

Evaluation of the Effect of Two Mouthwashes on the Mechanical Properties of Orthodontic Wires (In Vitro Study)

Ali Kaadah * 
Dr. Fadi Khalil **

(Received 23 / 8 / 2025. Accepted 25 / 1 / 2026)

□ ABSTRACT □

Objective: This study was to evaluate the effect of both sodium fluoride (NaF) and sodium fluoride with chlorhexidine (NaF + CHX) mouthwashes on the mechanical properties of orthodontic wires.

Materials and Methods: The sample consisted of 30 stainless steel (S.S) and nickel titanium (NiTi) wires (0.017 x 0.025 inches). 15 wires of each type were divided into three subgroups. The second group of each type was immersed in a 0.05% NaF rinse, the third group in a 0.05% NaF+0.012% CHX rinse, and the first group of each type (as supplied by the manufacturer) was immersed in a 37°C temperature for 90 minutes. The yield strength, maximum tensile stress, and Young's modulus were calculated.

Results: The yield strength, maximum stress, and Young's modulus values of NiTi wires decreased significantly when immersed in NaF rinse, and to a lesser extent when immersed in NaF+CHX rinse. The decrease was also slight for S.S wires.

Conclusions: The decrease in mechanical properties of NiTi wires when immersed in NaF rinse was statistically significant, while the decrease in the remaining immersed groups was statistically insignificant.

Keywords: yield strength, tensile stress, Young's modulus, fluoride, chlorhexidine.



Copyright : Latakia University Journal (formerly Tishreen) - Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* MSc Student - Department of Orthodontics, Faculty of Dentistry, Latakia University (Formerly Tishreen), Syria. E-mail: ali.kaadeh@latakia-univ.edu.sy

** Professor - Department of orthodontics, Faculty of Dentistry, Lattakia University(formerly Tishreen), Syria.

تقييم تأثير غسولين للفم على الخواص الميكانيكية للأسلاك التقويمية (دراسة مخبرية)

علي كعده* 

د. فادي خليل**

(تاريخ الإيداع 23 / 8 / 2025. قبل للنشر في 25 / 1 / 2026)

□ ملخص □

الهدف: من هذه الدراسة هو تقييم تأثير كل من غسولي فلور الصوديوم (NaF) وفلور الصوديوم مع الكلورهيكسيدين (NaF+ CHX) على الخواص الميكانيكية للأسلاك التقويمية.

المواد والطرائق: تألفت العينة من 30 سلك من الفولاذ المقاوم للصدأ S.S والنيكل تيتانيوم NiTi (0.017*0.025 بوصة). 15 سلك لكل نوع، قسم كل نوع من الأسلاك إلى 3 مجموعات فرعية، تم غمر المجموعة الثانية من كل نوع بغسول NaF 0.05% والمجموعة الثالثة بغسول NaF0.05%+CHX0.012% بينما المجموعة الأولى من كل نوع (كما وردت من قبل الشركة المصنعة)، تم غمر الأسلاك في درجة 37 مئوية لمدة 90 دقيقة. تم قياس حد الخضوع وإجهاد الشد الأعظمي ومعامل يونغ.

النتائج: انخفضت قيم كل من حد الخضوع والإجهاد الأعظمي ومعامل يونغ لأسلاك NiTi بشكل ملحوظ عند الغمر بغسول NaF وبشكل أقل عند الغمر بغسول NaF+CHX كما كان الانخفاض في أسلاك S.S طفيفاً.

الاستنتاجات: كان انخفاض الخواص الميكانيكية في أسلاك NiTi عند الغمر بغسول NaF ذو دلالة إحصائية بينما كان الانخفاض في بقية المجموعات المغمورة غير هام إحصائياً.

الكلمات المفتاحية: حد الخضوع، إجهاد الشد، معامل يونغ، فلور، كلورهيكسيدين.

حقوق النشر  مجلة جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً) - سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

* طالب ماجستير - قسم تقويم الأسنان والفكين، كلية طب الأسنان، جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)، سوريا.

E-mail: ali.kaadeh@latakia-univ.edu.sy

** أستاذ - قسم تقويم الأسنان والفكين، كلية طب الأسنان، جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)، سوريا.

1- المقدمة:

غالباً ما يكون المرضى الذين يخضعون للعلاج بأجهزة تقويم الأسنان الثابتة غير قادرين على الأداء الفعال لأساليب تنظيف الفم الميكانيكية، مثل تنظيف الأسنان بالفرشاة واستخدام خيط تنظيف الأسنان. نتيجة ضعف العناية الفموية تتراكم البكتيريا حول الحاصرات وتكون قادرة على التسبب في التهاب اللثة ونزع المعادن من بلورات هيدروكسي الأباتيت في ميناء الأسنان، مما يؤدي إلى تكوين آفات نخرية. بسبب هذه الصعوبة، تم وصف العوامل الكيميائية، وخاصة غسولات الفم التي تحتوي على مكونات فعالة (مثل الكلورهيكسيدين، وفلوريد الصوديوم) كوسيلة مساعدة لتقليل تراكم اللويحة عند مرضى تقويم الأسنان [1]. يعد غسل الفم بالمنتجات المحتوية على الفلورايد طريقة فعالة للوقاية من النخر بسبب الأشكال المعقدة لأجهزة تقويم الأسنان. يعد الاستخدام المنتظم للمنتجات المحتوية على الفلورايد أثناء علاج تقويم الأسنان أمراً ضرورياً لأن أيون الفلورايد يمكن أن يعزز تكوين كريات فلوريد الكالسيوم التي تحفز إعادة التمدن [2]. من المعروف أن الخلائط التقويمية تتعرض للتآكل داخل البيئة الفموية، والأجهزة التقويمية تبقى فترة زمنية طويلة نسبياً بتماس مع الأنسجة السنّية والفموية، وهذا يعطي الأهمية الكبيرة لدراسة موضوع تعرضها للتآكل وما ينتج عنه من تغير في خواص هذه المواد [3].

