.75	2.44	32	المرحلة الخامسة

Sig. by ($P < 0.01$) (++)

Sig. by ($P < 0.05$) (+)

Non Sig. (-)



المخطط رقم (3-16) يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين أسلاك الربط

ومطاط الربط عند ثخانة (0.025X0.021) إنشاً في أسلاك SS.

(3-3-4-3) دور طريقة الربط في قوة الاحتكاك في الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف

(FRCs) عند ثخانة (0.025X0.019) إنشاً:

لوحظ من الجدول (3-19) أن متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بالمطاط البالغة (9.5 - 17.25 - 25.25 - 32.5 - 40.5) دييسي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، كانت أكبر نوعياً من متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط التي بلغت (8.75 - 12.75 - 17.75 - 24 - 29.25) دييسي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، لكنه عند مقارنة المتوسطات تم تسجيل فروق جوهرية بين كل متوسطين عند المرحلة نفسها عند قيمة مستوى الدلالة ($P < 0.01$) عند المرحلة الثانية والثالثة والرابعة والخامسة. أما عند المرحلة الأولى، فلم تُلاحظ أي فروق ذات دلالة إحصائية.

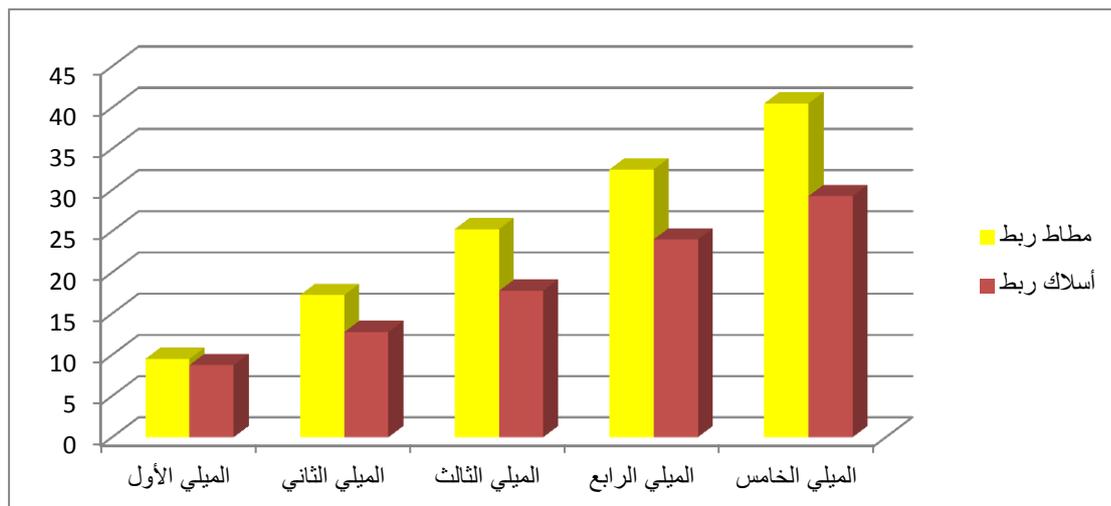
الجدول رقم (3-19) يبين نتائج اختبار *t-student* في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين طريقتي ربط أسلاك الـ (FRCs): مطاط الربط وأسلاك الربط عند ثخانة السلك (0.025X0.019) إنشاً.

Sig.	قيمة P	أسلاك الربط		مطاط الربط		أسلاك الـ (FRCs)
		الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	
-	0.222	2.16	8.75	1.5	9.5	المرحلة الأولى
++	0.000	2.48	12.75	2.94	17.25	المرحلة الثانية
++	0.000	2.94	17.75	3.69	25.25	المرحلة الثالثة
++	0.000	3	24	4.03	32.5	المرحلة الرابعة
++	0.000	3.26	29.25	3.12	40.5	المرحلة الخامسة

Sig. by ($P < 0.01$) (++)

Sig. by ($P < 0.05$) (+)

Non Sig. (-)



المخطط رقم (3-17) يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين أسلاك الربط ومطاط الربط عند ثخانة (0.025X0.019) إنشاً في أسلاك FRCs.

(3-4-3-4) دور طريقة الربط في قوة الاحتكاك في الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف

(FRCs) عند ثخانة (0.025X0.021) إنشاً:

أظهرت الدراسة المجراة أن متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بالمطاط بلغت (9.5 - 17 - 24.5 - 31.5 - 37.75) ديبي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، وهذه القيم كانت أكبر نوعياً من متوسطات قوى الاحتكاك لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط البالغة (9.5 - 14.5 - 20.25 - 26.5 - 31.25) ديبي نيوتن كل (1 ملم) على التوالي، ولما تمت مقارنة قيم المتوسطات لم يُلاحظ وجود فروق ذات دلالة إحصائية عند المرحلة الأولى فقط، أما عند المرحلة الثانية والثالثة والرابعة والخامسة فقد لوحظ وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين كل متوسطين عند المرحلة نفسها عند قيمة مستوى الدلالة ($P < 0.01$).

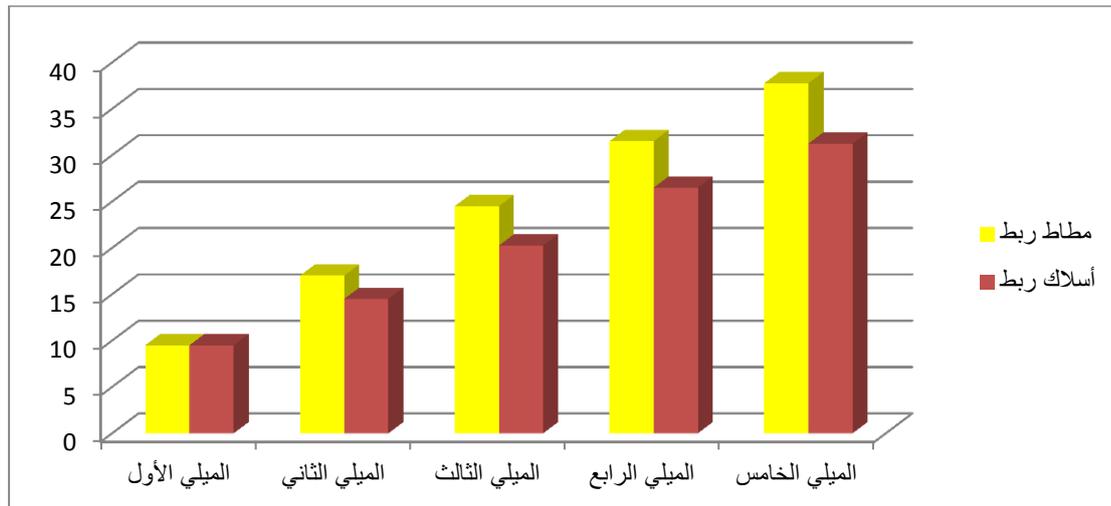
الجدول رقم (3-20) يبين نتائج اختبار *t-student* في العينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قوة الاحتكاك بين طريقتي ربط أسلاك الـ (FRCs): مطاط الربط وأسلاك الربط عند ثخانة السلك (0.025X0.021) إنشاً.

Sig.	قيمة P	أسلاك الربط		مطاط الربط		أسلاك الـ (FRCs)
		الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي (d.N)	
-	1.000	1.5	9.5	1.5	9.5	المرحلة الأولى
++	0.001	1.5	14.5	2.44	17	المرحلة الثانية
++	0.000	2.48	20.25	3.84	24.5	المرحلة الثالثة
++	0.000	3.5	25.5	3.90	31.5	المرحلة الرابعة
++	0.000	3.83	31.25	4.02	37.75	المرحلة الخامسة

Sig. by ($P < 0.01$) (++)

Sig. by ($P < 0.05$) (+)

Non Sig. (-)



المخطط رقم (3-18) يمثل المتوسطات الحسابية لقوة الاحتكاك التي أبدت اختلافات نوعية بين أسلاك الربط ومطاط الربط عند ثخانة (0.025X0.021) إنشاً في أسلاك FRCs.

الباب الرابع

المناقشة

Discussion

4

(4) مناقشة نتائج دراسة الخواص الميكانيكية (المتانة والجساءة والمرونة والاحتكاك):

تطورت المواد المستخدمة في المعالجة التقويمية، وتم إنتاج مواد تحقق الناحية التجميلية خلال المعالجة، فاستخدمت النماذج الأولية لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) في مرحلة الرصف والتسوية في أثناء المعالجة التقويمية، ومع إنتاج أجيال متطورة من هذه الأسلاك أصبح من الممكن استخدامها في كامل مراحل المعالجة التقويمية وخاصة مرحلة الإرجاع إذ يتم تحريك الأسنان بحركة انزلاقية على طول السلك التقويمي، لكن الاهتمام بالناحية التجميلية على حساب النواحي الميكانيكية في أثناء المعالجة يعتبر أمراً مرفوضاً، لما للخصائص الميكانيكية والفيزيائية للأسلاك التقويمية المستخدمة في المعالجة من أهمية كبرى في إنجاز الحركات التقويمية الضرورية، لذلك كان من الواجب دراسة هذه الخصائص الميكانيكية للأسلاك التجميلية (FRCs) ومقارنتها بالخصائص الأساسية لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) التي تعتبر الأسلاك الأكثر جساءة وفقاً للعديد من الدراسات العالمية (John et al., 2007, Vena et al., 2007, Vijayalakshmi et al., 2009)، وتعتبر الأسلاك الأقل احتكاكاً وفقاً للعديد من الدراسات العالمية (Stannard et al., 1986, Tidy, 1989, Kapila et al., 1990, Cash et al., 2004b, Juvvadi et al., 2010)، وهذا هو هدف هذا البحث الحالي.

