وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة قاصدي مرباح -ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء

تخصص فيزياء طبية

الطالبة العابد بسمة

مذكرة مقدمة لاستكمال متطلبات شهادة ماستر أكاديمي

دراسة تأثير المواد المستخدمة في طب الأسنان بالتحليل الطيفي والاختبارات الميكانيكية

نوقشت بتاريخ:2026/06/18

أعضاء لجنة المناقشة المكونة من:

محجوبي جعفر برزخ	أستاذ محاضر	رئيسا	جامعة ورقلة
بالغيتار الحاج بالشراير	أستاذ محاضر	مناقشا	جامعة ورقلة
بن مبروك لزهر	أستاذ تعليم عالي	مشرفا	جامعة ورقلة

السنة الجامعية 2026/2025

الإهداء

(وَآخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ)

الحمد لله حبا وشكرا وامتنانا ما كنت لا فعل هذا لولا فضل الله فالحمد لله على البدء وعلى الختام

لم تكن الرحلة قصيرة ولا ينبغي لها أن تكون لم يكن الحلم قريبا ولا الطريق كان محفوفاً بالتسهيلات لكني فعلتها ونلتها.

أهدي ثمرة نجاحي، ونتيجة سنوات من الجد والاجتهاد إلى نفسي أولا والى من كانا النور في طريقي امي وابي.

إلى الذي زين اسمي بأجمل الألقاب، من دعمني بلا حدود وأعطاني بلا مقابل، داعمي الاول في مسيرتي وسندي وقوتي وملاذي بعد الله .... إلى فخري واعتزازي ابي.

إلى من جعل الله الجنة تحت أقدامها، نبع المحبة والحنان وأغلى ما املك، علمتني معنى الصبر والإصرار، كنت الدعوة التي ترافقني في كل خطوة، ومصدر قوتي في كل لحظة ضعف امي.

الى أخوتي وأخواتي كنتم دائما دعمي وسندي، وجودكم في حياتي كان الأمان والفرحة التي أحتاجها لأكمل هذا المشوار.

لكل من كان عوناً وسنداً في هذا الطريق.... للأصدقاء الأوفياء ولأصحاب الشدائد والأزمات ولكل من ساهم في إنجاح هده المدكرة.

بسمة

الشكر والتقدير

عندما يكون العمل رائعا والعطاء مميزا وحين يكون الإبداع منهجا سيصبح الشكر واجبا والثناء لازم

يسرني أن أتقدم بالشكر والتقدير للأستاذ المشرف لزهر بن مبروك على إرشاداته وتوجيهاته القيمة، طيلة فترة إنجاز هذا العمل فله منا كل التقدير والاحترام.

كما نتوجه بخالص الشكر والتقدير إلى كافة الأساتذة الأفاضل لجامعة قاصدي مرباح ورقلة الذين ساهموا في تكويننا العلمي، وقدموا لنا العلم والمعرفة بكل إخلاص، وكانوا لنا قدوة في العطاء والاجتهاد.

بسمة

فهرس المحتويات

الاهداء II

الشكر والتقدير II

فهرس المحتويات..... III

قائمة الجداول..... III

قائمة الأشكال VII

I.تمهيد: 1

I .2.الحشوات المعدنية والتقليدية : 2

I .1.2.حشوات الملغم الفضية : 2

I .2.2.حشوات الدهب : 3

I .3.الحشوات التجميلية والحديثة : 3

I .1.3.الحشو الزجاجي : 4

I .2.3.الحشوات المركبة (الكمبوزيت) : 5

I.3.3. حشوات البورسلين: 6

I .4.غرسات الأسنان : 7

I.1.4. غرسات التيتانيوم: 7

I.2.4. غرسات الزر كونيا: 8

I .5.الملاط والأسمنت الطبي : 9

I. 1.5. إسمنت أكسيد الزنك والأوجينول(Zinc Oxide Eugénol – ZOE) 9

I .6.أنواع سبائك الأسنان : 10

I .1.6.سبائك المعادن الثمينة والنفيسة :..... 10
I .2.6.سبائك المعادن غير النفيسة : 10
I .3.6.سبائك السيراميك والمعادن :..... 11
الخاتمة:.....12
II .1 . تمهيد: 13
الفصل الثاني خصائص وطرق تصنيع المواد في طب الأسنان والتركيب البلوري لها 14
II .2.ملغم الأسنان :.....14
II. 1.2. تركيب مادة الملغم:..... 14
II 2.2. مكونات الملغم:..... 14
II.3. الراتنجات المركبة(الكمبوزيت):.....14
II.1.3. تركيب مادة الراتنجات المركبة:..... 14
II.2.3.المكونات الكيمائية والفزيائية للراتنجات المركبة: 14
II.4. حشوات الأسنان الزجاجية: 15
II .1.4.التركيب الكيميائي : 15
II.5. اسمنت أكسيد الزنك والأوجينول:.....15
II.1.5.المكونات الأساسية:..... 15
II .2.5.الية التفاعل الكيميائي :..... 16
II.6. مادة الزر كونيا:.....16
II .1.6التركيب الكيميائي والتدعيم:..... 16
II.2.6مراحل العملية التصنيعية:..... 17
II .1.2.6. المعالجة الكيميائية والتكليس: 17

II.2.2.6. تشكيل الجسم الأخضر: 17
II.2.2.6.3. التلبيد: 17
II.7.مادة البورسلين: 17
II.7.1.تركيب مادة البورسلين: 17
II.7.2.الإضافات الوظيفية والتحسينات الجمالية والحيوية : 18
II.7.3.المحددات الميكانيكية والمفضالات السريرية : 18
II.8. الذهب سبائكه. 18
II.9.مادة التيتانيوم: 19
II.9.1. تركيب مادة التيتانيوم: 19
II.9.1.الخصائص النوعية والمزايا السريرية : 19
الخاتمة: 21
لفصل الثالث دراسة مخبرية لعينة من مادة أكسيد الزنك والأوجينول 22
III.1. تقديم الدراسة التطبيقية: 22
III.2. البروتوكول التجريبي وتحضير العينات: 22
III.2.1. المواد المستخدمة: 22
III.2.2. خطوات تحضير العينات: 22
III.2.3. توزيع العينات: 24
III.3. مراحل القياس والاختبار: 25
III.3.1. مرحلة المعالجة البيئية: 25
III.3.2. مرحلة الاختبار الميكانيكي: 26

III.3.3. مرحلة التحليل الطيفي: 27
III.4. نتائج قياس الصلابة:..... 28
III.4.1 .تحليل النتائج :..... 29
III.5. نتائج التحليل الطيفي FTIR:..... 30
III.5.1 .دراسة وتحليل أطياف المجموعة الأولى (عند درجة حرارة الغرفة) : 30
III . 5.1.1. تحليل نتائج المجموعة الأولى:..... 32
III.5.1.2 .استنتاج والمناقشة :..... 32
III.5.2 .دراسة وتحليل نتائج أطياف المجموعة الثانية (عند 100°C) : . 33
III.5.2.1 .تحليل نتائج المجموعة الثانية عند 100°C :..... 34
III.5.2.2 .خلاصة مقارنة للمجموعة الثانية :..... 35
III.5.3.1 .تحليل نتائج المجموعة الثالثة عند 0°C :..... 37
III.5.3.2 .الاستنتاج والمناقشة :..... 38
III.6 .الخلاصة : 38
الخلاصة العامة:..... 39
المراجع:..... 40
الملخص:..... 44

قائمة الجداول

جدول 1توزيع العينات حسب درجة الحرارة وكمية الأوجينول 24
جدول 2نتائج قياس الصلابة الميكروية للعينات..... 28

قائمة الأشكال

شكل 1حشوات الملغم 2

شكل 2حشوات الذهبية 3

شكل 3حشوات الزجاجية..... 4

شكل 4حشوات الكمبوزيت قبل وبعد..... 5

شكل 5قشور البورسلين..... 6

شكل 6غرسات أسنان التيتانيوم 7

شكل 7غرسات أسنان الزركونيا..... 8

شكل8 مسحوق وسائل أكسيد الزنك 9

قائمة المصطلحات

الفصل الأول: خواص المواد المستخدمة في طب الأسنان			
نوع المادة	**المصطلح بالغة العربية**	**المصطلح بالإنجليزية**	**التعريف العلمي**
الحشوات التقليدية والمعدنية	حشوات الملغم الملغم)الفضية (البلاتيني	**Dental Amalgam**	**سبيكة معدنية تعويضية تتكون من خليط من الفضة، النحاس، القصدير، والزئبق السائل.**
	مؤشر عالي التسوس	**High Caries Index**	**حالة أسنان المرضى الدين يعانون من معدلات ونسب تسوس مرتفعة وتتطلب حشوات دات ديمومة عالية**