يمكن أن يؤدي التعرض المطول للمواد الكيميائية في الفم إلى تآكل أو تدهور أسلاك تقويم الأسنان المصنوعة من سبائك معدنية مثل الفولاذ المقاوم للصدأ، أو النيكل-تيتانيوم، أو بيتا-تيتانيوم، وتغيير خصائصها الميكانيكية. يمكن أن تؤثر بعض أنواع غسولات الفم على معامل المرونة لأسلاك تقويم الأسنان، مما يجعلها أكثر عرضة للتشوه أو الكسر عند تعرضها للقوى المطبقة أثناء العلاج التقويمي. أظهرت العديد من الدراسات أن استخدام غسولات الفم التي تحتوي على مكونات فعالة مثل NaF/CHX (الكلورهيكسيدين/ فلور الصوديوم) أثناء الخضوع لعلاج تقويم الأسنان يمكن أن يُضعف الخواص الميكانيكية للأسلاك المقوسة [4].

2- أهمية البحث وأهدافه:

- تحسين سير المعالجة التقويمية بالتواقت مع استخدام الغسولات الفموية دون التأثير على كفاءة الأسلاك التقويمية.
 - إيجاد الشكل الصيدلاني الأفضل للغسل الفموي المستخدم خلال مراحل المعالجة التقويمية المختلفة.
- هدفت هذه الدراسة إلى تقييم تأثير كل من غسولي فلور الصوديوم (NaF) وفلور الصوديوم مع الكلورهيكسيدين (NaF+ CHX) على الخواص الميكانيكية للأسلاك التقويمية.

3- طرائق البحث ومواده:

3-1- عينة البحث:

تم تحديد حجم العينة بـ 30 سلكاً استناداً إلى دراسات سابقة وباستخدام برنامج G-Power تم حساب حجم العينة رياضياً حيث تجاوزت نسبة الثقة في جميع القياسات 95%، بينما وصل أقصاها حتى 99.37% بالنسبة لقياس حد الخضوع في اختبار الشد في مجموعة أسلاك النوع الثاني (الفولاذ المقاوم للصدأ)، و98.92% بالنسبة لقياس الإجهاد الأعظمي في اختبار الشد في مجموعة أسلاك النوع الثاني أيضاً.

3-2- المواد المستخدمة في البحث:

- (1) أقواس سلكية من الفولاذ المقاوم للصدأ من شركة American Orthodontics الشكل (1).
- (2) أقواس سلكية من النيكل تيتانيوم من شركة American Orthodontics الشكل (2).
- (3) غسول فموي حاوي على فلوريد الصوديوم. الشكل (3)
- (4) غسول فموي حاوي على فلوريد الصوديوم مع الكلورهيكسيدين. الشكل (4)
- (5) أنابيب اختبار

3-3- الأجهزة المستخدمة في البحث:

1. حاضنة لحفظ درجة الحرارة. الشكل (6)
2. جهاز الشد Testometric M350-5KN. الشكل (7)



الشكل (2): أقواس سلكية من النيكل تيتانيوم.



الشكل (1): أقواس سلكية من الفولاذ المقاوم للصدأ.



الشكل (4): غسول فلوريد الصوديوم مع الكلورهيكسيدين.



الشكل (3): غسول فلوريد الصوديوم.



الشكل (5): أنابيب اختبار ضمن الحاضنة الحرارية



الشكل (7): جهاز الشد Testometric M350-5KN



الشكل (6): حاضنة حرارية

3-4- تحضير عينات البحث:

تم قطع 30 مفردة (15 مفردة من كل نوع) من الأسلاك (الفولاذ المقاوم للصدأ S.S والنكل تيتانيوم Niti) بطول 40 ملم من الجزء المستقيم من أسلاك قوس تقويم الأسنان العلوية الجاهزة قياس (0.017*0.025 بوصة) قسم النوع الأول من الأسلاك NiTi إلى 3 مجموعات فرعية:

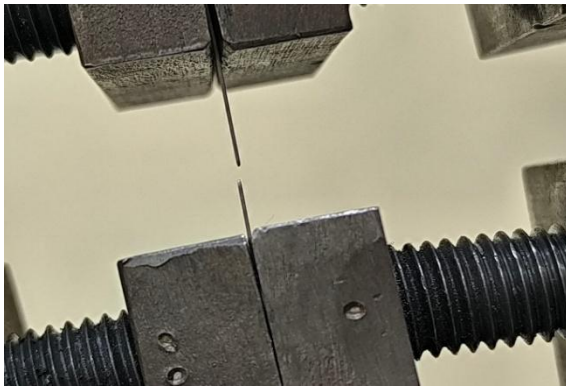
المجموعة الأولى NiTi: لم يتم غمرها، بل تم إجراء الاختبار عليها كما هي من الشركة المصنعة (مجموعة شاهدة)

المجموعة الثانية NiTi F: تم غمرها بغسول فلوريد الصوديوم بتركيز 0.05%

المجموعة الثالثة NiTi F + C: تم غمرها بغسول فلوريد الصوديوم (0.05%) مع الكلورهيكسيدين (0.12%)

قسم النوع الثاني من الأسلاك S.S إلى 3 مجموعات فرعية:

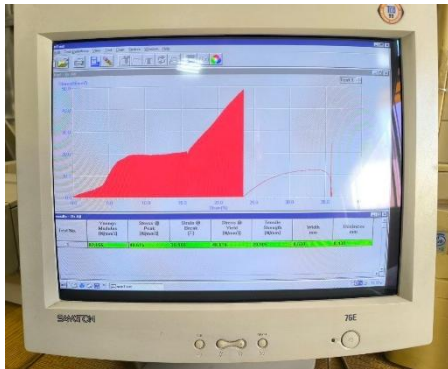
المجموعة الأولى S.S: لم يتم غمرها، بل تم إجراء الاختبار عليها كما هي من الشركة المصنعة (مجموعة شاهدة)
 المجموعة الثانية S.S F: تم غمرها بغسول فلوريد الصوديوم بتركيز 0.05%
 المجموعة الثالثة S.S F + C: تم غمرها بغسول فلوريد الصوديوم (0.05%) مع الكلورهيكسيدين (0.12%)
 تم غمر 5 مفردات سلكية من كل نوع من المجموعات الثانية والثالثة في أنابيب اختبار زجاجية نظيفة تحوي 10 مل من سائل الغمر المخصص لكل مجموعة لمدة 90 دقيقة ضمن حاضنة لحفظ درجة الحرارة على 37 درجة مئوية، بعد الغمر أزيلت كل عينة سلكية من محلولها، وغُسلت بالماء المقطر، وتركت تجف في هواء الغرفة ووضعت جانباً في أكياس بلاستيكية نظيفة كتب عليها نوع السلك واسم المحلول الذي غمرت فيه كما وضعت أسلاك المجموعة الأولى من كل نوع في أكياس بنفس الطريقة. خضعت جميع العينات لاختبار الشد على آلة الاختبار Testometric M350-5KN مع الحفاظ على سرعة شد 1 ملم/دقيقة وبلغت المسافة بين مقبضي الجهاز 20 ملم. تم حساب حد الخضوع وإجهاد الشد الأعظمي ومعامل يونغ لكل عينة بواسطة البرنامج الحاسوبي الخاص بالجهاز



الشكل رقم (9): يوضح فشل السلك (انقطاعه) الحاسوب الخاص به.