(1-4) مناقشة نتائج دراسة المتانة:

(1-1-4) تأثير مادة السلك في المتانة:

أظهرت الدراسة الحالية أن متوسط القوة اللازمة (متانة) لتحطم الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ (SS) كان أكبر نوعياً ($P = 0.00$) عند قيمة مستوى الدلالة ($P < 0,01$) مقارنة

بمتوسط القوة اللازمة لتحطم أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) في كلتا الشخانتين المدروستين $(0.025 \times 0.019) - (0.025 \times 0.021)$ إنشاً. ويمكن تفسير ذلك بالقصافة التي تتمتع بها الألياف الزجاجية الموزعة ضمن قالب الراتنجي في أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) مقارنة بأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) التي تعتبر الأسلاك التقويمية الأكثر متانة كونها تستخدم في الأبحاث العلمية كعينات شاهدة في اختبارات المتانة (قوة التحطم)، وعلى الرغم من هذه النتيجة لكن الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف اجتازت اختبارات التعب المجراة عليها (Narva et al., 2004) واجتازت اختبارات قوى المضغ (Tahmasbi et al., 2007) ولم تتعرض للتحطم في أثناء الاختبارات (Zufall and Kussy, 2000a)، لذلك قد تعتبر جيدة للاستخدام السريري لأنها تتحمل القوى الفموية الطبيعية.

فاتفقت نتائج الدراسة الحالية مع نتائج دراسة (Fallis and Kussy, 2000) اللذين توصلا إلى أن قيم متانة أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) تضعه في نطاق قيم أسلاك (β - تيتانيوم) وأقل من قيم متانة أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS)، واتفقت أيضاً مع دراسة (Imai et al., 1998) الذين توصلوا إلى أن قيم متانة أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) بين متانة أسلاك النيكل تيتانيوم (NiTi) وأسلاك الكروم كوبالت (Co-Cr) القريبة من متانة أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS).

(2-1-4) تأثير ثخانة السلك في المتانة:

(1-2-1-4) تأثير ثخانة السلك في متانة الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ (SS):

كان متوسط القوة اللازمة لتحطم (متانة) الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ (SS) التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً والبالغ (304.55) نيوتن أكبر نوعياً عند قيمة مستوى الدلالة ($P < 0,01$) مقارنة بمتوسط القوة اللازمة لتحطم (متانة) الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ (SS) التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً والبالغ (263.45) نيوتن. ويُفسر ذلك بأن جساءة السلك تتناسب طردياً مع عرض السلك وطردياً مع القوة الثالثة لثخنته وبالتالي فإنه كلما نقصت ثخانة السلك نقصت قساوته وزادت مرونته، وزادت قدرة تحمله للقوى قبل تحطمه وبالتالي زادت متانته (القوة اللازمة لتحطمه) بالاستناد إلى أن المتانة تُعرف بأنها أقصى قوة يتحملها السلك التقويمي قبل تحطمه.

(2-2-1-4) تأثير ثخانة السلك في متانة الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف (FRCs):

لم يكن هناك فروق نوعية بين متوسط القوة اللازمة لتحطم (متانة) أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً (56 نيوتن) وبين متوسط القوة اللازمة لتحطم (متانة) الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً والبالغة (56.55) نيوتن. ويمكن تفسير ذلك بالقصافة المرتفعة التي تتمتع بها الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف (FRCs) وبالتالي فإن زيادة ثخانة السلك الراتنجي بشكل طفيف لن يزيد متانته بشكل كبير وواضح. وقد اختلفت هذه الدراسة مع دراسة (Nakamura et al., 2003) التي وجدت أن زيادة ثخانة السلك الراتنجي يزيد مقاومته للتحطم (متانته).

توصلت دراسة (Goldberg and Burstone, 1992) التي درس الباحثان فيها أسلاكاً راتنجيةً مقواة بالألياف (FRCs) بلغت نسبة الألياف الزجاجية فيها (43-45%)، ودراسة (Vallittu, 1999) التي تناولت أسلاك الراتنج المقواة بالألياف (FRCs) بنسبة ألياف منخفضة (6-28%)، إلى أن تدعيم الراتنج بالألياف الزجاجية وزيادة نسبتها يعزز مقاومته للتحطم (متانته)، في حين أن الدراسة الحالية ركزت على أسلاك راتنجية مقواة بالألياف (FRCs) نسبة الألياف الزجاجية فيها (40-70%).

(2-4) مناقشة نتائج دراسة القساوة (الجساءة):

(1-2-4) تأثير مادة السلك في القساوة (الجساءة) في الأسلاك بالثخانتين المدروستين (0.025X0.019) و(0.025X0.021) إنشاً:

لوحظ أن متوسط القوة المتحررة من الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً عند تنشيطها بمقدار (1) مم والبالغ (53.5) نيوتن كان أكبر نوعياً عند ($P < 0,01$) مقارنة بمتوسط القوة المتحررة من أسلاك الراتنج المقوى بالألياف التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً والبالغ (24.9) نيوتن، كما لوحظ أيضاً أن متوسط القوة المتحررة من الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً عند تنشيطها بمقدار (2) مم والذي بلغ (174.26) نيوتن أكبر نوعياً عند ($P < 0,01$) مقارنة بالقوة المتحررة من أسلاك الراتنج المقوى بالألياف التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً والبالغة (47.2) نيوتن. وكان متوسط القوة المتحررة من الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً عند تنشيطها بمقدار (1) مم والبالغ (73.75) نيوتن أكبر نوعياً عند ($P < 0,01$) مقارنة بالقوة المتحررة

من أسلاك الراتنج المقوى بالألياف التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً وبالباغة (27.87) نيوتن. وكان أيضاً متوسط القوة المتحررة من الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً عند تنشيطها بمقدار (2) مم والبالغ (203.05) نيوتن أكبر نوعياً عند ($P < 0,01$) مقارنة بالقوة المتحررة من أسلاك الراتنج المقوى بالألياف التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً وبالباغة (54.76) نيوتن. ويمكن تفسير ذلك بالمرونة التي يتمتع بها القالب الراتنجي والألياف الموزعة ضمنه في أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) مقارنة بأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) والتي لا تتمتع بأية مرونة، واتفقت نتائج هذه الدراسة مع نتائج دراسة (Cacciafesta et al., 2008) الذين تناولوا في دراستهم أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) وأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) وتوصلوا إلى ظهور فروق ذات دلالة إحصائية بين النوعين السابقين، كما اتفقت نتائج الدراسة الحالية مع نتائج دراسة (Ballard et al., 2012) الذين وجدوا أن القوة المتحررة (أثناء التنشيطات المختلفة حتى مسافة 3,1 مم) من الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف (FRCs) أصغر من القوة المتحررة من أسلاك النيكل تيتانيوم (Nickel-Titanium (Ni-Ti)) بقياس السلك نفسه- والتي بدورها تحرر قوة أصغر من القوة المتحررة من أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ -بقياس السلك نفسه- (Kusy and Greenberg, 1981, Kusy, 1981, Watanabe, 1982, Burstone and Goldberg, 1983, Goldberg et al., 1983b).

كما توصل (Fallis and Kusy, 2000) إلى أن القوة التي تحررها أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) تفوق مثلتها لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) أربع مرات وذلك عند

إجراء اختبار الجساءة في واحدة التنشيط، وهذا ما اتفق مع نتائج الدراسة الحالية عند تنشيط الأسلاك بمقدار (2) مم في حين كان متوسط تلك القوة أكثر بضعفين فقط في أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) عنها في أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) عند تنشيط السلك بمقدار (1) مم، وقد يُعزى ذلك إلى الاختلافات في البنية التركيبية لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) والناجمة عن اختلاف تركيبها من قبل الشركة المُصنِّعة أي اختلاف نسبة الألياف الزجاجية إلى قالب الراتنج فيها [نسبة (ألياف/راتنج)]، مما يؤدي بدوره إلى اختلاف معامل المرونة (E) بين الدراستين.

أظهرت الدراسة الحالية أن القوة المتحررة من السلك التقويمي تزداد مع زيادة مقدار التنشيط بغض النظر عن نوعه، إذ كانت تلك القوة المتحررة من أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) عند تنشيطها بمقدار (2 مم) أكبر بثلاثة أضعاف من القوة المتحررة منها عند تنشيطها بمقدار (1 مم) وهذا ما اتفق مع دراسة (Taneja et al., 2003) الذين وجدوا أن زيادة التنشيط يؤدي إلى زيادة القوة المتحررة من السلك التقويمي، في حين كانت القوة المتحررة من أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) عند تنشيطها بمقدار (2 مم) أكبر بضعفين من مثيلتها المتحررة عند تنشيطها بمقدار (1 مم)، ويمكن تفسير ذلك باختلاف معامل المرونة (E) بين أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) وأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) مما يؤدي إلى اختلاف أطراد زيادة القوة المتحررة بزيادة مقدار التنشيط.