	الحشو الزجاجي (إسمنت الزجاج)	Glass Ionomer Cement	مادة ترميمية مكونة من مزيج الراتنج وجزيئات الزجاج، تمتاز بالاتصال المباشر وقدرتها على إطلاق الفلوريد لحماية السن.
	الحشوات الذهبية	Fillings Gold/ Inlays	حشوات مصنعة مخبريا من سبيكة الذهب ومعادن أخرى، تمتاز بعمرها الافتراضي الطويل ومقاومتها للكسر.
الحشوات الحديثة والتجميلية	الحشوات المركبة (الكمبوزيت)	Composite Resins	مواد تعويضية تجميلية بلون السن، تتكون من راتنجات بلاستيكية مدعمة بجزيئات زجاجية مطحونة بدقة عالية.
	حشوات البورسلين	Porcelain Fillings	حشوات خزفية تصنع بدقة مخبريا لتطابق الخصائص البصرية والجمالية للسن الطبيعي وتخلو تماما من المعادن
غرسات الأسنان والمواد التركيبية	غرسات التيتانيوم	Titanium-Implants	غرسات حيوية تصنع من معدن التيتانيوم الخفيف والمقاوم للتأكل، وتمتاز بتوافقها الميكانيكي الممتاز مع عظم الفك
	غرسات الزر كونيا	Zirconia—Implants	غرسات سيراميكية بيضاء مصنوعة من أكسيد الزركونيوم الصلب، وتعد بديلا جماليا مثاليا خاليا من المعاد.
	التكامل العظمي	Osseointegration	عملية الالتحام البنيوي والوظيفي المباشر بين العظم الحي وسطح غرسة الأسنان دون تشكل نسيج ليفي فاصل.
الملاط والأسمنت الطبي	أسمنت أكسيد الزنك والأوجينول	Zinc——Oxid	مادة إسمنتية تستخدم كبطانة واقية للعصب أو كحشوة مؤقتة، وتنتج عن

		——————— Eugeno (ZOE)	خلط مسحوق أكسيد الزنك وسائل الأوجينول.
سبائك المعادن والتركيبات	سبائك المعادن الثمينة	Noble Alloys/Precious	سبائك تحتوي على نسب عالية من الذهب، البلاتين، البلاديوم، وتتميز بمقاومة استثنائية للتأكل في الوسط الفموي.
	سبائك المعادن الغير نفيسة	Base MetalAlloys	سبائك تعتمد على معادن أساسية غير ثمينة مثل سبائك النيكل –لكروم والكوبالت –كروم المستخدمة في هياكل أطقم الأسنان.
	سبائك السيراميك والمعدن	Porcelain Fused Metalto (PFM)	تركيبات وتيجان هجينة تجمع بين المتانة وقوة الهيكل المعدني الداخلي والجمالية الخارجية لطبقة الخزف المحروق.
الخصائص العامة للمواد	التوافق الحيوي	Biocompatibility	قدرة المادة على البقاء وأداء وظيفتها داخل بيئة الفم دون إحداث أي ردود فعل سامة التهابية وتحسسية للأنسجة.
	مقاومة لتأكل	Corrosion Resistance	قدرة المادة خاصة المعادن والسبائك على مقاومة التحلل الكيميائي أو الكهرو كيميائي الناتج عن الوسط اللعابي الرطب.
الفصل الثاني: خصائص وطرق تصنيع المواد والتركيب البلوري لها			

مكونات الراتنجات المركبة	الطور العضوي المصفوفة	Organics Phase Matrix	المكون السائل الأساسي للكومبوزيت ويحتوي على المونوميرات الأكريليكية مثل ديميثاكريلات، TEG)، UDMA، Bis-GMA DMA)
	عامل الربط /السيلاين		مركب كيميائي ثنائي الوظيفة) مثل يضمن حدوث ترابط ميكانيكي MPS-3)وكيميائي متين بين الحشوات الزجاجية والمصفوفة العضوية.
	بادئ البلمرة الضوئية	Photo-initiator	نظام محفز حساس للضوء الأزرق ويعد مركب الكامفوركينون (Camphorquinone) المركب الأكثر شيوعا لبدء بلمرة الحشوة وتصلبها.
	المبطئات ومثبتات الضوء	Inhibitors Stabilizers	مركبات كيميائية تضاف بسبب طاقة الضوء المحيط (مثل مركبBHT) لمنع البلمرة المبكرة ولتثبيت واستقرار التدرج اللوني.
مركب أكسيد الزنك والأوجينول	المكونات الأساسية لإسمنت ZOE	ZOE Base Ingredients	يحتوي المسحوق أساسا على أكسيد الزنك بنسبة تقارب 69.0%، بينما يحتوي السائل على الأوجينول المنقى مع إضافة أسينات الزنك كمسرع تفاعل.

صناعة وتشكيل الزر كونيا	المعالجة الكيميائية والتكليس	Chemical Treatment Calcinaton	سلسلة معالجات حرارية وكيميائية وتجرى على رمل الزركون الطبيعي لفصل الشوائب والوصول إلى مسحوق أكسيد الزركونيوم النقي والبلوري.
	تشكيل الجسم الأخضر	Green Body Shaping	مرحلة كبس مسحوق الزر كونيا ميكانيكيا بدون روابط متكاملة، لينتج قوام طباشيري هش قابل للخرط والتعديل الهندسي بسهولة.
	التلبيد الحراري	Sintering	معالجة حرارية حرجة في أفران مخصصة عند درجات حرارة فائقة (تصل ل 1500°م) لدمج الحبيبات، تقليص الفرغات، واكتساب الصلابة النهائية.
الخزف الطبي والبورسلين	التركيب الثلاثي للبورسلين	Triaxial Porcelain Composition	مادة سيراميكية زجاجية تعتمد بنيتها البلورية والزجاجية على ثلاث مكونات أساسية: الكوارتز (السليكا)، الفلسبار، والكاولين (الصلصال).
معادن وغرسات التيتانيوم	التيتانيوم النقي تجاريا	Commercially Pure Titanium (Cp Ti)	معدن نقي ينقسم علميا لأربع درجات تتفاوت بنيتها الميكانيكية (GrADES 1–4) الدقيقة بحسب نسب شوائب الأكسجين والحديد المتبقية.

	سبيكة التيتانيوم الدرجة الخامسة	Ti-6AI-4V (Grade5)	سبيكة تيتانيوم طبية تشتمل على 6% ألومنيوم و4% فاناديوم، وتوفر خواص ميكانيكية ومقاومة كسور تفوق التيتانيوم النقي بكثير.
التكامل والخصائص الحيوية	الهيدروكسي أباتيت	Hydroxyapatite (HA)	مركب فوسفات الكالسيوم البلوري الطبيعي الذي يمثل المكون المعدني الأساسي والأصلي المكون للعظام والأسنان البشرية.
	متانة ومقاومة الكسر	Fracture Toughness	القدرة البنيوية للمادة على مقاومة نمو وانتشار الشقوق الميكانيكية الدقيقة أو التعرض للفشل المفاجئ تحت وطأة الإجهاد.
الفصل الثالث الدراسة المخبرية والتحليل التجريبي لمركب Zno-Eugenol			
تقنيات التحليل الهيكلي والطيفي	مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه	FTIR Spectroscopy	تقنية تحليل طيفي مخبري تستخدم لتحديد طبيعة الروابط الكيميائية الاهتزازات الجزيئية والمجموعات الوظيفية المتشكلة لمركب ZOE.
	المنحنى الطيفي	Spectral Curve	الرسم البياني الناتج عن برنامج جهاز(MicroLab) التحليل مثل والذي يوضح قيم النفاذية أو الامتصاصية مقابل العدد الموجي للروابط.

	العدد الموجي	Wavenumber	مقلوب الطول الموجي، ويمثل الوحدة الأساسية على المحور الأفقي لمنحنيات ال FTIRلتحديد مواقع حزم الامتصاص بدقة.
الاختبارات والمؤشرات الميكانيكية	اختبار الصلادة فيكرز	Vickers Hardness Test (HV)	طريقة قياس ميكانيكية دقيقة لتحديد صلابة أسطح عينات ZOE عبر حساب مساحة الأثر المتروك بواسطة هرم ماسي تحت حمل معين.
	قيمة الصلادة	Hardness Value (Hv/Hk)	المؤشر الرقمي الناتج عن الاختبار الميكانيكي والذي يعكس مدى مقاومة المركب الناتجة عن اختلاف درجات الحرارة ونسب الخلط الكتلية.
الشروط التجريبية والمعالجة	الدراسة المخبرية خارج الحيوية	In-vitro Study	إجراء التجارب والتحاليل في بيئة معزولة ومحكومة داخل المختبر باستخدام الأجهزة والأفران، ومحاكاة ظروف حرارية معينة (°0م، °25م، °100م).
	المعالجة والتحكم الحراري	Thermal Treatment	تعريض عينات أكسيد الزنك والأوجينول لدرجات حرارة متغيرة في أفران أو مبردات لدراسة مدى تأثر صلابة الروابط والتركيب البنيوي للمادة.
	النسب الكتلية وقوام الخلط	Mass Ratios Consistency	التحكم في المقادير الوزنية لمكونات التفاعل (مثل 0.5g, 0.3g, 0.2 g) من الأوجينول ودراسة تأثرها المباشر على جودة التصلب والصلادة.