الشكل رقم (8): يوضح جهاز الشد مع مقبضي الجهاز.



الشكل رقم (11): يوضح البرنامج الخاص بجهاز الشد أثناء إجراء الاختبار.



الشكل رقم (10): يوضح وحدة التحكم الخاصة بجهاز الشد حيث ضبطت السرعة 1 ملم/د.

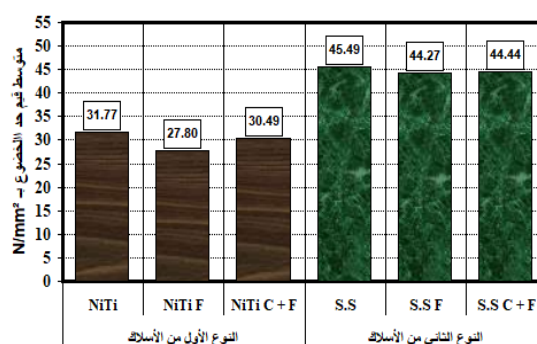
4- النتائج والمناقشة:

حد الخضوع

يبين الجدول (1) بعض الإحصاءات الوصفية المتعلقة بقياسات حد الخضوع في اختبار الشد من وسط حسابي وانحراف معياري وأدنى قيمة وأعلى قيمة، حيث يتبين أن متوسط حد الخضوع كان أعلى في النوع الثاني من الأسلاك، وفيه كانت المجموعة S.S هي الأكبر بـ 45.4884 N/mm^2 ، بينما القيمة الأكبر بين مجموعات النوع الأول من الأسلاك كانت المجموعة NiTi بـ 31.7708 N/mm^2 ، أما القيم الأدنى لمتوسطات حد الخضوع فكانت 27.8028 N/mm^2 في مجموعة الغمر NiTi F للنوع الأول من الأسلاك، و 44.2706 N/mm^2 في مجموعة S.S F في النوع الثاني من الأسلاك كما يبين الشكل (8).

الجدول (1): بعض الإحصاءات الوصفية لقياس حد الخضوع في اختبار الشد تبعا لنوع السلك

نوع الأسلاك	مجموعة الغمر	حجم العينة	أدنى قيمة	أعلى قيمة	الوسط الحسابي	الانحراف المعياري
النوع الأول	NiTi	5	30.4920	32.9850	31.7708	1.0548
	NiTi F	5	26.2050	29.6800	27.8028	1.5752
	NiTi C + F	5	29.2060	31.7450	30.4854	0.9114
النوع الثاني	S.S	5	43.6450	46.6390	45.4884	1.2040
	S.S F	5	43.1700	45.6520	44.2706	0.9750
	S.S C + F	5	44.0256	45.2600	44.4355	0.4764



الشكل (12): تمثيل بياني لمتوسط قياسات حد الخضوع في اختبار الشد تبعا لنوع السلك

اختبار فروق متوسطات حد الخضوع في اختبار الشد بين مجموعات الغمر في كل نوع من الأسلاك طبق اختبار التباين الأحادي One way ANOVA بهدف المقارنة بين متوسطات حد الخضوع في اختبار الشد بين مجموعات الغمر في كل نوع من الأسلاك، حيث تبين وجود اختلاف معنوي بين مجموعات الغمر في النوع الأول من الأسلاك، حيث بلغت قيمة دلالة الاختبار $P\text{-value} = 0.001$ وهي أقل من 0.05، وحتى أنها أقل من 0.01 ما يشير إلى أن الفروقات بين المجموعات كانت معنوية عند مستوى دلالة 1%، بينما لم تكن الفروقات معنوية بين مجموعات الغمر في النوع الثاني من الأسلاك حيث بلغت قيمة $P\text{-value} = 0.124$ وهي تزيد عن 0.05.

الجدول (2): نتائج اختبار One – way ANOVA لمقارنة الاختلافات بين متوسطات قيم حد الخضوع في اختبار الشد

القرار الإحصائي	مستوى الدلالة P-VALUE	قيمة اختبار F	متوسط المربعات	درجات الحرية	مجموع المربعات	المقارنات	نوع الأسلاك	الاختبار
معنوي	0.001**	13.896	20.495	2	40.989	بين المجموعات	النوع الأول	الشد
			1.475	12	17.698	ضمن المجموعات		
				14	58.687	المجموع		
غير معنوي	0.124	2.492	2.182	2	4.365	بين المجموعات	النوع الثاني	
			0.876	12	10.509	ضمن المجموعات		
				14	14.874	المجموع		

من أجل معرفة المجموعات التي كانت فيها المقارنات معنوية بين متوسطي حد الخضوع في اختبار الشد بالنسبة للنوع الأول من الأسلاك جرى تطبيق اختبار المقارنات المتعددة Tukey الذي يراعي تجانس البيانات وتساوي حجم العينة، حيث تبين أن الاختلافات كانت معنوية بين كل من المجموعة الثانية NiTi F أي مجموعة غسول فلور الصوديوم، مع كل من المجموعة الشاهدة NiTi ومجموعة NiTi C + F، حيث كانت قيمة متوسط حد الخضوع في المجموعة NiTi F أقل بشكل معنوي من المجموعتين الأخريتين عند مستوى دلالة 5%.