بيِّن البحث الحالي أن القوة اللازمة لتحقيق انحراف مقداره (1 مم) في السلك التقويمي - بغض النظر عن نوعه- كان أكبر بكثير من القوة اللازمة لتحريك وحدة سنوية في أثناء عملية الإرجاع (انزلاق السن على طول السلك التقويمي) وهذا ما يبرر إمكانية تحمل كلا

نوعي الأسلاك المدروسة (SS-FRCs) للقوى التقويمية وهذا ما تم تأكيده في أمهات الكتب وفي أبحاث ودراسات عديدة (Kusy, 1997, Proffit, 2007, Khalid et al., 2012) فيما يتعلق بأسلاك (SS)، في حين برهنت الدراسة الحالية مع قلة من الدراسات (Tahmasbi et al., 2007, Cacciafesta et al., 2008) على قدرة تحمل أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) للقوى التقويمية.

(2-2-4) تأثير ثخانة السلك في القساوة (الجساءة):

(1-2-2-4) تأثير ثخانة السلك في القساوة (الجساءة) في الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ (SS):

لوحظ أن متوسط القوة المتحررة من الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً عند تنشيطها بمقدار (1) مم والبالغ (73.75) نيوتن، أكبر نوعياً عند ($P < 0,01$) مقارنة بمتوسط القوة المتحررة من الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً عند تنشيطها بمقدار (1) مم والبالغ (53.5) نيوتن. كما لوحظ أن متوسط القوة المتحررة من الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً عند تنشيطها بمقدار (2) مم والذي بلغ (203.05) نيوتن أكبر نوعياً عند ($P < 0,05$) مقارنة بمتوسط القوة المتحررة من الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً عند تنشيطها بمقدار (2) مم والبالغ (174.26) نيوتن. ويمكن تفسير ذلك بأن القوة المتحررة من السلك (الجساءة) تتناسب طردياً مع عرض السلك وطردياً مع القوة الثالثة لثخانته. فاتفقت نتائج هذه الدراسة الحالية مع نتائج دراسة (Kusy and Greenberg, 1981)، ودراسة (Oltjen et al., 1997)، ودراسة

(Taneja et al., 2003) الذين توصلوا جميعهم إلى أن زيادة ثخانة السلك التقويمي تؤدي إلى زيادة القوة المتحررة منه.

(2-2-2-4) تأثير ثخانة السلك في القساوة (الجساءة) في الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف (FRCs):

لم تتم ملاحظة وجود فروق نوعية بين متوسط القوة المتحررة من أسلاك الراتنج المقوى بالألياف التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً عند تنشيطها بمقدار (1) مم والبالغ (24.9) نيوتن وبين متوسط القوة المتحررة من أسلاك الراتنج المقوى بالألياف التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً عند تنشيطها بمقدار (1) مم والبالغة (27.87) نيوتن. ولعل ذلك سببه صغر مقدار التنشيط البالغ (1) مم، بالإضافة إلى الجساءة الضعيفة والمرونة العالية التي تتمتع بها أسلاك الراتنج المقوى بالألياف بسبب وجود القالب الراتنجي مما يؤدي إلى تحرر قوة ضعيفة عند التنشيط. وقد تقاربت نتائج الدراسة الحالية مع نتائج دراسة (Narva et al., 2004) الذين وجدوا أن متوسط القوة المتحررة من أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) على عينات بقطر (2) مم قد بلغت (5,2 ± 33,5) نيوتن عند تنشيطها بمقدار (1) مم.

بينما لوحظ أن متوسط القوة المتحررة من أسلاك الراتنج المقوى بالألياف التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً عند تنشيطها بمقدار (2) مم والبالغ (54.76) نيوتن أكبر نوعياً عند ($P < 0,05$) مقارنة بمتوسط القوة المتحررة من أسلاك الراتنج المقوى بالألياف التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً عند تنشيطها بمقدار (2) مم والبالغ (47.2) نيوتن. ويمكن تفسير ذلك بأن القوة المتحررة من السلك (الجساءة) تتناسب طردياً مع عرض السلك

وطرداً مع القوة الثالثة لثخنته. واتفقت نتائج هذه الدراسة مع نتائج دراسة (Cacciafesta) (et al., 2007) ودراسة (Cacciafesta et al., 2008) الذين وجدوا أنه كلما زادت ثخانة السلك التقويمي زادت القوة المتحررة منه أثناء التنشيط.

(3-4) مناقشة نتائج دراسة المرونة (مجال الانحراف):

أظهرت نتائج الدراسة الحالية عدم وجود فروق بين متوسطي المرونة (التي يعبر عن مفهومها بمجال الانحراف) لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) وأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS)، ويمكن تفسير ذلك بالنسبة العالية للألياف الزجاجية ضمن قالب الراتنجي التي تتمتع بها أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) مما يعطيها مجال انحراف مشابهاً لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS)، كون هذه الأسلاك الراتنجية تم تصنيعها لاستخدامها كبديل عن أسلاك الـ(SS) في تحريك الأسنان بحركة انزلاقية في أثناء مرحلة الإرجاع.

(1-3-4) تأثير مادة السلك في المرونة (مجال الانحراف):

لم يُلاحظ وجود أية فروق نوعية بين متوسط مجال الانحراف (Range) الناتج عن تنشيط الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ (SS) التي ثخنتها (0.025X0.019) إنشاً والبالغ (3.33) مم وبين متوسط مجال الانحراف (Range) الناتج عن تنشيط أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخنتها (0.025X0.019) إنشاً والبالغ (3.71) مم، كما لم تتم ملاحظة وجود أية فروق نوعية بين متوسط مجال الانحراف (Range) الناتج عن تنشيط الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ (SS) التي ثخنتها (0.025X0.021) إنشاً والبالغ (2.6) مم وبين متوسط مجال الانحراف (Range) الناتج عن تنشيط أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخنتها (0.025X0.021) إنشاً والبالغ (2.79) مم.

ويمكن تفسير ذلك بالنسبة العالية للألياف الزجاجية ضمن القالب الراتنجي التي تتمتع بها أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) كون هذه الأسلاك الراتنجية تم تصنيعها لاستخدامها كبديل تجميلي عن أسلاك الـ(SS) في تحريك الأسنان بحركة انزلاقية في أثناء مرحلة الإرجاع بزيادة نسبة الألياف الزجاجية في تركيب السلك التقويمي highly filled (FRCs) (40 - 70%) في أثناء تصنيعه من قبل الشركة المصنعة. وهذا ما توافق مع دراسة (Goldberg and Burstone, 1992) اللذين وجدوا أنه مع ارتفاع نسبة الألياف الزجاجية الداخلة في تركيب السلك التقويمي تزداد متانته ومعامل مرونته مما يؤدي إلى نقصان مرونته وزيادة قساوته.

(4-3-2) تأثير ثخانة السلك في المرونة (مجال الانحراف):

كان متوسط مجال الانحراف (Range) الناتج عن تنشيط الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ (SS) التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً والبالغ (3.33) مم أكبر نوعياً عند مقارنة بمتوسط مجال الانحراف (Range) الناتج عن تنشيط الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ (SS) التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً والبالغ (2.6) مم. وكان أيضاً متوسط مجال الانحراف (Range) الناتج عن تنشيط أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.019) إنشاً والبالغ (3.71) مم، أكبر نوعياً عند مقارنة بمتوسط مجال الانحراف (Range) الناتج عن تنشيط أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) التي ثخانتها (0.025X0.021) إنشاً والبالغ (2.79) مم.

ويمكن تفسير ذلك بأن مرونة السلك تتناسب عكساً مع عرض السلك وعكساً مع القوة الثالثة لثخانتها وبالتالي فإنه كلما نقصت ثخانة السلك زادت مرونته وزاد مجال انحرافه.

(4-4) مناقشة نتائج دراسة قوة الاحتكاك:

تم إجراء اختبار الاحتكاك مع الأخذ بعين الاعتبار سرعة الحركة والمسافة التي تقطعها الحاصرة في أثناء حركتها على طول السلك خلال مسار الحركة، إذ وُجد أن الدراسات المتعلقة بقوى الاحتكاك كانت تعتمد على سرعات مختلفة في انزلاق الحاصرة على طول السلك التقويمي (Kusy, 2000, Rapiejkoa, 2006, Kamelchuk, 2003)، مثل (10 ملم / دقيقة) (Bortoly et al., 2008, Zufall and Kusy, 2000a) (0.5 ملم / دقيقة) (Henao and Kusy, 2004, Kim et al., 2008, Yeh et al., 2007) (40 ملم / دقيقة) (سلطان، 2010) ولذلك تم القيام بدراسة تمهيدية (Pilot Study) على (20) سلكاً تقويمياً من الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) بثخانة (0.025×0.019) إنشاً لتحديد السرعة الفضلى التي سيتم اعتمادها في الدراسة الحالية وتم التوصل إلى اعتماد سرعة (1 ملم / دقيقة) لعدم وجود أية فروق دالة إحصائية بين سرعتي (1 ملم / دقيقة) و(10 ملم / دقيقة) اللتين تمت دراستهما في الدراسة التمهيدية (Pilot Study)، وهذا ما أكدته دراسة (Ireland et al., 1991) أنه لا توجد اختلافات هامة إحصائية في المقاومة الاحتكاكية المقيسة باستخدام أي سرعة انزلاق تتراوح بين 0.5 ← 50 ملم / دقيقة.