المواد المضافة والمطورة نانويا	أنابيب الكربون النانوية	Carbon Nanotubes (CNTs)	مركبات نانوية كربونية أسطوانية ذات متانة فائقة، تقترح كإضافات حديثة لتعزيز الشبكة الترابطية والخواص الميكانيكية لأسمنت الأسنان.
	الجسيمات النانوية لأكسيد الزنك	Zinc Oxide Nanoparticles (ZnO–NPs)	جزيئات متناهية الصغر من أكسيد الزنك تستخدم لتحسين جودة التفاعل الكيميائي، ورفع الكفاءة الحيوية والمقاومة البكتيرية في الحشوات.

قائمة الرموز والمختصرات

الرمز المختصر	الاسم الكامل بالإنجليزية	الدلالة العلمية
ZOE	Zinc Oxide Eugenol	مركب إسمنت الزنك والأوجينول المادة الأساسية الخاضعة للدراسة المخبرية
FTUR	Fourier–Transform Infrared Spectroscopy	تقنية مطيافية الأشعة تحت الحمراء المستخدمة لتحليل وتحديد الروابط والمجموعات الوظيفية.
HV	Vickers Hardness	مؤشر صلادة فيكرز، ويستخدم للتعبير عن النتائج الميكانيكية لصلابة أسطح العينات.
ZnO–NPs	Zinc Oxide Nanoparticles	الجسيمات النانوية لأكسيد الزنك المقترحة لتطوير الخصائص الفزيائية للحشوة.
CNTs	Carbon Nanotubes	أنابيب الكربون النانوية المقترحة كإضافات تدعيم ميكانيكية متطورة للشبكة الجزيئية.

مونومير أكريليكي عضوي أساسي يشكل الطور مصفوفي للحشوات المركبة (الكمبوزيت).	**Bisphénol A–glycidyl Méthacrylate**	**Bis–GMA**
مونومير عضوي عالي اللزوجة يستخدم في تركيب مصفوفة الكمبوزيت لتحسين المرونة.	**Uréthane Di méthacrylate**	**UDMA**
مونومير مخفف الليونة يضاف للطور العضوي لتقليل اللزوجة وتسهيل التحكم بالحشوة.	**Triethylene Glycol Di méthacrylate**	**TEGDMA**
مركب كيميائي كابح ونبطئ يضاف لمنع التصلب والبلمرة المبكرة بفعل الإضاءة المحيطة.	**Butylated Hydroxytoluène**	**BHT**
مركب الهيدروكسي أباتيت البلوري، المكون المعدني الرئيسي المماثل لبنية العظام والأسنان.	**Hydroxyapatite**	**HA**
التيتانيوم النقي تجاريا بدرجاته المختلفة المستخدم في صناعة غرسات الأسنان.	**Commerciale Pure Titanium**	**Cp Ti**
التركيبات الخزفية المحروقة فوق الهياكل المعدنية (البورسلين الهجين).	**Porcelain Fused Metal**	**PFM**
وحدة قياس العدد الموجي المستخدمة في المحور الأفقي لمنحنيات تفكيك طيف FTIR.	**Reciprocal Centimètre**	cm^{-1}
الوحدات القياسية للمقادير الكتلية والحجمية المستخدمة في تحديد نسب خلط المسحوق والسائل.	**Millilitre / Gram**	**M /g**

المقدمة العامة

مقدمة عامة:

تعد الأسنان جزءا لا يتجزأ من صحة الإنسان العامة، فهي لا تقتصر وظيفتها على مضغ الطعام والتحدث بوضوح فحسب، بل تلعب دورا حيويا في تحديد مظهرنا وثقتنا بأنفسنا، ومع ذلك، تتعرض الأسنان للكثير من التحديات على مدار الحياة، مثل التسوس والكسور وفقدان الأسنان، مما يؤثر سلبا على وظيفتها وجمالها وصحتنا العامة. هنا يأتي دور ترميم الأسنان كحل طبي يعيد للأسنان وظيفتها وشكلها الطبيعي، ويساهم في الحفاظ على صحة الفم والوقاية من مشاكل أكبر.

في مجال طب الأسنان المتطور باستمرار، يعد وجود فهم شامل لمواد الأسنان المختلفة أمرا ضروريا لتوفير رعاية المرضى المثلى، من الحلول التصالحية الى العلاجات الوقائية، يمكن أن يؤثر اختيار المواد بشكل كبير على طول عمر عمل الأسنان وراحة المرضى.

وتتنوع المواد المستخدمة في طب الأسنان وفقا للمتطلبات الوظيفية والترميمية، بدءا من الحشوات المباشرة وصولا الى الجسور، التيجان، والتعويضات السنية والزراعة، ومن أبرز هده المواد مثل الأملغم، والراتنجات المركبة، الزر كونيا والتيتانيوم.

يعتمد اختيار المادة المناسبة على خصائصها المميزة التي تؤثر بشكل مباشر على المتانة، المظهر الجمالي، التوافق الحيوي، لدا يرتكز علم مواد الأسنان على دراسة تحليلية معمقة للخصائص الفزيائية، الميكانيكية، والبيولوجية لهده المكونات، وهي ضرورة حتمية لتحديد مدى كفاءة المادة وطرق تصنيعها، إلا أن أداء هده المواد قد يتأثر بعدة عوامل، من بينها ظروف التحضير ودرجة الحرارة ونسب المكونات الداخلة في تركيبها. ويعد اسمنت أكسيد الزنك الأوجينول من المواد المهمة المستعملة في تطبيقات طب الأسنان مثل مواد حشو، ومواد طباعة الأسنان، وقواعد تجاويف الأسنان، والترميمات المؤقتة، غير ان خصائصه النهائية قد تختلف تبعا للتغيرات الحرارية واختلاف كمية الأوجينول المستعملة. ومن هنا تتبلور إشكالية بحثنا في التساؤل الرئيسي التالي: الى أي مدى تؤثر درجة الحرارة المختلفة ونسبة الأوجينول على الخصائص الكيميائية والميكانيكية لإسمنت أكسيد الزنك والأوجينول (ZnO-Eugenol)، وكيف تنعكس هذه التأثيرات على نتائج التحليل الطيفي FTIR واختبار الصلادة؟

مقدمة عامة

وللإجابة على هده الإشكالية المطروحة، يرتكز الهدف المحوري للبحث على دراسة وتحليل سلوك مادة أكسيد الزنك والأوجينول تحت تأثير متغيرين حاسمين: الظروف الحرارية المحيطة، والنسب الكتلية لسائل الأوجينول، وتتبع مدى انعكاسهما على المتانة الميكانيكية والاستقرار الكيميائي للمادة. ومن منطلق هده الأهداف المرسومة، تتبلور

أهمية الدراسة من الناحية التطبيقية والرقابية؛ إذ تهدف إلى تقديم تقييم علمي دقيق لجودة المواد الصيدلانية السنية المطروحة في السوق التجارية قبل وصولها إلى العيادات الطبية، مما يضمن سلامة وكفاءة العلاج.

ومن أجل الإحاطة بموضوع البحث، تم تقسيم المذكرة إلى ثلاثة فصول رئيسية:

الفصل الأول: يرتكز على تقديم إطار نظري شامل للتعريف بأبرز المواد المستخدمة في طب الأسنان، مع استعراض مجالات استخدامها وأهم خصائصها الميكانيكية.

الفصل الثاني: يتناول دراسة المكونات الهيكلية لهذه المواد، وخصائصها الفيز وكيميائية، بالإضافة إلى تتبع طرق وتقنيات تصنيعها.

الفصل الثالث: خُصِّص للجانب التطبيقي والمنهجي، حيث يتضمن دراسة مخبرية تجريبية لعينات من مادة أكسيد الزنك والأوجينول (ZnO-Eugenol) للتحقيق في مدى تأثير تباين درجات الحرارة واختلاف النسب الكتلية للخلط على البنية الشبكية للمادة وطبيعة روابطها الكيميائية.

الفصل الأول

خواص المواد المستخدمة في طب الأسنان

I تمهيد:

تتوفر حاليًا أنواع مختلفة من المواد المستخدمة في طب الأسنان، وذلك وفقًا لأغراضها المخصصة. وتشمل هذه المواد الضمادات المؤقتة، وترميمات الأسنان (الحشوات، والتيجان والجسور)، ومواد علاج جذور الأسنان، ومواد طباعة الأسنان ومواد تركيبات الأسنان (أطقم الأسنان)، وزراعة الأسنان على أسس طب الأسنان وغيرها الكثير. [1]

تستخدم المعادن في طب الأسنان لصنع مجموعة متنوعة من الترميمات، بدءًا من الحشوات والتيجان وصولا إلى الجسور وزراعة الأسنان. تختلف المعادن في خصائصها؛ فبعضها متوافق حيويا، أي أنه لا يلحق الضرر بالأنسجة الحية. في المقابل، قد تسبب بعض المعادن الأخرى أضرارًا صحية على المدى الطويل. سنتناول هنا بعضًا من أكثر المعادن شيوعًا في طب الأسنان ونناقش خصائصها. [2].

يتناول هذا الفصل عرضًا مفصلًا لأنواع المواد والمعادن المستعملة في مجال طبّ الأسنان، مع تحليل خصائصها الفيزيائية والكيميائية وأهم تطبيقاتها العملية.