الجدول (3): نتائج اختبار المقارنات المتعددة Tukey لتحديد الاختلافات

بين فروق متوسطات قياسات حد الخضوع في اختبار الشد

القرار الإحصائي	مستوى الدلالة P-VALUE	فرق المتوسطات	مجموعي المقارنة	مجموعة الأسلاك
معنوي	0.001**	3.968	NiTi – NiTi F	النوع الأول
معنوي	0.011*	2.683	NiTi C + F – NiTi F	
غير معنوي	0.255	1.285	NiTi – NiTi C+ F	

*هام عند مستوى دلالة 0.05 **هام عند مستوى دلالة 0.01

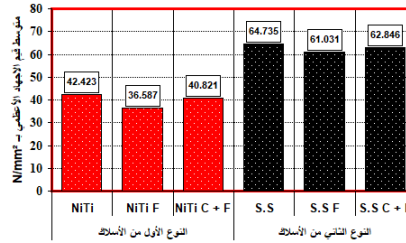
الإجهاد الأعظمي

يبين الجدول (4) بعض الإحصاءات الوصفية المتعلقة بقياسات الإجهاد الأعظمي لاختبار الشد من وسط حسابي وانحراف معياري وأدنى قيمة وأعلى قيمة، حيث يتبين أن متوسط الإجهاد الأعظمي كان أعلى في النوع الثاني من الأسلاك، وفيه كانت المجموعة SS هي الأكبر بـ 64.7354 N/mm^2 ، بينما القيمة الأكبر بين مجموعات النوع الأول من الأسلاك كانت لمجموعة NiTi بـ 42.4227 N/mm^2 ، أما القيم الأدنى لمتوسطات الإجهاد الأعظمي فكانت 36.5874 N/mm^2 في مجموعة الغمر NiTi F للنوع الأول من الأسلاك، و 61.0307 N/mm^2 في مجموعة S.S F في النوع الثاني من الأسلاك كما يبين الشكل (9).

الجدول (4): بعض الإحصاءات الوصفية لقياسات الإجهاد الأعظمي في اختبار الشد تبعا لنوع السلك

الانحراف المعياري	الوسط الحسابي	أعلى قيمة	أدنى قيمة	حجم العينة	مجموعة الغمر	نوع الأسلاك
1.4546	42.4227	44.2024	40.7377	5	NiTi	النوع الأول
2.0672	36.5874	38.9507	33.4436	5	NiTi F	
2.2623	40.8209	43.6919	37.6377	5	NiTi C + F	

النوع الثاني	S.S	5	62.5837	66.5590	64.7354	1.8725
	S.S F	5	58.8308	65.4648	61.0307	2.6759
	S.S C + F	5	60.3589	66.0848	62.8462	2.0630



الشكل (13): تمثيل بياني لمتوسط قياسات الإجهاد
الأعظمي في اختبار الشد تبعا لنوع السلك

اختبار فروق متوسطات الاجهاد الأعظمي في اختبار الشد بين مجموعات الغمر في كل نوع من الأسلاك بهدف المقارنة بين متوسطات الاجهاد الأعظمي في اختبار الشد بين مجموعات الغمر في كل نوع من الأسلاك طبق اختبار التباين الأحادي One way- ANOVA الذي بين وجود اختلاف معنوي بين متوسطات الاجهاد الأعظمي في النوع الأول من الأسلاك عند مستوى دلالة 1%، حيث كانت قيمة $P\text{-value} < 0.01$ بينما لم تكن الفروقات معنوية بين مجموعات النوع الثاني من الأسلاك بسبب تجاوز دلالة الاختبار 0.05 حيث بلغت 0.066

جدول (5): نتائج اختبار ANOVA - One way للاختلافات بين متوسطات قيم الاجهاد الأعظمي في اختبار الشد

القرار الإحصائي	مستوى الدلالة	قيمة اختبار F	متوسط المربعات	درجات الحرية	مجموع المربعات	المقارنات	نوع الأسلاك	القياس
معنوي	0.001**	11.849	45.449	2	90.898	بين المجموعات	النوع الأول	الشد
			3.836	12	46.029	ضمن المجموعات		
				14	136.927	المجموع		
غير معنوي	0.066	3.449	17.158	2	34.316	بين المجموعات	النوع الثاني	
			4.974	12	59.690	ضمن المجموعات		
				14	94.006	المجموع		

*هام عند مستوى دلالة 0.05 **هام عند مستوى دلالة 0.01

طبق اختبار المقارنات المتعددة Tukey الذي يبين أن الاختلافات كانت معنوية بين المجموعة NiTi F وبين المجموعتين الأخرتين كما يبين الجدول (6) حيث بلغت دلالة الاختبار بين NiTi - NiTi F و 0.001 و 0.013 بين NiTi C + F - NiTi F.

الجدول (6): نتائج اختبار المقارنات المتعددة Tukey لتحديد الاختلافات بين فروقات متوسطات قياسات الإجهاد الأعظمي

القرار الإحصائي	أهمية الاختبار	فرق المتوسطات	مجموعي المقارنة	مجموعة الأسلاك
معنوي	0.001**	5.8353	NiTi - NiTi F	النوع الأول
معنوي	0.013*	4.2335	NiTi C + F - NiTi F	
غير معنوي	0.13	1.601	NiTi - NiTi C + F	

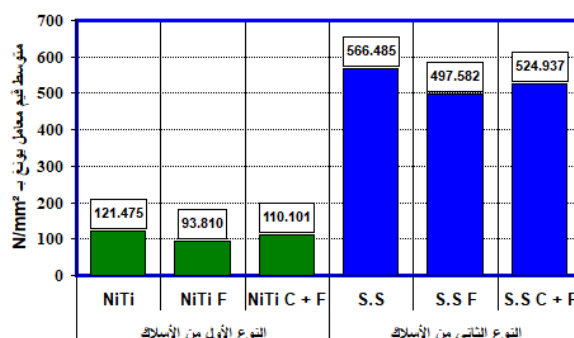
*هام عند مستوى دلالة 0.05 **هام عند مستوى دلالة 0.01

معامل يونغ

يبين الجدول (7) بعض الإحصاءات الوصفية المتعلقة بقياسات معامل يونغ لاختبار الشد من وسط حسابي وانحراف معياري وأدنى قيمة وأعلى قيمة، حيث يتبين أن متوسط معامل يونغ كان أعلى بفارق كبير في النوع الثاني من الأسلاك، حيث كان متوسط قيم المجموعة SS هي الأكبر بـ 566.4845 N/mm^2 ، بينما القيمة الأكبر بين مجموعات النوع الأول من الأسلاك كانت لمجموعة NiTi بـ 121.4749 N/mm^2 ، أما القيم الأدنى لمتوسطات الإجهاد الأعظمي فكانت 93.8104 N/mm^2 في مجموعة الغمر NiTi F للنوع الأول من الأسلاك، وبلغت أدنى قيمة بـ 497.5824 N/mm^2 في مجموعة S.S F في النوع الثاني من الأسلاك كما يبين الشكل (10).