كما أنه تم الاعتماد على تسجيل (5) قيم لقوى الاحتكاك في أثناء انزلاق الحاصرة قيمة كل (1) ملم بسبب كون مسافة الإرجاع الكلية (7) ملم وسطياً وهي عبارة عن وسطي عرض الضاحكة الأولى التي يتم قلعها عادة في حالات الإرجاع وعلى اعتبار نموذج الدعم كان

من النموذج A (الذي يتم فيه الإرجاع ثلاثي مسافة القلع) (Keng et al., 2012) وهي تقريباً (5) مم من أصل (7) مم.

تم إجراء تعديل على الاختبار التقليدي للاحتكاك المُجرى في بعض الدراسات كدراسة Zufall وزملائه (Zufall et al., 1998) ودراسة Henao وزميله (Henao and Kusy, 2004) ودراسة Husain وزميله (Husain and Kumar, 2011) إذ تمت محاكاة ما يحدث في أثناء الحركة الانزلاقية للأسنان في مرحلة الإرجاع من المعالجة التقويمية باستخدام سن أكريلية أُصقت حاصرة خزفية عليها وفق المحور الطولي لها وعلى بعد (3.5) غوج (3.5 gauge) من السطح الطاحن.

(1-4-4) تأثير مادة السلك في قوة الاحتكاك:

لوحظ أن متوسط قوة الاحتكاك عند ثخانة (0.019X0.025) إنشاً لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) عند الربط بمطاط الربط (9.5 - 17.25 - 25.25 - 32.5 - 40.5) ديسي نيوتن كل (1) مم على التوالي كان أكبر نوعياً عند ($P < 0,01$) مقارنة بمتوسط قوة الاحتكاك عند ثخانة (0.025X0.019) إنشاً لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) عند الربط بمطاط الربط وبالبالغة (7 - 12 - 16.75 - 21.75 - 25.5) ديسي نيوتن كل (1) مم على التوالي.

كما لوحظ أن متوسط قوة الاحتكاك عند ثخانة (0.025X0.019) إنشاً لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) عند الربط بأسلاك الربط (8.75 - 12.75 - 17.75 - 24 - 29.25) ديسي نيوتن كل (1) مم على التوالي كان أكبر نوعياً عند ($P < 0,01$) مقارنة بمتوسط قوة الاحتكاك عند ثخانة (0.025X0.019) إنشاً لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ

(SS) عند الربط بأسلاك الربط والبالغة (6 - 10.25 - 14.5 - 18.75 - 21.75) ديسي نيوتن كل (1) مم على التوالي، عدا عند المرحلة الثانية فقط كانت أكبر نوعياً عند $(P < 0,05)$.

وأيضاً كان متوسط قوة الاحتكاك عند ثخانة (0.025X0.021) إنشاً لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) عند الربط بمطاط الربط (9.5 - 17 - 24.5 - 31.5 - 37.75) ديسي نيوتن كل (1) مم على التوالي، دون وجود فروق نوعية في المرحلة الأولى، بينما لوحظ أن هذا المتوسط أكبر نوعياً عند $(P < 0,05)$ في المرحلة الثانية، وكان أكبر نوعياً عند $(P < 0,01)$ في المرحلة الثالثة والرابعة والخامسة مقارنة بمتوسط قوة الاحتكاك عند ثخانة (0.025X0.021) إنشاً لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) عند الربط بمطاط الربط والبالغة (9 - 14.75 - 20.5 - 26.5 - 32) ديسي نيوتن كل (1) مم على التوالي.

لم تتم ملاحظة وجود فروق نوعية في المرحلة الأولى والثانية بين متوسط قوة الاحتكاك عند ثخانة (0.025X0.021) إنشاً لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) عند الربط بأسلاك الربط (9.5 - 14.5 - 20.25 - 26.5 - 31.25) ديسي نيوتن كل (1) مم على التوالي وبين متوسط قوة الاحتكاك عند ثخانة (0.025X0.021) إنشاً لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) عند الربط بأسلاك الربط والبالغة (8.5 - 14 - 18 - 22 - 26.75) ديسي نيوتن كل (1) مم على التوالي، بينما كان متوسط أسلاك (FRCs) أكبر نوعياً عند $(P < 0,05)$ في المرحلة الثالثة، وكان أكبر نوعياً عند $(P < 0,01)$ في المرحلة الرابعة والخامسة.

ويمكن تفسير جميع هذه الفروق الجوهرية بخشونة السطح النوعية التي تتمتع بها أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) مقارنة بأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) ذات السطح المعدني الأملس والمصقول (Stannard et al., 1986, Tidy, 1989, Kapila et al., 1990, Cash et al., 2004b)، وهذا ما اتفق مع كل من دراسة Zufall وزملائه عام 1998 ودراسة Zufall & Kusy عام 2000 ودراسة Suwa وزملائه عام 2003 إذ تم التوصل إلى أن معامل احتكاك أسلاك (FRCs) أعلى من معامل احتكاك أسلاك (SS) وبالتالي قوة احتكاك أسلاك (FRCs) أعلى من مثيلتها لأسلاك (SS) إلا أن هذا المعامل بقي ضمن الحدود الطبيعية للأسلاك التقويمية على الرغم من ارتفاعه (Zufall et al., 1998, Zufall and Kusy, 2000a, Suwa et al., 2003)، كما اتفقت نتائج الدراسة الحالية مع دراسة (Hiroce et al., 2012) التي توصلت أن أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ التجميلية تنتج احتكاكاً أقل من الأسلاك التجميلية التي لم تتعرض لمعالجة سطحها.

(2-4-4) تأثير ثخانة السلك في قوة الاحتكاك:

(1-2-4-4) تأثير ثخانة السلك في قوة الاحتكاك في الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ

(SS) عند الربط بالطريقتين المدروستين (مطاط الربط - أسلاك الربط):

كان متوسط قوة الاحتكاك لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) عند ثخانة (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بمطاط الربط (9 - 14.75 - 20.5 - 26.5 - 32) دييسي نيوتن كل (1) مم على التوالي أكبر نوعياً عند ($P < 0,05$) في المرحلة الأولى والثانية، وأكبر نوعياً عند ($P < 0,01$) في المرحلة الثالثة والرابعة والخامسة مقارنة

بمتوسط قوة الاحتكاك لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) عند ثخانة (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بمطاط الربط وبالباغة (7 - 12 - 16.75 - 21.75 - 25.5) دييسي نيوتن كل (1) مم على التوالي.

كما لوحظ أن متوسط قوة الاحتكاك لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) عند ثخانة (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط (8.5 - 14 - 18 - 22 - 26.75) دييسي نيوتن كل (1) مم على التوالي أكبر نوعياً عند ($P < 0,01$) مقارنة بمتوسط قوة الاحتكاك لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) عند ثخانة (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط وبالباغة (6 - 10.25 - 14.5 - 18.75 - 21.75) دييسي نيوتن كل (1) مم على التوالي.

ويمكن تفسير ذلك بزيادة عدد الشوؤزات المتماسة ضمن سطوح التماس بين السلك والسطح الداخلي للحاصرة بزيادة ثخانة السلك مما يؤدي إلى زيادة مقدار قوى الاحتكاك، واتفقت نتائج هذه الدراسة مع دراسة (Lin and Wu, 2005, Husain and Kumar, 2011) التي توصلت إلى أن زيادة ثخانة السلك تؤدي إلى زيادة مقدار قوة الاحتكاك.

(4-4-2) تأثير ثخانة السلك على قوة الاحتكاك في الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف (FRCs) عند الربط بالطريقتين المدروستين (مطاط الربط - أسلاك الربط):

لم توجد فروق نوعية بين متوسط قوة الاحتكاك لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) عند ثخانة (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بمطاط الربط (9.5 - 17 - 24.5 - 31.5 - 37.75) دييسي نيوتن كل (1) مم على التوالي وبين متوسط قوة الاحتكاك لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) عند ثخانة (0.025X0.019) إنشاً عند الربط

بمطاط الربط والبالغة (9.5 - 17.25 - 25.25 - 32.5 - 40.5) ديسي نيوتن كل (1) مم على التوالي، عدا عند المرحلة الخامسة فقط فإن متوسط قوة الاحتكاك عند ثخانة (0.025X0.019) إنشاً كان أكبر نوعياً عند ($P < 0,05$). ويمكن تفسير وجود فروق نوعية في المرحلة الخامسة بسبب زيادة الزاوية بين السلك وشق الحاصرة مما يؤدي إلى زيادة تماس السلك بزوايا شق الحاصرة واندخال زاوية الحاصرة الخزفية الأكثر جساءة من القالب الراتنجي ضمن القالب الراتنجي لسلك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) وبالتالي زيادة قوة الاحتكاك.