I .2.الحشوات المعدنية والتقليدية :

I .1.2.حشوات الملغم الفضية :

يُعد الحشو البلاتيني من أقدم الحشوات المستخدمة، وأكثرها شيوعًا في طب الأسنان، ويُعرف أيضًا باسم الحشو الفضي، نتيجة لونه الراجع إلى دخول عنصر الفضة في تركيبه، إذ يتكون هذا الحشو من خليط من عناصر الفضة، والنحاس، والقصدير، إلى جانب الزئبق.

يُشكل معدن الزئبق السائل نسبة 50% من مكونات الحشو البلاتيني، فهو يتفاعل مع المكونات الأخرى، ويربطهما للحصول على مادة قابلة للتطبيق داخل السن بسهولة.

الشكل رقم (1): حشوات الملغم. المصدر[3]

شكل 1حشوات الملغم

I .1.1.2. مميزات الحشو البلاتيني (الملغم) :

- **لاستمرارية والمتانة:** إذ يمكن أن يدوم الحشو لدى بعض المرضى مدة تتراوح من 10-15 عام، وهي مدة قد تفوق الحشوات الأخرى التي تحمل لون السن.
- **قوة التحمل:** يستطيع الحشو البلاتيني مقاومة قوة المضغ بتفوق.
- **التكلفة:** يُعد الحشو البلاتيني أقل تكلفةً من أنواع الحشو الأخرى في كثير من الأحيان.
- يلائم المرضى الذين يعانون من ارتفاع مُعامل التسوس (High Caries Index)، وكذلك في الحالات التي تسبب فيها التسوس في فقدان مساحة كبيرة من الضرس.[4]

- يُعد الحشو البلاتيني الاختيار الأمثل في الحالات التي يصعب فيها التحكم في الرطوبة (اللُعاب)، وعزل السن بطريقة كاملة.

I .2.2.حشوات الدهب :

حشوات الأسنان الذهبية مصنوعة من مزيج من الذهب والنحاس ومعادن أخرى. وهي شديدة المتانة وتُعد من أطول مواد الحشو عمراً.

الشكل (2): رقم حشوات الذهبية. المصدر[5]

I .1.2.2.مميزات حشوات الدهب :

- متانة عالية وعمر طويل.
- يتحمل قوى المضغ والعض.
- متوافق حيويا ويتحمله الجسم بشكل عام جيدا.
- لا يتأكل او يفقد بريقه مع مرور الوقت.
- يوفر إحكاما تاما، مما يقلل من خطر حدوث تسوس الاسنان في المستقبل.[6]

I .3.الحشوات التجميلية والحديثة :

I .1.3.الحشو الزجاجي :

يتكون الحشو من مزيج من مادة الأكريل، وجزيئات خاصة من الزجاج، لذلك فهي تمتلك كذلك لون أبيض قريب من لون الأسنان، لكنه ليس بكفاءة حشو الكمبوزيت.

يُستخدم هذا النوع من الحشوات عادة في التسوس الذي يصيب جذور الأسنان، وكذلك في أسنان الأطفال، خاصة تلك التي ستُستبدل بعد فترة، ويمتلك هذا النوع من الحشوات خاصية هامة وهي إمكانية إطلاق فلوريد الذي يوفر حماية للأسنان من التسوس مرة أخرى، وهي ميزة ينفرد بها الحشو الزجاجي فقط، لكن على صعيد أخر، فإن هذه المادة تُعد أضعف من الكمبوزيت وأكثر قابلية للتآكل والكسر.

يُمكن أن يدوم الحشو الزجاجي مدة أقصاها 5 سنوات في أغلب الأوقات، لكن مع الأنواع الجديدة منه، قد تتساوى مع حشو الكمبوزيت في العمر الافتراضي. [4]

الشكل رقم(3): حشوات الزجاجية. المصدر[7]

I .1.1.3.مميزات الحشو الزجاجي :

- بلون الاسنان ومظهر جمالي.
- يمكن ان يطلق الفلورايد، مما قد يساعد في منع تسوس الاسنان في المستقبل.

- ترتبط ببنية السن، مما قد يوفر دعما إضافيا للسن.
- يتطلب إزالة كمية اقل من بنية السن مقارنة بحشوات الملغم.
- مقاومة لتغيرات درجة الحرارة، مما يقلل من خطر تكسر الاسنان او حساسيتها. ولأنه يلتصق مباشرة بالسن، فانه يقلل أيضا من خطر التسرب.
- يمكن استخدامه كقاعدة او بطانة تحت أنواع أخرى من الحشوات.[6]

I .2.3.الحشوات المركبة (الكمبوزيت) :

حشوات الكمبوزيت هي خيار شائع لمن يبحثون عن استعادة طبيعية المظهر. مصنوعة من مزيج من الراتنجات البلاستيكية وجزيئات زجاجية مطحونة بدقة، وهي مصممة لتتطابق مع لون أسنانك الطبيعية. تتضمن عملية حشوات الكمبوزيت حفرًا أقل، مما يعني أنه يمكن الحفاظ على المزيد من بنية السن الطبيعية. الجاذبية الجمالية تجعلها مثالية للأسنان الأمامية أو المناطق الأكثر وضوحًا في الفم. [8]

الشكل رقم(4): حشوات الكمبوزيت قبل وبعد. المصدر[9]

I .1.2.3.مميزات حشوات الكمبوزيت :

- **مظهر طبيعي**: تمتزج مع لون الأسنان، مما يجعلها غير مرئية تقريبًا وتمنح ابتسامة جذابة.
- **مرونة في الاستخدام**: يمكن استخدامها في الأسنان الأمامية والخلفية بسهولة.

- **حماية السن:** تتطلب إزالة كمية أقل من بنية السن مقارنة بالحشوات الأخرى، مما يساعد على الحفاظ على قوة السن الطبيعية.
- **متانة عالية:** تدوم لفترات طويلة مع العناية الجيدة.
- **إصلاح سريع:** يتم وضعها في جلسة واحدة دون الحاجة إلى زيارات متعددة.
- **صديقة للمرضى:** خالية من المعادن، مما يجعلها خيارًا آمنًا وصحيًا للكثير من الأشخاص. [9]

I .3.3. حشوات البورسلين:

حشوات البورسلين، المعروفة أيضًا بحشوات السيراميك، هي مواد ترميمية للأسنان إصلاح الاسنان التالفة او المتضررة. تُصنع هذه الحشوات من سيراميك عالي الجودة وتُعرف بجاذبيتها الجمالية ومتانتها. على عكس حشوات المعادن، توفر حشوات البورسلين مظهرًا طبيعيًا يحاكي شكل وإحساس الأسنان الطبيعية.

الشكل رقم (5): قشور البورسلين. المصدر[10]

I .1.3.3.مميزات حشوات البورسلين:

- **جمالية المظهر:** إحدى المزايا الرئيسية لحشوات البورسلين هي قدرتها على الاندماج بسلاسة مع الأسنان الطبيعية. يمكن مطابقة لونها وشفافيتها بدقة مع الأسنان الموجودة، مما يوفر حلاً جذابًا وغير ملحوظ للتجاويف.
- **المتانة:**

البورسلين مادة قوية يمكنها تحمل ضغوطات الأكل والعض لسنوات عديدة. مع العناية المناسبة، يمكن أن تدوم حشوات البورسلين لأكثر من عقد من الزمان، مما يجعلها حلاً طويل الأمد للترميمات السنية.

- **التوافق البيولوجي**

حشوات البورسلين متوافقة بيولوجيًا، مما يعني أنها تُحتمل جيدًا من قبل الجسم ولا تثير ردود فعل تحسسية. على عكس حشوات الملغم، التي يمكن أحيانًا أن تسبب حساسية أو استجابات تحسسية، تُعتبر حشوات البورسلين عمومًا آمنة ومريحة لمعظم المرض. [8]

I .4.غرسات الأسنان :

I.4.1. غرسات التيتانيوم:

التيتانيوم هو واحد من أكثر المواد الحيوية التي أثبت فعاليته في مجال الاستعاضة في طب الأسنان.

يتميز التيتانيوم بمعامل المرونة المنخفض، والوزن المنخفض، والمقاومة للتآكل، والاندماج الجيد مع العظم.

لذا يتم تصنيفه كمواد خاملة بيولوجيًا مقارنةً بالسيراميك مثل الزركونيا والألومينا، أي لا يسبب أضرار حيوية على الجسم.