الجدول (7): بعض الإحصاءات الوصفية لقياسات معامل يونغ في اختبار الشد تبعا لنوع السلك

نوع الأسلاك	مجموعة الغمر	حجم العينة	أدنى قيمة	أعلى قيمة	الوسط الحسابي	الانحراف المعياري
النوع الأول	NiTi	5	112.5041	126.6909	121.4749	5.4654
	NiTi F	5	82.0528	105.3484	93.8104	10.5924
	NiTi C + F	5	97.1164	123.1124	110.1013	10.8964
النوع الثاني	S.S	5	522.0310	628.7287	566.4845	40.1588
	S.S F	5	462.2188	522.8821	497.5824	22.9501
	S.S C + F	5	487.7110	635.4736	524.9365	62.1370



الشكل (14): متوسط قياسات معامل يونغ في اختبار الشد تبعا لنوع السلك

اختبار فروق متوسطات معامل يونغ في اختبار الشد بين مجموعات الغمر في كل نوع من الأسلاك بهدف المقارنة بين متوسطات الاجهاد الأعظمي في اختبار الشد بين مجموعات الغمر في كل مجموعة من الأسلاك طبق اختبار التباين الأحادي One way ANOVA الذي بين وجود اختلاف معنوي بين متوسطات معامل يونغ في النوع الأول من الأسلاك عند مستوى دلالة 1% بسبب كون قيمة $P\text{-value} < 0.01$. بينما لم تكن الفروقات بين متوسطات معامل يونغ معنوية بين مجموعات النوع الثاني من الأسلاك حيث تجاوزت دلالة الاختبار 5% أي $P\text{-value} > 0.05$ إذ بلغت 0.087.

جدول (8): نتائج اختبار ANOVA One way - للاختلافات بين متوسطات قيم معامل يونغ في اختبار الشد

القرار الإحصائي	مستوى الدلالة	قيمة اختبار F	متوسط المربعات	درجات الحرية	مجموع المربعات	المقارنات	نوع الأسلاك	القياس
معنوي	0.002**	11.120	966.731	2	1933.462	بين المجموعات	النوع الأول	الشد
			86.934	12	1043.205	ضمن المجموعات		
				14	2976.667	المجموع		
غير معنوي	0.087	3.009	6018.305	2	12036.610	بين المجموعات	النوع الثاني	
			2000.147	12	24001.765	ضمن المجموعات		
				14	36038.375	المجموع		

* هام عند مستوى دلالة 0.05 ** هام عند مستوى دلالة 0.01

جرى تطبيق اختبار المقارنات المتعددة Tukey الذي بين أن الاختلافات كانت معنوية بين كل من المجموعة الثانية NiTi F أي مجموعة غسول فلور الصوديوم، مع كل من المجموعة الشاهدة NiTi ومجموعة NiTi C + F كما يبين الجدول (9) حيث كانت قيمة متوسط معامل يونغ في المجموعة NiTi F أقل بشكل معنوي من المجموعتين الأخريين عند مستوى دلالة 1% بالنسبة للمقارنة بين NiTi - NiTi F و عند مستوى دلالة 5% للمقارنة بين NiTi C + F - NiTi F.

جدول (9): نتائج اختبار المقارنات المتعددة Tukey لتحديد الاختلافات بين فروق متوسطات قياسات معامل يونغ

القرار الإحصائي	أهمية الاختبار	فرق المتوسطات	مجموعتي المقارنة	مجموعة الأسلاك
معنوي	0.001**	27.6645	NiTi - NiTi F	النوع الأول
معنوي	0.042*	16.2908	NiTi C + F - NiTi F	
غير معنوي	0.173	11.37	NiTi - NiTi C + F	

* هام عند مستوى دلالة 0.05 ** هام عند مستوى دلالة 0.01

جدول (10): ملخص متوسطات حد الخضوع، الإجهاد الأعظمي، معامل يونغ لأسلاك النيكل تيتانيوم

حد الخضوع	بدون غمر	غمر بغسول فلور الصوديوم	غمر بغسول فلور الصوديوم مع الكلورهيبيديين
حد الخضوع	31.7708	27.8028	30.4854
الإجهاد الأعظمي	42.4227	36.5874	40.8209
معامل يونغ	121.4749	93.8104	110.1013

جدول (11): ملخص متوسطات حد الخضوع، الإجهاد الأعظمي، معامل يونغ لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ

حد الخضوع	بدون غمر	غمر بغسول فلور الصوديوم	غمر بغسول فلور الصوديوم مع الكلورهيبيديين
حد الخضوع	45.4884	44.2706	44.4355
الإجهاد الأعظمي	64.7354	61.0307	62.8462
معامل يونغ	566.4845	497.5824	524.9365

المناقشة:

مناقشة منهجية البحث:

يمكن أن يؤدي التعرض المطول للمواد الكيميائية في الفم إلى تآكل أو تدهور أسلاك تقويم الأسنان المصنوعة من سبائك معدنية مثل الفولاذ المقاوم للصدأ، أو النيكل-تيتانيوم، أو بيتا-تيتانيوم، وتغيير خصائصها الميكانيكية.

أظهرت العديد من الدراسات أن استخدام غسولات الفم التي تحتوي على مكونات فعالة مثل NaF/CHX أثناء الخضوع لعلاج تقويم الأسنان يمكن أن يُضعف الخواص الميكانيكية للأسلاك المقوسة [4]. كما في دراسة Walker MP et al 2005 والتي أظهرت انخفاض الخصائص الميكانيكية لأسلاك تقويم الأسنان المصنوعة من النيكل والتيتانيوم بشكل ملحوظ بعد التعرض للفلورايد [5].