وكذلك الأمر بين متوسط قوة الاحتكاك لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) عند ثخانة (0.025X0.021) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط (9.5 - 14.5 - 20.25 - 26.5 - 31.25) ديسي نيوتن كل (1) مم على التوالي وبين متوسط قوة الاحتكاك لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) عند ثخانة (0.025X0.019) إنشاً عند الربط بأسلاك الربط والبالغة (8.75 - 12.75 - 17.75 - 24 - 29.25) ديسي نيوتن كل (1) مم على التوالي، فلم يلاحظ وجود أية فروق نوعية بينهما، عدا عند المرحلة الثانية والثالثة فقط فكان متوسط قوة الاحتكاك عند ثخانة (0.025X0.021) إنشاً أكبر نوعياً عند ($P < 0,05$). ويمكن تفسير الفروق الجوهرية بسبب زيادة عدد الشؤوزات المتماسة ضمن سطوح التماس بين السلك والسطح الداخلي للحاصرة بزيادة ثخانة السلك. واتفقت نتائج الدراسة الحالية مع نتائج دراسة (Lin and Wu, 2005, Husain and Kumar,) (2011) التي توصلت إلى أن قوة الاحتكاك تزداد بزيادة ثخانة السلك.

(3-4-4) دور نوع الربط في قوة الاحتكاك:

(1-3-4-4) دور نوع الربط في قوة الاحتكاك في الأسلاك الفولاذية المقاومة للصدأ (SS) بالثخانتين المدروستين (0.019 X 0.025) - (0.021 X 0.025) إنش:

لم يلاحظ وجود فروق نوعية بين متوسط قوة الاحتكاك عند ثخانة (0.019X0.025) إنشاً لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) عند الربط بمطاط الربط (7 - 12 - 16.75 - 21.75 - 25.5) دييسي نيوتن كل (1) مم على التوالي وبين متوسط قوة الاحتكاك عند ثخانة (0.025X0.019) إنشاً لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) عند الربط بأسلاك الربط وبالباغة (6 - 10.25 - 14.5 - 18.75 - 21.75) دييسي نيوتن كل (1) مم على التوالي، عدا عند المرحلة الرابعة فإن متوسط قوة الاحتكاك عند الربط بمطاط الربط كان أكبر نوعياً عند ($P < 0,05$) وعند المرحلة الخامسة كان أكبر نوعياً عند ($P < 0,01$). وأيضاً لم تتم ملاحظة وجود فروق نوعية بين متوسط قوة الاحتكاك عند ثخانة (0.025X0.021) إنشاً لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) عند الربط بمطاط الربط (9 - 14.75 - 20.5 - 26.5 - 32) دييسي نيوتن كل (1) مم على التوالي، وبين متوسط قوة الاحتكاك عند ثخانة (0.025X0.021) إنشاً لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) عند الربط بأسلاك الربط وبالباغة (8.5 - 14 - 18 - 22 - 26.75) دييسي نيوتن كل (1) مم على التوالي عند المرحلة الأولى والثانية، بينما عند المرحلة الثالثة فإن متوسط قوة الاحتكاك عند الربط بمطاط الربط كان أكبر نوعياً عند ($P < 0,05$) وعند المرحلة الرابعة والخامسة كان أكبر نوعياً عند ($P < 0,01$). ويمكن تفسير الفروق الجوهرية بين نوعي الربط بأن مطاط الربط يطبق قوة على السلك التقويمي عند ربطه أما أسلاك

الربط فإنها تكون حيادية لا تطبق قوة على السلك التقويمي عند ربطها، واتفقت نتائج هذه الدراسة مع نتائج دراسة (Lin and Wu, 2005, Husain and Kumar, 2011) التي توصلت إلى أن الربط بمطاط الربط ينتج احتكاكاً أكبر من الربط بأسلاك الربط.

(2-3-4-4) دور نوع الربط في قوة الاحتكاك في الأسلاك الراتنجية المقواة بالألياف (FRCs) بالثخانتين المدروستين (0.019 X 0.025) - (0.021 X 0.025) إنش:

لم يلاحظ وجود فروق نوعية عند المرحلة الأولى فقط بين متوسط قوة الاحتكاك عند ثخانة (0.025X0.019) إنشاً لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) عند الربط بمطاط الربط (9.5 - 17.25 - 25.25 - 32.5 - 40.5) ديسي نيوتن كل (1) مم على التوالي وبين متوسط قوة الاحتكاك عند ثخانة (0.025X0.019) إنشاً لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) عند الربط بأسلاك الربط وبالباغة (8.75 - 12.75 - 17.75 - 24 - 29.25) ديسي نيوتن كل (1) مم على التوالي، بينما عند المرحلة الثانية والثالثة والرابعة والخامسة فإن متوسط قوة الاحتكاك عند الربط بمطاط الربط كان أكبر نوعياً عند $(P < 0,01)$.

وكذلك الأمر بين متوسط قوة الاحتكاك عند ثخانة (0.025X0.021) إنشاً لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) عند الربط بمطاط الربط (9.5 - 17 - 24.5 - 31.5 - 37.75) ديسي نيوتن كل (1) مم على التوالي وبين متوسط قوة الاحتكاك عند ثخانة (0.025X0.021) إنشاً لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) عند الربط بأسلاك الربط وبالباغة (9.5 - 14.5 - 20.25 - 26.5 - 31.25) ديسي نيوتن كل (1) مم على التوالي، فلم يلاحظ وجود فروق نوعية عند المرحلة الأولى فقط، بينما عند المرحلة

الثانية والثالثة والرابعة والخامسة فإن متوسط قوة الاحتكاك عند الربط بمطاط الربط كان أكبر نوعياً عند ($P < 0,01$). ويمكن تفسير وجود الفروق الجوهرية بأن مطاط الربط يطبق قوة على السلك عند ربطه أما أسلاك الربط فإنها تكون حيادية لا تطبق قوة على السلك عند ربطها. واتفقت نتائج هذه الدراسة مع نتائج دراسة (Lin and Wu, 2005, Husain and Kumar, 2011) التي توصلت إلى أن الربط بمطاط الربط ينتج احتكاكاً أكبر من الربط بأسلاك الربط.

الباب الخامس
الاستنتاجات
Conclusions

5

الاستنتاجات

Conclusions

كما ذكر فيما سبق فإن الغاية من الدراسة هي اختبار خواص أسلاك (FRCs) من حيث: المتانة (مقاومة التحطم) - القساوة (الجساءة) - المرونة (والتي يعبر عن مفهومها بمجال الانحراف) - الاحتكاك وذلك بالمقارنة مع أسلاك (SS) مخبرياً. ومن خلال النتائج تم استنتاج مايلي:

1. كانت متانة (مقاومة الكسر) أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) أقل مما هو عليه الحال عند أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS)، في كل من الثخانتين المدروستين.
2. لم تتأثر متانة (مقاومة الكسر) أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) باختلاف ثخانة مقطع السلك التقويمي المدروس، في حين تتناسب عكساً مع ثخانة مقطع السلك في أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS).
3. كانت قساوة (جساءة) أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) أقل بكثير مما هو عليه الحال في أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS)، بغض النظر عن مقدار التنشيط المطبق.
4. لم تتأثر قساوة (جساءة) في أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) باختلاف ثخانة مقطع السلك التقويمي المدروس (عندما يكون التنشيط ضئيلاً)، في حين تتناسب طردياً مع ثخانة مقطع السلك التقويمي المدروس في أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS).
5. كان مجال الانحراف لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) مشابهاً لما هو عليه الحال عند أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) مما يُفسر عدم ارتباط مجال الانحراف بمادة السلك بين الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) والفولاذ المقاوم للصدأ (SS).
6. يتناسب مجال الانحراف عكساً مع ثخانة مقطع السلك التقويمي في كل من المادتين المدروستين (FRCs و SS).

7. تُعتبر قوة الاحتكاك لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) أكبر بشكل واضح من قوة الاحتكاك لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) وخاصة في المقاطع التي ثخانتها لا تملأ شق الحاصرة بالكامل مثل ثخانة (0.025X0.019) إنشاً، ولكن في المقاطع التي تملأ شق الحاصرة تقريباً مثل ثخانة (0.025X0.021) إنشاً فإن قوة الاحتكاك لأسلاك (FRCs) تصبح أكبر بشكل طفيف من مثيلتها لأسلاك (SS)، بغض النظر عن نوع الربط في الحالتين.
8. تزداد قوة الاحتكاك في أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) بزيادة ثخانة مقطع السلك التقويمي المدروس.
9. لا تتأثر قوة الاحتكاك في أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) بثخانة مقطع السلك التقويمي المدروس.
10. تزداد قوة الاحتكاك عند الربط بمطاط الربط مقارنة بالربط بأسلاك الربط، في كل من المادتين المدروستين (FRCs و SS)، وبغض النظر عن ثخانة مقطع السلك التقويمي المدروس.