لذا تعد زراعات التيتانيوم هي الأفضل في تعويض الأسنان المفقودة. [11]

الشكل رقم(6): غرسات أسنان التيتانيوم. المصدر[12]

I .1.1.4.مميزات وخصائص التيتانيوم:

- **قوة استثنائية** – تشتهر غرسات التيتانيوم بنسبة قوتها إلى وزنها العالية، مما يضمن الاستقرار وعمر الخدمة على مدار الوقت.
- **التكامل العظمي** – تعمل على تعزيز التكامل العظمي من خلال السماح لأنسجة العظام بالارتباط مباشرة بسطح الزرعة، مما يؤدي إلى أساس متين وآمن.
- **طول العمر** – لديهم أيضًا سجل حافل بالنجاح على المدى الطويل، مع معدلات بقاء جيدة بمرور الوقت. [13]

I.2.4. غرسات الزر كونيا:

الزر كونيا نوع من أنواع زراعة الاسنان مصنوع من ثاني أكسيد الزركونيوم، وهي مادة صلبة ومتينة، وهي توفر بديلا لزراعة الاسنان التقليدية المصنوعة من التيتانيوم. الزر كونيا مادة خزفية، وهي عبارة عن أكسيد بلوري ابيض

من الزركونيوم، وتعد من أكثر المواد الخزفية دراسة. تشتهر الزر كونيا بمقاومتها العالية للتشقق والتمدد الحراري والتآكل، مما يجعلها خيار ممتاز للعديد من التطبيقات في صناعات مثل طب الاسنان والمجوهرات وحتى صناعة الطيران. [14]

الشكل رقم(7): غرسات أسنان الزر كونيا. المصدر[15]

I .1.2.4.مميزات وخصائص الزر كونيا

- **الجاذبية الجمالية** – تتمتع غرسات الزر كونيا بمظهر طبيعي يشبه الأسنان وتندمج بسلاسة مع الأسنان المجاورة، مما ينتج عنه نتيجة جمالية مرضية.

- **التوافق الحيوي** – فهي متوافقة حيوياً للغاية، مما يقلل من احتمالية حدوث التهاب أو ردود فعل غير مواتية في الجسم.
- **المتانة** – تتميز مادة الزركونيا بقوتها ومتانتها، مما يضمن الأداء على المدى الطويل.
- **تقليل تراكم البلاك** – يمنع سطحه المسطح تراكم البلاك، مما يوفر صحة أفضل للأسنان واللثة. [13]

I .5.الملاط والأسمنت الطبي :

I .1.5.إسمنت أكسيد الزنك والأوجينول (Zinc Oxide Eugénol – ZOE)

هو مادة طب الأسنان التي تم استخدامها في طب الأسنان لأكثر من 100 عام. يشار إليه عادة باسم ZOE، ويتكون من مسحوق أكسيد الزنك وسائل الأوجينول.

ينتج عن هذا الخليط أسمنت أبيض شديد الصلابة يمكن استخدامه في إجراءات طب الأسنان المختلفة.

تعتبر الحشوات المؤقتة واحدة من الاستخدامات الأكثر شيوعًا لأسمنت الأوجينول بأكسيد الزنك. عندما يحتاج المريض إلى حشو تجويف أو خلع سن، يمكن وضع هذا النوع من الأسمنت على المنطقة المصابة كحل مؤقت حتى يمكن توفير علاج دائم.

يحتوي هذا الأسمنت أيضًا على خصائص مضادة للبكتيريا، مما يجعله مفيدًا في علاج الأسنان المصابة. يساعد مزيج أكسيد الزنك والأوجينول على قتل البكتيريا داخل الأسنان ومنع حدوث المزيد من العدوى.

الإضافة إلى خصائصه التصالحية، يستخدم أسمنت الأوجينول بأكسيد الزنك بشكل متكرر أيضًا لأخذ الانطباع أثناء تحضير التاج أو الجسر. يحدد بسرعة وبدقة شكل الأسنان، مما يجعله مادة مثالية لخلق انطباعات دقيقة.

الشكل رقم(8): مسحوق وسائل أكسيد الأوجينول. المصدر[17]

I .1.1.5.مميزات اسمنت أكسيد الزنك والأوجينول:

- خصائصه المضادة للبكتيريا. تحتوي المادة على الأوجينول، والذي ثبت أن له نشاطًا مضادًا للميكروبات ضد مجموعة من البكتيريا الموجودة عادة في الفم
- طلق هذا النوع من الأسمنت أيونات الفلورايد بمرور الوقت والتي تساعد على منع تسوس الأسنان من خلال تقوية مينا الأسنان
- يوفر ختمًا قويًا ومتينًا يمكن أن يستمر لسنوات، مما يجعله خيارًا مثاليًا للترميمات طويلة المدى. هذا لأن المادة تتمتع بقوة ضغط ممتازة، مما يعني أنها تستطيع تحمل ضغط العض والمضغ دون كسر أو تشقق. [17]

I .6.أنواع سبائك الأسنان :

I .1.6.سبائك المعادن الثمينة والنفيسة :

تتميز سبائك المعادن الثمينة في طب الأسنان، وخاصة تلك المصنوعة من الذهب والبلاتين والبلاديوم، بمقاومتها الممتازة للتآكل وتوافقها الحيوي. وتُقدّر هذه السبائك تقليديًا لطول عمرها وقلة تآكلها، مما يجعلها مادة مفضلة للحشوات الداخلية والخارجية والتيجان والجسور.

I .1.1.6.سبائك الدهب :

تحظى سبائك الذهب بشعبية خاصة نظراً لسهولة تشكيلها وخصائصها الجمالية. فهي سهلة التلميع وتتناسق مع لون الأسنان الطبيعي، وتوفر ملاءمة ممتازة، وتقلل من خطر التآكل وتراكم البلاك.

I.2.1.6. سبائك البلاتين والبلاديوم:

تتميز سبائك البلاتين والبلاديوم بقوة وصلابة عاليتين، مما يجعلها مثالية للترميمات الرقيقة التي تتطلب الحفاظ على بنية السن قدر الإمكان. ويساعد استخدامها في الحفاظ على سلامة بنية مادة الترميم مع الحفاظ على مظهر جمالي عالٍ.

I .2.6.سبائك المعادن غير النفيسة :

تُعدّ سبائك المعادن غير النفيسة، مثل سبائك النيكل والكروم والكوبالت والكروم، بديلاً اقتصادياً للمعادن النفيسة. وتُعرف هذه السبائك بقوتها وصلابتها الاستثنائية، مما يجعلها مثالية للتطبيقات الإنشائية في طب الأسنان.

I .1.2.6.سبائك النيكل والكروم :

تُستخدم سبائك النيكل والكروم على نطاق واسع في صناعة قواعد أطقم الأسنان والهياكل المعدنية، على الرغم من أنها قد تسبب ردود فعل تحسسية لدى نسبة قليلة من المرضى.

I .2.2.6.سبائك الكوبالت والكروم :

تتميز سبائك الكوبالت والكروم بمقاومة ممتازة للتآكل وتوافق حيوي، مما يجعلها خيارًا مفضلًا للمرضى الذين يعانون من حساسية النيكل.

I .3.6.سبائك السيراميك والمعادن :

يتيح الجمع بين المعدن والسيراميك في سبائك البورسلين إلى المعدن (البورسلين المدمج إلى المعدن، PFM) توازنًا مثاليًا بين المظهر الجمالي والقوة الميكانيكية. وتُعد هذه السبائك ذات قيمة خاصة لترميمات الأسنان الأمامية،

حيث تُعد الجماليات ذات أهمية قصوى. [18]

الخاتمة:

يتضح أن مواد طب الأسنان تمثل مجالاً واسعًا ومتطور، يشمل المعادن والسبائك وغيرها من المواد المختلفة، ولكل منها خصائص ومميزات تميزها عن غيرها. وتتمثل أهم هذه الخصائص في التوافق الحيوي، ومقاومة التآكل، والخصائص الجمالية، إضافةً إلى الخصائص الميكانيكية كالصلابة والمتانة والمرونة. ويعتمد اختيار المادة المناسبة على طبيعة الاستخدام السريري، سواء في الحشوات، أو زراعة الأسنان، أو التيجان والجسور، وغيرها من التطبيقات العلاجية. كما توجد أنواع أخرى من المواد لم يتم التطرق إليها في هذا الفصل، مما يعكس التطور المستمر في مجال مواد طب الأسنان وسعيه الدائم نحو تحقيق أفضل النتائج العلاجية والوظيفية والجمالية. وفتح افاق جديدة لتحسين جودة المواد ورفع كفاءتها بما يخدم صحة المريض ووظيفة الفم وجماليته.

الفصل الثاني:

خصائص وطرق تصنيع المواد في طب الأسنان

II .1. تمهيد:

تعرف مواد طب الاسنان بأنها تلك المواد المصنعة والمطورة خصيصا للتوافق مع البيئة الفموية، بهدف استعادة الوظيفة الحيوية والمظهر الجمالي للأسنان. ويرتكز علم المواد الأسنان على دراسة تحليلية معمقة للخصائص الفيزيائية، والميكانيكية، والبيولوجية للمكونات الداخلة في تركيبها. ان فهم هذه الخصائص لا يقتصر على الجانب النظري فحسب، بل يعد ضرورة حتمية لتحديد مدى كفاءة المادة، وطرق تصنيعها، ومدى استجابة الأنسجة الحيوية لها، بما يضمن ديمومة العلاج وسلامة المريض.

ومنها سنتطرق في هدا الفصل الى التعريف بمكونات المواد وخصائصها وطرق تصنيعها في طب الأسنان

II .2.ملغم الأسنان :

II 1.2. تركيب مادة الملغم:

تعرف بأنها مادة ترميمية معدنية تستخدم لتعويض الفقد الهيكلي في الأسنان الناتج عن التسوس.