شهد تقويم الأسنان تطورات على مر السنين؛ ومع ذلك، لا تزال أنظمة الأجهزة الثابتة تُعدّ بالغة الأهمية في توفير علاج تقويم شامل. تعتمد أنظمة دعم تقويم الأسنان بشكل كبير على الأسلاك لتطبيق قوى مُتحكّم بها بعناية لضمان حركات أسنان دقيقة ومتوقعة أثناء إجراءات العلاج. تُستخدم أنواع مختلفة من الأسلاك، مثل الفولاذ المقاوم للصدأ (SS) والنيكل والتيتانيوم (NiTi) في علاجات تقويم الأسنان نظراً لخصائصها الميكانيكية الفريدة، مثل المرونة وقدرتها على تذكر الشكل، بالإضافة إلى مقاومتها للتآكل. يعتمد نجاح الإجراءات بشكل كبير على الأداء الميكانيكي الموثوق لهذه الأسلاك [6].

تُحدّد خصائص أسلاك تقويم الأسنان عادةً من خلال اختبارات معملية متنوعة. ولذلك، سبق دراسة الأسلاك تحت تأثير الشد، والانحناء، والالتواء. يمكن استخدام الوصف البياني للإجهاد مقابل الانفعال لتحديد قوة الخضوع، ومعامل المرونة، والطاقة المخزنة، والارتداد عند تعرض السلك لحمل شد. وبالمثل، تُستخدم الرسوم البيانية لعزم الانحناء مقابل الانحراف الزاوي، أو لعزم الالتواء مقابل زاوية عزم الدوران، لتقييم خصائص هذه الأسلاك في ظروف الانحناء والالتواء [7].

• أسلاك النيكل تيتانيوم في اختبار الشد:

أظهرت نتائج هذه الدراسة انخفاض في قيم متوسطات حد الخضوع والإجهاد الأعظمي ومعامل يونغ لأسلاك النيكل تيتانيوم عند غمرها في كل من غسول فلور الصوديوم وغسول فلور الصوديوم مع الكلورهيكسيدين كما هو موضح في الجدول (10).

طُبّق اختبار التباين الأحادي One way ANOVA بهدف المقارنة بين متوسطات (حد الخضوع، الإجهاد الأعظمي، معامل يونغ) في اختبار الشد بين المجموعات الفرعية الثلاثة حيث تبين وجود اختلاف معنوي بين المجموعات والفروقات كانت معنوية عند مستوى دلالة 1%.

من أجل معرفة المجموعات الفرعية التي كانت فيها المقارنات معنوية جرى تطبيق اختبار المقارنات المتعددة Tukey الذي يراعي تجانس البيانات وتساوي حجم العينة، حيث تبين أن:

الاختلافات كانت معنوية بين كل من المجموعة الفرعية الثانية NiTi F أي مجموعة غسول فلور الصوديوم، مع المجموعة الفرعية الأولى (الشاهدة) NiTi عند مستوى دلالة 1% لكل من (حد الخضوع، الإجهاد الأعظمي، معامل يونغ).

بينما لم تكن الفروق معنوية بين المجموعة الفرعية الثالثة NiTi F+C أي مجموعة غسول فلور الصوديوم مع الكلورهيكسيدين والمجموعة الفرعية الأولى (الشاهدة) NiTi لكل من (حد الخضوع، الإجهاد الأعظمي، معامل يونغ) من النتائج السابقة لكل من (حد الخضوع، الإجهاد الأعظمي، معامل يونغ) نلاحظ تأثر أسلاك النيكل تيتانيوم عند الغمر في كل من غسول فلور الصوديوم وغسول فلور الصوديوم مع الكلورهيكسيدين حيث انخفضت الخواص الميكانيكية لهذه الأسلاك بشكل ملحوظ عند الغمر بغسول فلور الصوديوم وبشكل أقل عند الغمر بغسول فلور الصوديوم مع

الكلوروكسيدين وكان هذا الانخفاض ذو دلالة إحصائية عند الغمر بغسول فلور الصوديوم بينما لم يكن الانخفاض هام إحصائياً عند الغمر بغسول فلور الصوديوم مع الكلوروكسيدين. قد يعزى الانخفاض الملحوظ في الخواص الميكانيكية في غسول فلور الصوديوم لوحده إلى أن أيونات الفلورايد في بيئة حمضية يمكن أن يتسبب في تدهور طبقة الأكسيد على سطح أسلاك تقويم الأسنان القائمة على Ti، مما يسبب التآكل والتغيرات في الخصائص الميكانيكية لتلك الأسلاك. [8]

كما يمكن للعناصر الكيميائية القابلة للذوبان مثل الفلوريد أن تُسبب تآكلاً شديداً في الطبقة السطحية من السبيكة، مما يُسبب تآكلاً شديداً يُعرف باسم "تشقق التآكل الإجهادي". قد تنطبق هذه الظاهرة على أسلاك النيكل والتيتانيوم. [9]

اتفقنا مع:

دراسة **T Belasic et al 2023** التي أظهرت انخفاض في معامل المرونة، وقوة الخضوع، ونسبة الارتداد، ومعامل المرونة لأسلاك النيكل والتيتانيوم. [10]

دراسة **Kazuyuki Kaneko et al, 2004** حيث انخفضت مقاومة الشد 16.2%. [11]

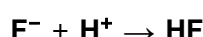
وأيضاً دراسة **Hossein Aghili et al, 2017** حيث وجد تغيرات ذات دلالة إحصائية لمعامل يونغ للأسلاك التقويمية بعد الغمر في فلوريد الصوديوم 0.05 NaF%. [8]

دراسة **أسامة مشعل 2018** حيث انخفضت جميع الخواص الميكانيكية لأسلاك النيكل تيتانيوم بعد استخدامه الغسولات الفلورية. [12]

اختلفنا مع Amer et al, 2021 حيث أظهر الدراسة أنه لا توجد فروق ذات دلالة إحصائية في قوى الشد النهائية بين المجموعات الفرعية المعالجة بالفلوريد ومجموعة التحكم. استخدم في هذه الدراسة هلام الفلور لفترات زمنية مختلفة. وفسر الاختلاف عن دراستنا بسبب استخدام هلام الفلور بدلاً من غسول الفم المفلور. [13]