الباب السادس المقترحات والتوصيات

Suggestions and Recommendations

6

المقترحات Suggestions

1. إجراء المزيد من الدراسات المخبرية على أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) بقياسات ثخانة مقاطع جديدة غير مدروسة مثل ثخانة (0.016X0.022) إنشاً وغيرها من القياسات التي لم تدرس بشكل مستفيض.
2. إجراء المزيد من الدراسات المخبرية على أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) لتحري التعب الحاصل للسلك التقويمي نتيجة وضعه في وسط يشابه الوسط الفموي من تأثير قوى المضغ والبلع وقوى اللسان والدورات الحرارية وغيرها من القوى المؤثرة ضمن الوسط الفموي.
3. إجراء المزيد من الدراسات المخبرية على أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) لدراسة مدى ثبات الخصائص التجميلية لهذه الأسلاك في وسط يشابه الوسط الفموي في خصائصه الرطبة ودرجة الحموضة وحتى الخصائص الضوئية والفلورا الفموية.
4. إجراء المزيد من الدراسات المخبرية على أنواع مختلفة من أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) باختلاف نسب (راتنج/ألياف) في كل نوع مدروس من هذه الأسلاك، واختلاف نوع الألياف المقوية للسلك التقويمي المدروس.
5. إجراء الدراسات المخبرية على قوة الاحتكاك لأسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) لمقارنة أنواع مختلفة من ربط السلك التقويمي بالحاصرة، وخاصة الأنواع التجميلية من هذا الربط.
6. إجراء دراسات سريرية مخبرية على أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) لتحري تراكم اللويحة الجرثومية مقارنة بأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ (SS).
7. إجراء دراسات سريرية على أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) لتحري مدى مصداقية تطبيق نتائج الدراسات المخبرية للدراسة الحالية وغيرها من الدراسات على المستوى السريري.

التوصيات

Recommendations

1. يُوصى بالحدز عند تطبيق أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) للاستخدام السريري بسبب قسافتها المرتفعة.
2. يُوصى بالتحقق من توفر المواصفات المطلوبة في الأسلاك التقييمية عند استخدامها.
3. يُوصى باستخدام أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) سريرياً كحالات (Pilot Study) تمهيداً لاستخدامها سريرياً بسبب نجاحها في الاختبارات المخبرية.
4. يُوصى باستخدام أسلاك الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) في الحالات قصيرة المدى التي لا تحتاج لوقت طويل عند الضرورة التجميلية القصوى.

الباب السابع
المراجع
References

7

References:

–A–

1. ADAMS, D. M., POWERS, J. M. & ASGAR, K. 1987. Effects of brackets and ties on stiffness of an arch wire. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 91, 131-6.
2. AIRD, J. C. & DURNING, P. 1987. Fracture of polycarbonate edgewise brackets: a clinical and SEM study. *Br J Orthod*, 14, 191-5.
3. ARTICOLO, L. C. & KUSY, R. P. 1999. Influence of angulation on the resistance to sliding in fixed appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 115, 39-51.

–B–

4. BACCETTI, T. & FRANCHI, L. 2006. Friction produced by types of elastomeric ligatures in treatment mechanics with the preadjusted appliance. *Angle Orthod*, 76, 211-6.
5. BALLARD, R. W., SARKAR, N. K., IRBY, M. C., ARMBRUSTER, P. C. & BERZINS, D. W. 2012. Three-point bending test comparison of fiber-reinforced composite archwires to nickel-titanium archwires. *Orthodontics : the art and practice of dentofacial enhancement*, 13, 46-51.
6. BIRNIE, D. 2006a. Aesthetic brackets and archwires. *Excellence in Orthodontics 2006 Lecture Course*. 18 ed. London.
7. BIRNIE, D. 2006b. Archwires and archwire technology. *Excellence in Orthodontics 2006 Lecture Course*. 18 ed. London.
8. BORTOLY, T. G., GUERRERO, A. P., RACHED, R. N., TANAKA, O., GUARIZA-FILHO, O. & ROSA, E. A. 2008. Sliding resistance with esthetic ligatures: an in-vitro study. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 133, 340 e1-7.
9. BURSTONE, C. 2000. Orthodontics as a science: the role of biomechanics. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 117, 598-600.
10. BURSTONE, C. & KUHMBERG, A. 2000. Fiber-reinforced composites in orthodontics. *JCO*, 36, 271-9.
11. BURSTONE, C. J. 2005. Application of Bioengineering to Clinical Orthodontics. In: GRABER, T. V., R. VIG, K. (ed.) *Orthodontics: Current Principles & Techniques*. 4th ed.: Elsevier Mosby.
12. BURSTONE, C. J. & GOLDBERG, A. J. 1983. Maximum forces and deflections from orthodontic appliances. *Am J Orthod*, 84, 95-103.

–C–

13. CACCIAFESTA, V., SFONDRINI, M. F., LENA, A., SCRIBANTE, A., VALLITTU, P. K. & LASSILA, L. V. 2007. Flexural strengths of fiber-reinforced composites polymerized with conventional light-curing and additional postcuring. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 132, 524-7.
14. CACCIAFESTA, V., SFONDRINI, M. F., LENA, A., SCRIBANTE, A., VALLITTU, P. K. & LASSILA, L. V. 2008. Force levels of fiber-reinforced composites and orthodontic stainless steel wires: a 3-point bending test. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 133, 410-3.
15. CACCIAFESTA, V., SFONDRINI, M. F., RICCIARDI, A., SCRIBANTE, A., KLERSY, C. & AURICCHIO, F. 2003. Evaluation of friction of stainless steel and esthetic self-ligating brackets in various bracket-archwire combinations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 124, 395-402.
16. CASH, A., CURTIS, R., GARRIGIA-MAJO, D. & MCDONALD, F. 2004a. A comparative study of the static and kinetic frictional resistance of titanium molybdenum alloy archwires in stainless steel brackets. *Eur J Orthod*, 26, 105-11.
17. CASH, A., CURTIS, R., GARRIGIA-MAJO, D. & MCDONALD, F. 2004b. A comparative study of the static and kinetic frictional resistance of titanium molybdenum alloy archwires in stainless steel brackets. *European journal of orthodontics*, 26, 105-11.
18. CHA, J. Y., KIM, K. S. & HWANG, C. J. 2007. Friction of conventional and silica-insert ceramic brackets in various bracket-wire combinations. *Angle Orthod*, 77, 100-7.
19. CHIMENTI, C., FRANCHI, L., DI GIUSEPPE, M. G. & LUCCI, M. 2005. Friction of orthodontic elastomeric ligatures with different dimensions. *Angle Orthod*, 75, 421-5.

-D-

20. DYER, S. R., LASSILA, L. V., JOKINEN, M. & VALLITTU, P. K. 2004. Effect of fiber position and orientation on fracture load of fiber-reinforced composite. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 20, 947-55.

-F-

21. FALLIS, D. W. & KUSY, R. P. 2000. Variation in flexural properties of photo-pultruded composite archwires: analyses of round and rectangular profiles. *Journal of materials science. Materials in medicine*, 11, 683-93.
22. FELDNER, J. C., SARKAR, N. K., SHERIDAN, J. J. & LANCASTER, D. M. 1994. In vitro torque-deformation characteristics of orthodontic polycarbonate brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 106, 265-72.
23. FRANCHI, L., BACCETTI, T. & CAMPORESI, M. 2007. An experimental study on the forces released by ceramic preadjusted brackets with low friction vs. conventional elastomeric ligatures. *Prog Orthod*, 8, 294-9.

24. FUJIHARA, K., TEO, K., GOPAL, R., LOH, P. L., GANESH, V. K., RAMAKRISHNA, S., FOONG, W. C. & CHEW, C. L. 2004. Fibrous composite materials in dentistry and orthopaedics: review and applications. *Biomaterials*, 64, 775-88.

–G–

25. GOLDBERG, A. J. & BURSTONE, C. J. 1992. The use of continuous fiber reinforcement in dentistry. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 8, 197-202.
26. GOLDBERG, A. J., BURSTONE, C. J. & KOENIG, H. A. 1983a. Plastic deformation of orthodontic wires. *J Dent Res*, 62, 1016-20.
27. GOLDBERG, A. J., MORTON, J. & BURSTONE, C. J. 1983b. The flexure modulus of elasticity of orthodontic wires. *J Dent Res*, 62, 856-8.
28. GRABER, T. V., R. VIG, K. 2000. *Orthodontics: Current Principles & Techniques*, Elsevier Mosby.
29. GRABER, T. V., R. VIG, K. 2005. *Orthodontics: Current Principles & Techniques*, Elsevier Mosby.

–H–

30. HENAO, S. P. & KUSY, R. P. 2004. Evaluation of the frictional resistance of conventional and self-ligating bracket designs using standardized archwires and dental typodonts. *The Angle orthodontist*, 74, 202-11.
31. HIROCE, M., FERNANDES, D. J., ELIAS, C. N. & MIGUEL, J. A. 2012. Sliding resistance of polycarbonate self-ligating brackets and stainless steel esthetic archwires. *Progress in orthodontics*, 13, 148-53.
32. HUANG, Z. M., GOPAL, R., FUJIHARA, K., RAMAKRISHNA, S., LOH, P. L., FOONG, W. C., GANESH, V. K. & CHEW, C. L. 2003. Fabrication of a new composite orthodontic archwire and validation by a bridging micromechanics model. *Biomaterials*, 24, 2941-53.
33. HUSAIN, N. & KUMAR, A. 2011. Frictional resistance between orthodontic brackets and archwire: an in vitro study. *The journal of contemporary dental practice*, 12, 91-9.

–I–

34. IMAI, T., WATARI, F., YAMAGATA, S., KOBAYASHI, M., NAGAYAMA, K., TOYOIZUMI, Y. & NAKAMURA, S. 1998. Mechanical properties and aesthetics of FRP orthodontic wire fabricated by hot drawing. *Biomaterials*, 19, 2195-200.
35. IRELAND, A. J., SHERRIFF, M. & MCDONALD, F. 1991. Effect of bracket and wire composition on frictional forces. *Eur J Orthod*, 13, 322-8.
36. IWASAKI, L. R., BEATTY, M. W., RANDALL, C. J. & NICKEL, J. C. 2003. Clinical ligation forces and intraoral friction during sliding on a stainless steel archwire. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 123, 408-15.