II .2.2.مكونات الملغم:

تتكون هده المادة من سبيكة معدنية معقدة تشتمل على الزئبق العنصري بنسبة تصل الى 50% من كتلتها الإجمالية، بالإضافة إلى مسحوق مكون من عناصر الفضة، والقصدير، والنحاس. وتكمن الأهمية العلمية للزئبق في قدرته على التفاعل كيميائيا مع جزيئات هده السبيكة، مما يؤدي الى ترابطها وتشكيل مركب متجانس وصلب قادر على تحمل الضغوط الميكانيكية داخل الحجرة السنية.[19]

II .3.الراتنجات المركبة(الكمبوزيت):

II .1.3. تركيب مادة الراتنجات المركبة:

تعد الراتنجات المركبة موادا ترميمية متطورة تتألف من بنية بنيوية هجينة، تجمع بين مصفوفة بوليمرية عضوية ودقائق مالئة غير عضوية لتعزيز الخصائص الميكانيكية والجمالية.[20]

II .2.3.المكونات الكيمائية والفزيائية للراتنجات المركبة:

- **الطور العضوي**: يتكون بشكل أساسي من مونومرات الأكريليك مثل:
  - ✓ Bis-GMA (Bisphenol A-glycidyl methacrylate).
  - ✓ UDMA (Uréthane di méthacrylate).
  - ✓ TEG DMA (Triethylene glycol di methacrylate).
- **الدقائق المالئة غير العضوية**: تمنح المادة الصلابة والمظهر الطبيعي، وتشمل جزيئات دقيقة من الزركونيوم، السيليكا، **الكوارتز**، والباريوم.
- **عامل الربط**: يستخدم مركب (MPS-3) لضمان الالتصاق الكيميائي المتين بين الحشوات غير العضوية والمصفوفة الراتنجية.
- **نظام البلمرة: المحفز الضوئي**: يعد الكينون الكافوري (Camphorquinone)المحفز الأكثر شيوعا لبدء التفاعل.
- **المسرعات**: تشمل ثنائي ايثيل امينو ايثيل ميثاكريلات او ثنائي كيتون.
- **المثبطات والاصباغ**: يضاف مركب (BHT)كمثبط لمنع البلمرة المبكرة الناتجة عن الضوء المحيط.
- تدمج الأصباغ لضبط التدرج اللوني بما يتوافق مع الخصائص البصرية للأسنان الطبيعية.[21]

II.4. حشوات الأسنان الزجاجية:

تعد حشوات الأسنان الزجاجية من المواد الترميمية الحيوية المستخدمة في طب الأسنان، وتتميز بتركيبة كيميائية فريدة وخصائص وقائية متقدمة.[22]

II .1.4.التركيب الكيميائي :

تتكون هده الحشوات من تفاعل كيميائي بين مكونين أساسيين:

- **المسحوق**: زجاج الفلورو-الومينوسيليكات (Fluorose-aluminosilicate glass)
- **السائل**: حمض البولي أكريليك (Polyacrylique Acid).

ينتج عن دمج هدين المكونين مادة قادرة على الارتباط كيميائيا بأنسجة السن(ميناء والعاج) دون الحاجة لوسائط ربط خارجية، مما يضمن ترميما مستقرا.

تحرير الفلورايد: تعمل المادة كخزان لأيونات الفلورايد وتطلقها تدريجيا مما يساهم في إعادة تمعدن السن ومنع حدوث تسوس ثانوي.[23]

II .5. اسمنت أكسيد الزنك والأوجينول:

يعد مادة من المواد الأساسية في طب الأسنان، وتعتمد في تكوينها على تفاعل كيميائي محدد بين المسحوق والسائل لإنتاج مادة دات خصائص سريرية ملائمة.

II .1.5.المكونات الأساسية:

يتكون النظام من جزأين رئيسيين يتم خلطهما بنسب محددة للوصول الى القوام المطلوب:

- **المسحوق**: المكون الأساسي هو أكسيد الزنك بنسبة تقارب 69.0%، والذي يعمل كحشوة أساسية. وتضاف اليه مواد لتحسين الخصائص مثل:
  - ✓ **صمغ الصنوبر**: لزيادة القوة الميكانيكية وتقليل الهشاشة.
  - ✓ **سترات الزنك**: تعمل كمسرع للتفاعل وملدن.
  - ✓ **اسيتات الزنك**: تضاف أحيانا لتعزيز سرعة التصلب.

- **السائل**: يتكون بشكل رئيسي من الأوجينول بنسبة تصل الى 85%، وهو مستخلص زيت القرنفل، مع إضافة زيت الزيتون بنسبة 15 %تقريبا ليعمل كمخفف ويحسن من لزوجة الخليط.**[24]**

II .2.5.الية التفاعل الكيميائي :

يحدث التصلب من خلال تفاعل كيميائي يعرف ب تفاعل الاستخلاب وتتلخص خطواته فيما يلي:

- **الارتباط الجزيئي**: عند خلط المسحوق مع السائل، تنطلق ايونات الزنك من سطح جزيئات أكسيد الزنك.
- **تكوين المركب**: ترتبط هذه الأيونات المعدنية مع المجموعات الوظيفية في جزيئات الأوجينول العضوية.
- **الناتج النهائي**: يتكون مركب كيميائي مستقر يعرف ب أوجينولات الزنك، وهو عبارة عن شبكة بلورية تربط جزيئات أكسيد الزنك غير المتفاعلة ببعضها، مما يؤدي الى تحول العجينة من الحالة اللينة الى الحالة الصلبة.[25]

II .6.مادة الزر كونيا:

تعد مادة الزركونيا من أكثر المواد تطورا في طب الأسنان التعويضي، نظرا لخصائصها الحيوية الفائقة، وتوافقها التام مع الأنسجة، بالإضافة الى ميزاتها الفزيائية والجمالية.

تتلخص العملية التصنيعية والتركيب الكيميائي لهده المادة وفقا للاتي:

II .1.6.التركيب الكيميائي والتدعيم:

نظرا لكون أكسيد الزركونيوم عنصرا خاملا كيميائيا ولا يتفاعل في حالته الطبيعية، يتم تعزيز استقراره وخصائصه الميكانيكية من خلال:

- ✓ إضافة عنصر الإيتريوم) عنصر فلزي نادر) بنسبة تقارب 5%.
- ✓ إضافة نسبة ضئيلة من أكسيد الألمنيوم تتراوح بين (0.015-0.035).

يتم استكمال الجانب الجمالي بتطبيق طبقات من الخزف منخفض الانصهار الدي ينصهر عند 820 درجة مئوية فوق هيكل الزر كونيا.

II .2.6.مراحل العملية التصنيعية:

II .1.2.6. المعالجة الكيميائية والتكليس:

تبدأ الدورة الاستخلاصية من رمل الزركون، حيث يخضع لسلسلة من التفاعلات الكيميائية المعقدة لفصل عنصر الزركونيوم عن السيليكون والشوائب المصاحبة. يعرض الناتج لعملية التكليس في درجات حرارة مرتفعة جدا، مما يؤدي الى تطاير المكونات غير المرغوبة وتحويل المادة الى مسحوق أكسيد الزركونيوم عالي النقاء.

II .2.2.6. تشكيل الجسم الأخضر:

يمزج مسحوق الزر كونيا الناعم مع مواد رابطة، ثم يشكل هندسيا باستخدام تقنيات الضغط بالقالب، او الضغط الايزوستاتيكي، او تشكيل بالحقن، يسمى الجزء في هده المرحلة ب " الجسم الأخضر" وهو كيان هش ذو قوام طباشيري يمتلك الشكل الهندسي المطلوب لكنه يفتقر الى الصلادة والمقاومة الميكانيكية.

II .3.2.6. التلبيد:

تخضع الأجسام الخضراء للمعالجة الحرارية في افران متخصصة عند درجات حرارة تصل الى 1500 درجة مئوية) دون الوصول لنقطة الانصهار) تكمن أهمية المرحلة في:

- دمج جزيئات المسحوق وتحويلها الى كتلة صلبة متجانسة.
- التخلص من المسامية البينية وزيادة الكثافة.
- تحديد البنية الحبيبية التي تعتمد عليها الخصائص الميكانيكية النهائية.[26]

II .7.مادة البورسلين:

II .1.7.تركيب مادة البورسلين:

يصنف البورسلين الأسنان كمركب سيراميكي متطور عالي القوة، يتكون من تركيبة متوازنة الهيكل من ثلاثة معادن طبيعية مكررة ومخلوطة بدقة يجري معالجتها حراريا لمحاكاة الخصائص الفيزيائية والجمالية لمينا الأسنان الطبيعية. وتتوزع أدوار هذه المكونات على النحو التالي:

- **الكاولين:** طين ابيض نقي يمثل الأساس الهيكلي للمركب، ويوفر اللدونة الميكانيكية اللازمة لتشكيل الترميمات السنية قبل مرحلة الحرق، كما يعمل كإطار بنيوي مستقر يحافظ على ثبات المكونات الأخرى اثناء الاندماج الحراري.