أما الانخفاض الأقل في الخواص الميكانيكية عند الغمر بغسول فلور الصوديوم مع الكلوروكسيدين يعزى إلى تفاعل أيونات الفلوريد (F^-) مع الكلوروكسيدين عبر تفاعل إزاحة أيوني، حيث تُستبدل ذرة الكلور في جزيء الكلوروكسيدين بأيون الفلوريد، مما يؤدي إلى تكوين مركب **كلوروكسيدين-فلورايد (CHX-F)** مما يقلل من نسبة الفلور الحر. [14]

كما يتسبب التفاعل في انخفاض درجة حموضة الوسط من 6.8 إلى 5.5، مما يحول جزءاً من أيونات الفلوريد إلى **حمض الهيدروفلوريك (HF)** المتطاير وفقاً للمعادلة:



هذه العملية تقلل تركيز الفلوريد الحر بنسبة 20%. [14]

وحسب دراسة أجرتها **Carolina et al 2003** أظهرت النتائج انخفاض تركيز الكلوروكسيدين عند استخدامه مع فلوريد الصوديوم. [15]

كما أجرى **Gkinosati et al 2025** عمليات بحث شاملة إلكترونياً ويدوياً في سبع قواعد بيانات منذ البداية وحتى أغسطس 2024 تتعلق بتأثيرات أنواع مختلفة من غسول الفم على مورفولوجيا وبنية وخصائص مواد تقويم الأسنان حيث وجد أنه لم تتأثر الخواص الميكانيكية لأسلاك النيكل تيتانيوم بشكل ملحوظ عند استخدام غسول الكلوروكسيدين. [16]

بمراجعة الدراسات الأدبية لم نجد دراسات تناول تأثير الفلور مع الكلورهيكسيدين على أسلاك النيكل تيتانيوم التقويمية ولكن يوجد بعض الدراسات عن مشاركة الفلور مع الكلورهيكسيدين كما في [15]. Carolina et al 2003

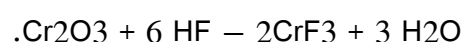
• أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ في اختبار الشد:

أظهرت نتائج هذه الدراسة انخفاض في قيم متوسطات حد الخضوع والإجهاد الأعظمي ومعامل يونغ لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ عند غمرها في كل من غسول فلور الصوديوم وغسول فلور الصوديوم مع الكلورهيكسيدين كما هو موضح في الجدول (11).

طبق اختبار التباين الأحادي One way ANOVA بهدف المقارنة بين متوسطات (حد الخضوع، الإجهاد الأعظمي، معامل يونغ) في اختبار الشد بين المجموعات الفرعية الثلاثة حيث تبين أنه لم تكن الفروقات معنوية بين المجموعات الفرعية الثلاثة بسبب تجاوز دلالة الاختبار 5%.

من النتائج السابقة لكل من (حد الخضوع، الإجهاد الأعظمي، معامل يونغ) نلاحظ تأثير أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ عند الغمر في كل من غسول فلور الصوديوم وغسول فلور الصوديوم مع الكلورهيكسيدين حيث انخفضت الخواص الميكانيكية لهذه الأسلاك، ولكن بشكل طفيف حيث لم يكن هذا الاختبار هام إحصائياً. وكان الانخفاض في غسول فلور الصوديوم مع الكلورهيكسيدين أقل من غسول فلور الصوديوم لوحده.

قد يعزى هذا الانخفاض إلى أن وجود أيونات الفلورايد والهيدروجين داخل تجويف الفم يؤدي إلى تكوين حمض الهيدروفلوريك (HF)، الذي يكسر الطبقة الواقية للفولاذ وفقاً للمعادلة:



يمكن أن يسبب إطلاق هذه الأيونات التآكل، مما يؤدي إلى انخفاض قوة شد أسلاك تقويم الأسنان المصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ. [17]

اتفقنا مع:

دراسة D I Fatimah et al 2017 حيث وجدت أنه لا يوجد فرق ذو دلالة إحصائية في قوة الشد للأسلاك المقوسة المصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ بعد غمرها في غسول الفم بالفلورايد. [17]

دراسة K Kaneko et al 2004 حيث انخفضت قوة الشد لسلك الفولاذ المقاوم للصدأ المغمور بشكل طفيف فقط (انخفاض مقاومة الشد ، 2.6%). [11]

دراسة Amer et al, 2021 حيث أظهرت الدراسة أنه لا توجد فروق ذات دلالة إحصائية في قوى الشد النهائية بين المجموعات الفرعية المعالجة بالفلورايد ومجموعة التحكم. [13]

واختلفنا مع Hakam et al 2011 حيث وجدوا أن غسول الفم المفلور قلل من الخواص الميكانيكية لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ في اختبار الشد، وأن هذا التدهور في الخواص الميكانيكية قد يساهم في إطالة مدة العلاج التقويمي. ويعود هذا الاختلاف إلى مدة الغمر التي استخدمت في هذه الدراسة حيث غمر الأسلاك لمدة 3 و 7 و 10 أيام. [18]

كما يعزى انخفاض الخواص الميكانيكية عند الغمر في غسول فلور الصوديوم بشكل أكبر من الغمر بغسول فلور الصوديوم مع الكلورهيكسيدين بنفس الآلية المذكورة سابقاً في مناقشة أسلاك النيكل تيتانيوم التي تتضمن تفاعل أيونات الفلورايد (F^-) مع الكلورهيكسيدين عبر تفاعل إزاحة أيوني، مما يؤدي إلى تكوين مركب كلورهيكسيدين-فلورايد (CHX-F) مما يقلل من نسبة الفلور الحر. [14]

وبمراجعة الدراسات الأدبية لم نجد دراسات تناولت تأثير الفلور مع الكلورهيكسيدين على أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ التقويمية

3- الاستنتاجات والتوصيات:

انخفضت الخواص الميكانيكية لأسلاك النيكل تيتانيوم بشكل ملحوظ عند الغمر بغسول فلور الصوديوم بينما انخفضت بشكل طفيف عند الغمر بغسول فلور الصوديوم مع الكلورهيكسيدين. لم تتأثر الخواص الميكانيكية لأسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ عند الغمر في كل من غسول فلور الصوديوم وغسول فلور الصوديوم مع الكلورهيكسيدين. لذلك سوف ننصح بالحد من استخدام غسولات الفم الحاوية على الفلور خلال مراحل المعالجة التي تتضمن أسلاك نيكل تيتانيوم بينما يمكن استخدامها مع أسلاك الفولاذ المقاوم للصدأ دون أن تؤثر على سير المعالجة التقويمية.