–J–

37. JOHN, J., WAGNER, W. W. & KUIPER, J. H. 2007. Tension-band wiring of transverse fractures of patella. The effect of site of wire twists and orientation of stainless steel wire loop: a biomechanical investigation. *International orthopaedics*, 31, 703-7.
38. JONES, S. P., TAN, C. C. & DAVIES, E. H. 2002. The effects of reconditioning on the slot dimensions and static frictional resistance of stainless steel brackets. *Eur J Orthod*, 24, 183-90.
39. JUVVADI, S. R., KAILASAM, V., PADMANABHAN, S. & CHITHARANJAN, A. B. 2010. Physical, mechanical, and flexural properties of 3 orthodontic wires: an in-vitro study. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 138, 623-30.

-K-

40. KAMELCHUK, L., EMILE ROSSOUW, P. 2003. Development of a Laboratory Model to Test Kinetic Orthodontic Friction. *Seminars in Orthodontics* [Online], 9.
41. KAPILA, S., ANGOLKAR, P. V., DUNCANSON, M. G., JR. & NANDA, R. S. 1990. Evaluation of friction between edgewise stainless steel brackets and orthodontic wires of four alloys. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 98, 117-26.
42. KEITH, O., JONES, S. P. & DAVIES, E. H. 1993. The influence of bracket material, ligation force and wear on frictional resistance of orthodontic brackets. *Br J Orthod*, 20, 109-15.
43. KENG, F. Y., QUICK, A. N., SWAIN, M. V. & HERBISON, P. 2012. A comparison of space closure rates between preactivated nickel-titanium and titanium-molybdenum alloy T-loops: a randomized controlled clinical trial. *European journal of orthodontics*, 34, 33-8.
44. KHALID, S. A., KUMAR, V. & JAYARAM, P. 2012. The comparison of frictional resistance in titanium, self-ligating stainless steel, and stainless steel brackets using stainless steel and TMA archwires: An in vitro study. *Journal of pharmacy & bioallied sciences*, 4, S203-11.
45. KIM, T. K., KIM, K. D. & BAEK, S. H. 2008. Comparison of frictional forces during the initial leveling stage in various combinations of self-ligating brackets and archwires with a custom-designed typodont system. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 133, 187 e15-24.
46. KRISHNAN, V. & KUMAR, K. J. 2004. Mechanical properties and surface characteristics of three archwire alloys. *The Angle orthodontist*, 74, 825-31.
47. KUSY, R. P. 1981. Comparison of nickel-titanium and beta titanium wire sizes to conventional orthodontic arch wire materials. *Am J Orthod*, 79, 625-9.
48. KUSY, R. P. 1997. A review of contemporary archwires: their properties and characteristics. *The Angle orthodontist*, 67, 197-207.
49. KUSY, R. P. 1998. The future of orthodontic materials: the long-term view. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 113, 91-5.
50. KUSY, R. P. 2000. Ongoing innovations in biomechanics and materials for the new millennium. *The Angle orthodontist*, 70, 366-76.

51. KUSY, R. P. 2002. Orthodontic biomaterials: from the past to the present. *The Angle orthodontist*, 72, 501-12.
52. KUSY, R. P. & GREENBERG, A. R. 1981. Effects of composition and cross section on the elastic properties of orthodontic wires. *The Angle orthodontist*, 51, 325-41.
53. KUSY, R. P., MIMS, L. & WHITLEY, J. Q. 2001. Mechanical characteristics of various tempers of as-received cobalt-chromium archwires. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 119, 274-91.
54. KUSY, R. P., SAUNDERS, C. R. & WHITLEY, J. Q. 1997. Improving Arch Mechanics Through Surface Chemistry. In: NANDA, R. (ed.) *Biomechanics in Clinical Orthodontics*. Saunders Company.
55. KUSY, R. P. & WHITLEY, J. Q. 1989. Effects of sliding velocity on the coefficients of friction in a model orthodontic system. *Dent Mater*, 5, 235-40.
56. KUSY, R. P. & WHITLEY, J. Q. 1990. Coefficients of friction for arch wires in stainless steel and polycrystalline alumina bracket slots. I. The dry state. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 98, 300-12.
57. KUSY, R. P. & WHITLEY, J. Q. 1997. Friction between different wire-bracket configurations and materials. *Semin Orthod*, 3, 166-77.
58. KUSY, R. P. & WHITLEY, J. Q. 1999. Influence of archwire and bracket dimensions on sliding mechanics: derivations and determinations of the critical contact angles for binding. *Eur J Orthod*, 21, 199-208.
59. KUSY, R. P. & WHITLEY, J. Q. 2001. Frictional resistances of metal-lined ceramic brackets versus conventional stainless steel brackets and development of 3-D friction maps. *Angle Orthod*, 71, 364-74.

-L-

60. LIN, H. P. & WU, J. Y. 2005. [A study of frictional resistance of archwires and ligating methods]. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue*, 14, 164-8.

-M-

61. MATASA, C. G. 2005. Biomaterials in Orthodontics. In: GRABER, T. V., R. VIG, K. (ed.) *Orthodontics: Current Principles & Techniques*. 4th ed.: Elsevier Mosby.
62. MICHELBERGER, D. J., EADIE, R. L., FAULKNER, M. G., GLOVER, K. E., PRASAD, N. G. & MAJOR, P. W. 2000. The friction and wear patterns of orthodontic brackets and archwires in the dry state. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 118, 662-74.

-N-

63. NAKAMURA, T., WAKI, T., KINUTA, S. & TANAKA, H. 2003. Strength and elastic modulus of fiber-reinforced composites used for fabricating FPDs. *The International journal of prosthodontics*, 16, 549-53.
64. NAKANO, H., SATOH, K., NORRIS, R., JIN, T., KAMEGAI, T., ISHIKAWA, F. & KATSURA, H. 1999. Mechanical properties of several nickel-titanium alloy wires

in three-point bending tests. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 115, 390-5.

65. NANDA, R., URIBE, F. & KUHLBERG, A. 2005. Biomechanic Basis of Extraction Space Closure. In: NANDA, R. (ed.) *Biomechanics and Esthetic Strategies in Clinical Orthodontics*. Elsevier Saunders.
66. NARVA, K. K., LASSILA, L. V. & VALLITTU, P. K. 2004. Fatigue resistance and stiffness of glass fiber-reinforced urethane dimethacrylate composite. *The Journal of prosthetic dentistry*, 91, 158-63.

–O–

67. O'REILLY, D., DOWLING, P. A., LAGERSTROM, L. & SWARTZ, M. L. 1999. An ex-vivo investigation into the effect of bracket displacement on the resistance to sliding. *Br J Orthod*, 26, 219-27.
68. OHTONEN, J., VALLITTU, P. K. & LASSILA, L. V. 2013. Effect of monomer composition of polymer matrix on flexural properties of glass fibre-reinforced orthodontic archwire. *European journal of orthodontics*, 35, 110-4.
69. OLTJEN, J. M., DUNCANSON, M. G., JR., GHOSH, J., NANDA, R. S. & CURRIER, G. F. 1997. Stiffness-deflection behavior of selected orthodontic wires. *The Angle orthodontist*, 67, 209-18.
70. OMANA, H. M., MOORE, R. N. & BAGBY, M. D. 1992. Frictional properties of metal and ceramic brackets. *J Clin Orthod*, 26, 425-32.

–P–

71. PROFFIT, W. R. 2007. Mechanical Principles in Orthodontic Force Control In: PROFFIT, W. R. (ed.) *Contemporary Orthodontics*. 4th ed.: Mosby.

–R–

72. RAPIEJKOA, C., FOUVRYA, S., GROSGOGÉAT, B., WENDLER, B. 2006. A representative ex-situ fretting wear investigation of orthodontic archwire/bracket contacts. *Wear* [Online], 266.
73. REDLICH, M., MAYER, Y., HARARI, D. & LEWINSTEIN, I. 2003. In vitro study of frictional forces during sliding mechanics of "reduced-friction" brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 124, 69-73.
74. RUCKER, B. K. & KUSY, R. P. 2002. Elastic properties of alternative versus single-stranded leveling archwires. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 122, 528-41.

–S–

75. SINGH, G. (ed.) 2007 *Textbook of orthodontics* New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers

76. STANNARD, J. G., GAU, J. M. & HANNA, M. A. 1986. Comparative friction of orthodontic wires under dry and wet conditions. *Am J Orthod*, 89, 485-91.
77. SUWA, N., WATARI, F., YAMAGATA, S., IIDA, J. & KOBAYASHI, M. 2003. Static-dynamic friction transition of FRP esthetic orthodontic wires on various brackets by suspension-type friction test. *Journal of biomedical materials research. Part B, Applied biomaterials*, 67, 765-71.

–T–

78. TAHMASBI, S., HERAVI, F. & MOAZZAMI, S. M. 2007. Fracture characteristics of fibre reinforced composite bars used to provide rigid orthodontic dental segments. *Australian orthodontic journal*, 23, 104-8.
79. TANEJA, P., DUNCANSON, M. G., JR., KHAJOTIA, S. S. & NANDA, R. S. 2003. Deactivation force-deflection behavior of multistranded stainless steel wires. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 124, 61-8.
80. TAYLOR, N. G. & ISON, K. 1996. Frictional resistance between orthodontic brackets and archwires in the buccal segments. *The Angle orthodontist*, 66, 215-22.
81. TIDY, D. C. 1989. Frictional forces in fixed appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 96, 249-54.
82. TSELEPIS, M., BROCKHURST, P. & WEST, V. C. 1994. The dynamic frictional resistance between orthodontic brackets and arch wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 106, 131-8.