- **الكوارتز(السيليكا)**: معدن عالي الصلابة يعمل كحشو تدعيمي داخل المزيج السيراميكي، وتتمثل وظيفته الأساسية في رفع كفاءة الصلابة الميكانيكية، ومقاومة الاحتكاك والتآكل الناتجة عن قوى المضغ.
- **الفلسبار**: المكون المسؤول عن تكوين المصفوفة الزجاجية حيث ينصهر في درجات الحرارة العالية ليتدفق حول جزيئات الكاولين والكوارتز رابطا إياها، وهو العنصر الحاسم في منح المادة خصائص الشفافية واللمعان ومحاكات المظهر الطبيعي للمينا.

II .2.7.الإضافات الوظيفية والتحسينات الجمالية والحيوية :

تدمج في المزيج الأساسي نسب دقيقة من مواد مضافة لضبط الخصائص الفزيائية والكيميائية النهائية للترميمات:

- **اكاسيد المعادن (كالحديد، التيتانيوم، والمنغنيز)**: تضاف بكميات ضئيلة كأصباغ نوعية لتحقيق التوافق اللوني الدقيق مع التدرجات الطبيعية لأسان المريض.
- **العوامل المضيئة**: معادن فلورية خاصة تضاف لتقليد خاصية التألق الطبيعي للأسنان تحت الأشعة فوق البنفسجية، مما يضمن مظهر متجانسا في مختلف ظروف الإضاءة.
- **المعادن المتقدمة لتعزيز التوافق الحيوي**: مثل الهيدروكسي أباتيت (HA) وهو المكون المعدني الأساسي للعظام والأسنان الطبيعية، ويساهم إدراجه في تحسين التوافق الحيوي للمادة وتفاعلها الإيجابي مع انسجة اللثة المحيطة.

II .3.7.المحددات الميكانيكية والمفضالات السريرية :

تخضع صياغة بورسلين الأسنان لمعادلة فزيائية توازن بين الخصائص المتنافسة لضمان الكفاءة السريرية:

- **الصلابة مقابل الهشاشة**: يتميز البورسلين بصلابة بنيوية عالية تمنحه مقاومة فائقة للخدش والتآكل، الا ان هده الصلابة ترفع من معامل الهشاشة، مما يجعله عرضة للتقشر او الكسر تحت تأثير القوى الحادة والمركزة.
- **الجماليات مقابل تأكل الأسنان المقابلة**: تمنح المصفوفة الزجاجية السطح مظهرا جماليا ومقاومة عالية للبقع، وفي حين ان التركيبات الفلسبارية الحديثة أصبحت أكثر توازنا واقل كشطا للمينا المقابلة مقارنة بالصيغ القديمة، فإن تحقيق ذلك يظل مشروطا بالتلميع الفزيائي الدقيق.**[27]**

II .8.الذهب سبائكه

تعد سبائك الذهب المستخدمة في طب الاسنان من المواد التقويمية والترميمية المتميزة، نظرا لخصائصها الفزيائية والكيميائية الفريدة. ويعزى اللجوء الى استخدام الذهب على هيئة سبيكة عبر خلطه بمعادن أخرى مثل النحاس، الفضة، البلاتين، والبلاديوم الى افتقار الذهب الخالص (عيار24) للصلابة الكافية، حيث يتسم بالليونة العالية والطارقية، مما يجعله عرضة للتشوه وغير قادر على تحمل قوى المضغ الإطباقية العالية داخل التجويف الفموي. وتحقق هده الصياغة المعدنية توازنا يجمع بين الخمول الكيميائي

للذهب الدي يضمن مقاومة عالية للتأكل والصدأ في البيئة الفموية، وبين القوة الميكانيكية والمتانة التي تضيفها المعادن المضافة، مما يمنح التعويضات السنية ديمومة واستقرار بنيويا على المدى الطويل.[28]

II .9. مادة التيتانيوم:

II .1.9.تركيب مادة التيتانيوم:

تصنف المواد المستخدمة قي تصنيع الغرسات السنية بناء على تركيبها الكيميائي وخصائصها الميكانيكية الى فئتين رئيستين:

✓ أولا التيتانيوم النقي تجاريا (Cp Ti):

- ✓ يعد التيتانيوم النقي المادة الأساسية لغرسات الاسنان، ويصنف الى أربع درجات تختلف فيما بينها بناء على نسبة العناصر المختلطة (الكربون، النتروجين، الاكسجين، والحديد).
- ✓ **سبيكة (Cp4)**: تعد الأكثر شيوعا في هدا النطاق، تتميز بحدود صارمة للشوائب لضمان جودة الأداء الحيوي، حيث تتكون من:
  - الحديد (Fe): بنسبة لا تتجاوز 0.50%.
  - الاكسجين (O)بنسبة لا تتجاوز0.40%.
  - الهيدروجين (H)بنسبة لا تتجاوز0.15%.
  - النتروجين(N) بنسبة لا تتجاوز 0.05%.
  - الكربون (C)بنسبة لا تتجاوز 0.10%.

✓ ثانيا سبائك التيتانيوم (الدرجة الخامسة Ti-6Al-4V):

تعرف بسبيكة التيتانيوم من الدرجة الخامسة، دات صلابة ميكانيكية اعلى مقارنة بالتيتانيوم النقي، وتتكون بشكل أساسي من:

- التيتانيوم (Ti) العنصر الأساسي.
- الومنيوم (Al) بنسبة 6%.
- فاناديوم (V)بنسبة 4%.

II .1.9.الخصائص النوعية والمزايا السريرية :

تتمتع هده المواد بخصائص تجعلها الخيار الأمثل "المعياري" في الصناعة مند عام 1981، ومن أبرزها.

- **المقاومة العالية للتأكل**: القدرة الفائقة على تحمل بيئة داخل الفم.
- **التوافق الحيوي**: ملاءمة تامة مع أنسجة العظام واللثة.
- **الاندماج العظمي**: قدرة عالية على الالتحام مع العظم الطبيعي.

- **معدلات النجاح السريري:** اظهرت الدراسات ان كلا من التيتانيوم النقي وسبيكة يحققان معدلات نجاح تصل الى 99% بعد عشر سنوات من الاستخدام السريري.
- **بديل امن:** تعد هده السبائك حلا مثاليا للمرضى الدين يعانون من حساسية اتجاه المعادن الأخرى، لاسيما حساسية النيكل التي تبلغ نسبتها حوالي 5%لدى البشر. **[29]**

الخاتمة:

تعد خصائص المواد ومكوناتها محدد رئيسا لسلوكها داخل البيئة الفموية؛ سواء من الناحية الميكانيكية، الكيميائية، او البيولوجية. فكل مادة سنية سواء كانت راتنجية، سيراميكية، او زجاجية تمتلك تركيب كيميائيا وبنيويا نوعيا ينعكس مباشرة على خواصها الفيزيائية؛ كالصلادة ومقاومتها للتآكل. وعلاوة على ذلك، تأثر طرق التصنيع كالمعالجات الحرارية، بشكل جوهري على تماسك المادة وبنيتها المجهرية الداخلية.

لفصل الثالث

دراسة مخبرية لعينة من مادة أكسيد الزنك والأوجينول

III.1. تقديم الدراسة التطبيقية:

يهدف هذ الجزء العملي من البحث الى دراسة الخصائص الميكانيكية والكيميائية لمادة "أكسيد الزنك والأوجينول "المستخدمة في طب الأسنان، من خلال رصد استجابتها لتغير نسب المكونات (نسبة السائل إلى المسحوق)، وتأثير درجات الحرارة المختلفة (درجة حرارة الغرفة، 100°C، و0°C)، بالاعتماد على اختبارات الصلابة الميكانيكية والتحليل الطيفي (FTIR).

III .2. البروتوكول التجريبي وتحضير العينات:

III.2.1. المواد المستخدمة:

المادة الأساسية: مسحوق أكسيد الزنك بوزن ثابت 1g لكل عينة.

المادة الرابطة: سائل الأوجينول بنسب متغيرة(0.2ml,0.3ml, 0.5ml) .

الشكل رقم (1): مسحوق أكسيد الزنك والأوجينول

III.2.2. خطوات تحضير العينات:

تعتبر مرحلة الخلط مرحلة مهمة من اجل الحصول على عجينة متجانسة، وقد تم اتباع الخطوات التالية بدقة:

- تم استخدام ميزان إلكتروني حساس لوزن مسحوق أكسيد الزنك 1gلكل عينة، ثم وضعها في لوح زجاجي جاف ونظيف.

الشكل رقم (2): ميزان الكتروني حساس

- تمت إضافة الأوجينول باستخدام قطارة دقيقة أو (حقنة مدرجة) لضمان النسب المحددة(0.2ml ,0.3ml,0.5ml)، تدريجيا الى المسحوق مع استمرار الخلط حتى نصل الى قوام العجينة المطلوب.

الشكل رقم (3): إضافة كمية من الأوجينول بواسطة حقنة مدرجة وعملية الخلط

- استمرت عملية الخلط اليدوي لمدت تتراوح بين 45الى 60ثانية لكل عينة لضمان التفاعل الكيميائي بعد الحصول على قوام متجانس تم وضع العينة في قوالب خاصة لتتصلب لمدة تتراوح بين 10 الى 15 دقيقة.