References:

- [1] M. M. Pithon, L. I. D. A. Sant'Anna, F. C. S. Baião, R. L. dos Santos, R. da S. Coqueiro, and L. C. Maia, 'Assessment of the effectiveness of mouthwashes in reducing cariogenic biofilm in orthodontic patients: A systematic review', *J. Dent.*, vol. 43, no. 3, pp. 297–308, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.jdent.2014.12.010.
- [2] S. M. Castro, M. J. Ponces, J. D. Lopes, M. Vasconcelos, and M. C. F. Pollmann, 'Orthodontic wires and its corrosion—The specific case of stainless steel and beta-titanium', *J. Dent. Sci.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–7, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.jds.2014.07.002.
- [3] G. Bayramoğlu, T. Alemdaroğlu, S. Kedici, and A. A. Aksüt, 'The effect of pH on the corrosion of dental metal alloys', Accessed: July 15, 2025. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-2842.2000.00549.x>
- [4] N. Kapur, R. Singla, N. Singla, and M. Natarajan, 'Evaluation of the effect of two conventional and one herbal mouthwash on the modulus of elasticity of three orthodontic wires: an in vitro study.', Mar. 27, 2025, *F1000Research* 2025 14:336: 14:336. doi: 10.12688/f1000research.156706.1.
- [5] M. P. Walker, R. J. White, and K. S. Kula, 'Effect of fluoride prophylactic agents on the mechanical properties of nickel-titanium-based orthodontic wires', *Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.*, vol. 127, no. 6, pp. 662–669, June 2005, doi: 10.1016/j.ajodo.2005.01.015.
- [6] A. Z. Al-Najjar, T. A. Rasool, B. K. Ahmed, and F. A. Al-Mashhadane, 'MECHANICAL PROPERTY CHANGES IN ORTHODONTIC WIRES AFTER EXPOSURE TO CHLORHEXIDINE MOUTHWASH: A REVIEW STUDY'.
- [7] unionfab unionfab, 'Yield Strength of Steel: A Comprehensive Guide', Unionfab. Accessed: July 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.unionfab.com/blog/2024/03/yield-strength-of-steel>
- [8] H. Aghili, S. Yassaei, and F. Eslami, 'Evaluation of the effect of three mouthwashes on the mechanical properties and surface morphology of several orthodontic wires: An in vitro: study', *Dent. Res. J.*, vol. 14, no. 4, p. 252, Aug. 2017.
- [9] M. Omidkhoda, Z. Sahebnaasagh, M. Poosti, M. Yaghoobi, and A. Izadpanahi, 'Evaluation of mechanical properties of NiTi orthodontic wire after immersion in three different mouthwashes', *Iran. J. Orthod.*, vol. 6, no. 3, pp. 32–38, Oct. 2011, doi: 10.22034/ijo.2011.247763.

- [10] T. Zibar Belasic, M. Zigante, M. Uhac, S. Karlovic, I. J. Badovinac, and S. Spalj, 'Effect of use of antiseptics and fluorides during orthodontic treatment on working properties of NiTi archwires in levelling dental arches', *J. Orofac. Orthop. Fortschritte Kieferorthopädie*, vol. 85, no. 1, pp. 63–72, May 2024, doi: 10.1007/s00056-023-00475-1.
- [11] K. Kaneko, K. Yokoyama, K. Moriyama, K. Asaoka, J. Sakai, and M. Nagumo, 'Delayed fracture of beta titanium orthodontic wire in fluoride aqueous solutions', *Biomaterials*, vol. 24, no. 12, pp. 2113–2120, May 2003, doi: 10.1016/S0142-9612(02)00642-7.
- [12] O. Al meshaal, 'Effect of Fluoride Rinses on Mechanical Properties of Nickel-Titanium Arch Wires', Master's Degree, Hama University, 2018.
- [13] A. A. Taqa, N. N. Al-Hafidh, and M. T. S. Al-Abbood, 'The effect of fluoride gel on tensile properties, surface... : Journal of Orthodontic Science', Accessed: July 15, 2025. [Online]. Available: https://journals.lww.com/joos/fulltext/2021/10000/the_effect_of_fluoride_gel_on_tensile_properties,.14.aspx
- [14] T. Furuya, J. E. M. N. Klein, and T. Ritter, 'C–F Bond Formation for the Synthesis of Aryl Fluorides', *Synthesis*, vol. 2010, no. 11, pp. 1804–1821, June 2010, doi: 10.1055/s-0029-1218742.
- [15] C. S. de Freitas, H. F. O. Diniz, J. B. Gomes, R. D. Sinisterra, and M. E. Cortés, 'Evaluation of the substantivity of chlorhexidine in association with sodium fluoride in vitro', *Pesqui. Odontológica Bras.*, vol. 17, pp. 78–81, Mar. 2003, doi: <https://doi.org/10.1590/S1517-74912003000100015>.
- [16] A. A. Gkinosati, M. A. Makrygiannakis, and E. G. Kaklamanos, 'Effects of mouthwashes on the morphology, structure, and mechanical properties of orthodontic materials: a systematic review of randomized clinical studies', *Eur. J. Orthod.*, vol. 47, no. 4, p. cjaf048, Aug. 2025, doi: 10.1093/ejo/cjaf048.
- [17] D. I. Fatimah, H. S. Anggani, and N. Ismah, 'Effect of fluoride mouthwash on tensile strength of stainless steel orthodontic archwires', *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 884, p. 012102, Aug. 2017, doi: 10.1088/1742-6596/884/1/012102.
- [18] H. H. Sabah, H. T. Jarjees, and t K. M. Awni, 'Effect of Chlorhexidine Mouth Wash and Fluoridated Mouth Wash on Mechanical Properties of Orthodontic Arch Wires (An in vitro Study)', *J. 5 Th Sci. Conf. Dent. Coll.*, 2011, Accessed: July 20, 2025. [Online]. Available: https://web.archive.org/web/20200709200348id_/https://rden.mosuljournals.com/article_164447_c084d9d65fbb67a1e571c3798feae7c0.pdf