–V–

83. VALIATHAN, A. & SIDDHARTHA, D. 2006. Fiber Reinforced Composite Arch-Wires in Orthodontics: Function Meets Esthetics. *Trends Biomater. Artif. Organs*, 20, 16-19.
84. VALLITTU, P. K. 1999. Flexural properties of acrylic resin polymers reinforced with unidirectional and woven glass fibers. *The Journal of prosthetic dentistry*, 81, 318-26.
85. VENA, A., CAREY, J. & BADAWI, H. 2007. Clinical variability in arch wires: a preliminary study evaluating mechanical and surface characteristics of two different sized rectangular stainless steel wires. *The open biomedical engineering journal*, 1, 13-22.
86. VIAZIS, A. D., DELONG, R., BEVIS, R. R., DOUGLAS, W. H. & SPEIDEL, T. M. 1989. Enamel surface abrasion from ceramic orthodontic brackets: a special case report. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 96, 514-8.
87. VIJAYALAKSHMI, R. D., NAGACHANDRAN, K. S., KUMMI, P. & JAYAKUMAR, P. 2009. A comparative evaluation of metallurgical properties of stainless steel and TMA archwires with timolium and titanium niobium archwires--an in vitro study. *Indian J Dent Res*, 20, 448-52.

–W–

88. WATANABE, K. 1982. [Studies on new superelastic NiTi orthodontic wire. (Part 1) Tensile and bend test (author's transl)]. *Shika Rikogaku Zasshi*, 23, 47-57.
89. WHITLEY, J. Q. & KUSY, R. P. 2007. Influence of interbracket distances on the resistance to sliding of orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 132, 360-72.

–Y–

90. YEH, C. L., KUSNOTO, B., VIANA, G., EVANS, C. A. & DRUMMOND, J. L. 2007. In-vitro evaluation of frictional resistance between brackets with passive-ligation designs. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 131, 704 e11-22.

–Z–

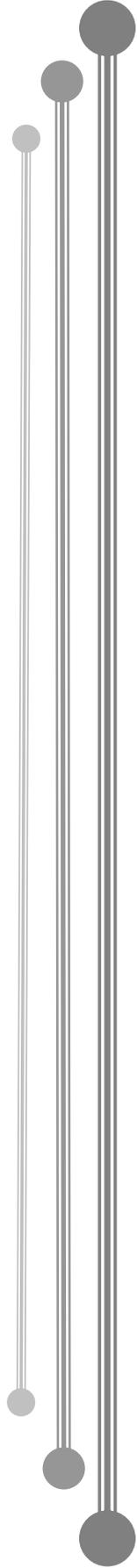
91. ZUFALL, S. W., KENNEDY, K. C. & KUSY, R. P. 1998. Frictional characteristics of composite orthodontic archwires against stainless steel and ceramic brackets in the passive and active configurations. *Journal of materials science. Materials in medicine*, 9, 611-20.
92. ZUFALL, S. W. & KUSY, R. P. 2000a. Sliding mechanics of coated composite wires and the development of an engineering model for binding. *The Angle orthodontist*, 70, 34-47.
93. ZUFALL, S. W. & KUSY, R. P. 2000b. Stress relaxation and recovery behaviour of composite orthodontic archwires in bending. *Eur J Orthod*, 22, 1-12.

المراجع العربية:

1. البابا، فراس. 2013. تقييم الخواص اللونية والجرثومية والاحتكاكية والميكانيكية للأسلاك التقويمية الشفافة مخبرياً ونظيراً سريراً أطروحة دكتوراه، حلب
2. الكاتب، خالد. 2012. تأثير نوع ومادة وقطر القوس السلكية التقويمية واتجاه تطبيق القوة على معدل الحمولة الانحراف الخاص بها (دراسة مخبرية مقارنة). أطروحة ماجستير، دمشق.
3. سلطان، كندة. 2010. دراسة قوى الاحتكاك لبعض الحاصرات التقويمية وأثر اهتراء سطوحها في البيئة الفموية على تلك القوى. دكتوراه أطروحة دكتوراه، دمشق.

المُلخَص

Abstract



دراسة الخواص الميكانيكية (المتانة-القساوة-المرونة-الاحتكاك) لأسلاك الراتنج المضلعة المقواة بالألياف ومقارنتها بأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ

" دراسة مخبرية "

المخلص:

مقدمة البحث وهدفه: زاد الاهتمام بالناحية التجميلية في أثناء المعالجات التقويمية، مما استدعى تطوير بعض الأسلاك التجميلية، لكن انتشارها واستخدامها بقي مقروناً بعدم الإخلال بالناحية الوظيفية المطلوبة من الأسلاك التقويمية، وبالتالي فإن التساؤل الذي يطرح نفسه؛ ما هو مدى مطابقة هذه الأسلاك التجميلية للخصائص الميكانيكية التي يجب توفرها، وما مدى اقترابها من خصائص الأسلاك المعدنية المستخدمة وخاصة أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ من متانة وقساوة (جساءة) ومرونة واحتكاك؟ وهذا هو هدف البحث الحالي.

مواد البحث وطرائقه: تتألف عينة البحث من (240) سلكاً تقويمياً بطول (30) ملم، مقسمة حسب مادة السلك إلى مجموعتين رئيسيتين: (120) سلكاً من الراتنج المقوى بالألياف (FRCs) و(120) سلكاً من الفولاذ المقاوم للصدأ (SS)، كما تم تقسيم كل مجموعة حسب مقطع السلك إلى مجموعتين فرعيتين بمعدل (60) سلكاً لكل منها، ثم تم تقسيم كل مجموعة فرعية طبقاً لنوع الاختبار إلى مجموعتين تحت فرعيتين بمعدل (20) سلكاً لاختبار المتانة والجساءة والمرونة و(40) سلكاً لاختبار الاحتكاك، وقد اعتبرت أسلاك الـ (SS) العينة الشاهدة، واستُخدم الاختبار الإحصائي *Independent t - Student* عند ($P < 0.01$) و ($P < 0.05$).

النتائج: أظهرت الدراسة الحالية انخفاضاً ملحوظاً لقيم متانة أسلاك الراتنج وقساوتها مقارنة بأسلاك الفولاذ في حين أظهرت قوى احتكاك أسلاك الراتنج ارتفاعاً ملحوظاً، بينما لم تظهر أي فروق دالة لقيم متوسطات المرونة (مجال الانحراف) بين نوعي الأسلاك المدروسة.

الاستنتاجات: على الرغم من أن متانة أسلاك الراتنج وقساوتها كانت منخفضة مقارنة بأسلاك الفولاذ، لكنها بقيت أكبر بكثير من القوى التقويمية المطبقة بهدف إجراء الحركة الانزلاقية للأسنان، كما أبدت أسلاك الراتنج قوى احتكاك أعلى من قوى احتكاك أسلاك الفولاذ، في حين أبدت أسلاك الراتنج مرونة مشابهة لمرونة أسلاك الفولاذ، وبالتالي فإن استخدام أسلاك الراتنج يحقق الميزات الوظيفية المطلوبة من الأسلاك التقويمية باستثناء الاحتكاك.

كلمات مفتاحية: أسلاك الراتنج المقوى بالألياف، أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ، الخصائص الأساسية، المتانة، الجساءة، المرونة، الاحتكاك.

Study of mechanical properties (strength–stiffness–springness–friction) of rectangular (fiber–reinforced composites) wires and compare it with stainless steel wires

"In Vitro study "

ABSTRACT:

Introduction & Objective: Aesthetic requirement became very important need during orthodontic treatment, so tooth colored wires have been developed, but obtaining the aesthetic requirement at the expense of the mechanical requirement considered to be unacceptable. Current study was performed to determine the mechanical properties (strength–stiffness–springness–friction) of Fiber–Reinforced Composites (FRCs) wires comparing with Stainless Steel (SS) wires.

Materials and Methods: Case–control study was done in (240) wires divided by two groups of: (120) FRCs wires and (120) SS wires, each group divided into two subgroups according to wire size; each one contains (60) wires, each subgroup divided into two sets according to the test; (20) wires for (3–point bending test), and (40) wires for friction test. *Independent t –Student* was used to perform statistical analysis with ($P < 0.05$) ($P < 0.01$).

Results: The current study showed that the average of strength and stiffness in (FRCs) wires was significantly lower than which in (SS) wires, contrariwise the average of frictional forces in (FRCs) wires were significantly higher, whereas there were no significantly differences between the average springiness (range) of the two types of wires.

Conclusion: (FRCs) wires showed strength and stiffness lower than (SS) wires but their values were still remarkably higher than orthodontic forces applied in sliding mechanics. contrariwise, in frictional forces, the springness of (FRCs) wires was similar to (SS) wires. So there is a need to make clinical studies to investigate if they can be used during orthodontic treatment as an aesthetic wires.

Keywords: Fiber–Reinforced Composites (FRCs) Wires, Stainless Steel (SS) Wires, Essential Properties, Strength, Stiffness, Springness, Friction.