III.3.2. توزيع العينات:

- لتحقيق أهداف الدراسة، تم تحضير إجمالي 9 عينات مخبرية، حيث جرى تقسيمها إلى ثلاث مجموعات رئيسية بناء على درجة حرارة المعالجة، وتحتوي كل مجموعة على ثلاث نسب مختلفة من الأوجينول وفقا للتوزيع الموضح في الجدول التالي:

جدول 1توزيع العينات حسب درجة الحرارة وكمية الأوجينول

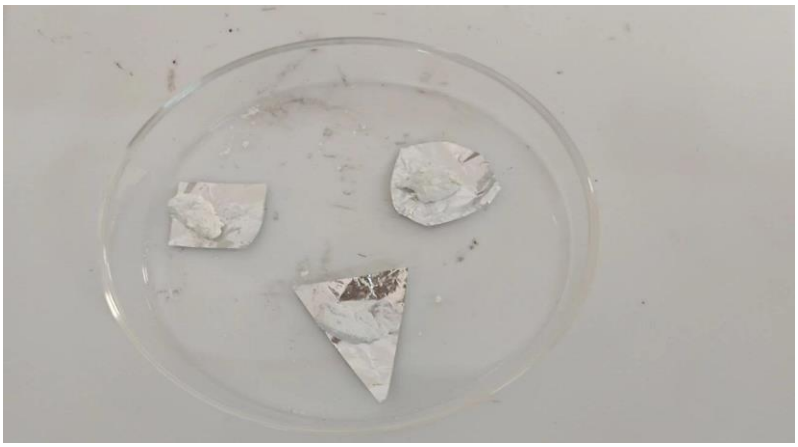
المجموعات	رقم العينة	كمية أكسيد الزنك(g)	كمية الأوجينول (ml)	درجة الحرارة (c°)
المجموعة الأولى (الشاهدة)	العينة 1	1	0.2	درجة حرارة الغرفة 25°C
	العينة 2	1	0.3	
	العينة 3	1	0.5	
المجموعة الثانية (الحرارية)	العينة 4	1	0.2	100°Cدرجة مئوية في فرن
	العينة 5	1	0.3	
	العينة 6	1	0.5	
المجموعة الثالثة (التبريد)	العينة 7	1	0.2	0°Cدرجة مئوية في مبرد
	العينة 8	1	0.3	
	العينة 9	1	0.5	

III.3. مراحل القياس والاختبار:

تخضع كل مجموعة من العينات للخطوات التالية بالتوالي:

III.3.1. مرحلة المعالجة البيئية:

- **المجموعة الأولى (الشاهدة)**: تترك العينات في ظروف درجة حرارة الغرفة (25°C) كمرجع أساسي للدراسة.



الشكل رقم (4): العينات في درجة حرارة الغرفة 25°C

- **المجموعة الثانية (الحرارية)**: توضع العينات في فرن مخبري عند درجة حرارة (100°C) لمدة ساعة كاملة، لمحاكاة تأثير الحرارة العالية على استقرار الروابط.

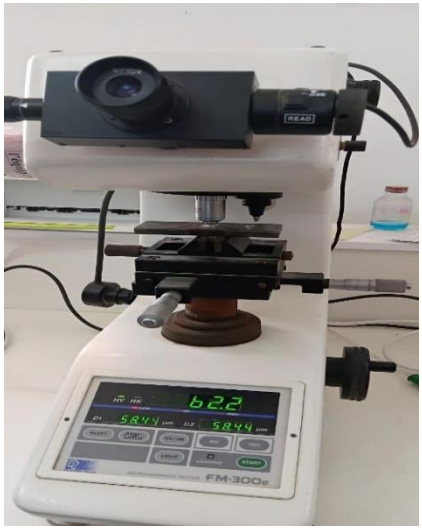
الشكل رقم(5): وضع عينات المجموعة الثانية في فرن مخبري عند درجة حرارة 100C°.

- **المجموعة الثالثة (التبريد)**: توضع العينات في مبرد (الثلاجة) عند درجة حرارة (0° C) لمدة ساعة كاملة، لدراسة تأثير الانكماش الحراري او البرودة على المادة.

الشكل رقم(6): وضع عينات المجموعة الثالثة في مبرد عند درجة حرارة 0°C.

III.2.3. مرحلة الاختبار الميكانيكي:

- يتم قياس الصلابة لجميع العينات التسعة باستخدام جهاز قياس الصلابة الميكروي.



الشكل رقم(7): جهاز قياس الصلابة الميكروي

- بالنسبة للمجموعتين الثانية والثالثة، يتم إجراء القياس فور استخراجهما من الفرن والمبرد لضمان تسجيل قيم الصلابة تحت التأثير الحراري المباشر قبل عودة المادة لحالتها الطبيعية.

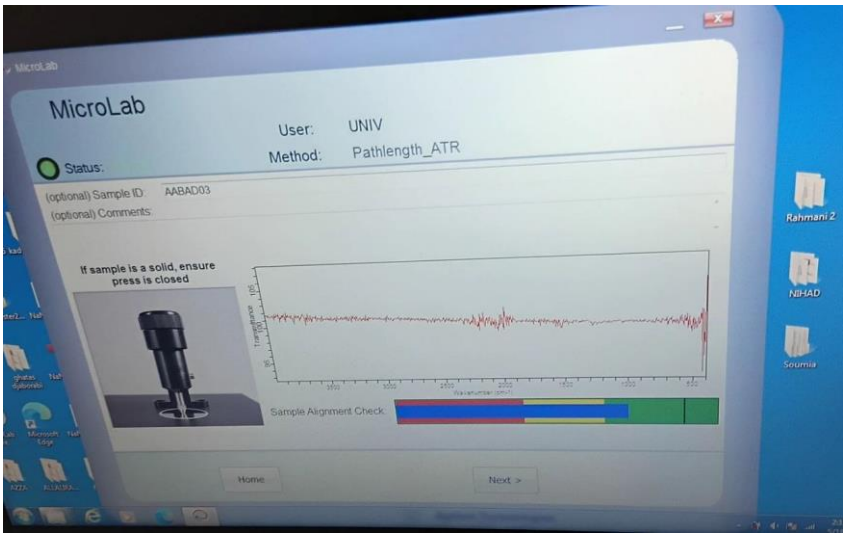
الشكل رقم(8): عينات المجموعة الثانية والثالثة في أنابيب محكمة

III.3.3. مرحلة التحليل الطيفي:

- يتم إخضاع العينات بعد الانتهاء من اختبار الصلابة لجهاز التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء (FTIR).

الشكل رقم(9): جهاز التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء لتحويل فورييه

- يتم رصد القمم الطيفية لكل عينة لتحديد التغيرات الكيميائية أو ظهور روابط جديدة نتيجة التفاعل بين أكسيد الزنك والأوجينول تحت تأثير درجات الحرارة المختلفة.



الشكل رقم(10): واجهة برنامج MicroLab تعكس منحنى طيف الأشعة تحت الحمراء لعينة أكسيد الزنك والأوجينول.

III.4. نتائج قياس الصلابة:

يوضح الجدول التالي نتائج قياس الصلابة للعينات التسعة:

جدول 2نتائج قياس الصلابة الميكروية للعينات

المجموعات	درجات الحرارة C	كمية الأوجينول ml	قيم الصلابة HV
المجموعة الأولى (الشاهدة)	درجة حرارة الغرفة 25°C	0.2	221.7
		0.3	484.1
		0.5	179.5
المجموعة الثانية (الحرارية)	درجة حرارة 100°C	0.2	505.0
		0.3	291.0
		0.5	184.0
المجموعة الثالثة (التبريد)	درجة حرارة 0°C	0.2	480.0
		0.3	219
		0.5	170

III.1.4. تحليل النتائج :

من خلال القراءة الأولية للجدول رقم (2) يمكننا ملاحظة النقاط التالية:

- **تأثير نسبة الأوجينول**: نلاحظ وجود علاقة عكسية واضحة بين كمية الأوجينول وصلابة المادة؛ فكلما زادت النسبة من 0.2g إلى 0.5g، انخفضت قيم الصلابة بشكل ملحوظ في جميع المجموعات. وهدا يفسر بأن زيادة السائل تؤدي إلى بنية أقل تماسكا.
- **تأثير درجة الحرارة**: أظهرت النتائج أن المعالجة الحرارية عند 100°C أدت إلى رفع صلابة العينة ذات النسبة 0.2g لتصل إلى أعلى قيمة لها (505HV)، مما يشير إلى أن الحرارة تسرع من وتيرة التفاعل الكيميائي وتصلب المادة.
- **مقارنة المجموعات**: سجلت المجموعة المعالجة بالتبريد 0°C أدنى قيم صلابة مقارنة بالمجموعة الشاهدة والمجموعة الحرارية، خاصة عند النسبة 0.5g حيث بلغت (170HV)، مما يدل على أن البرودة قد تؤثر سلبا على اكتمال التفاعل الكيميائي للمادة.

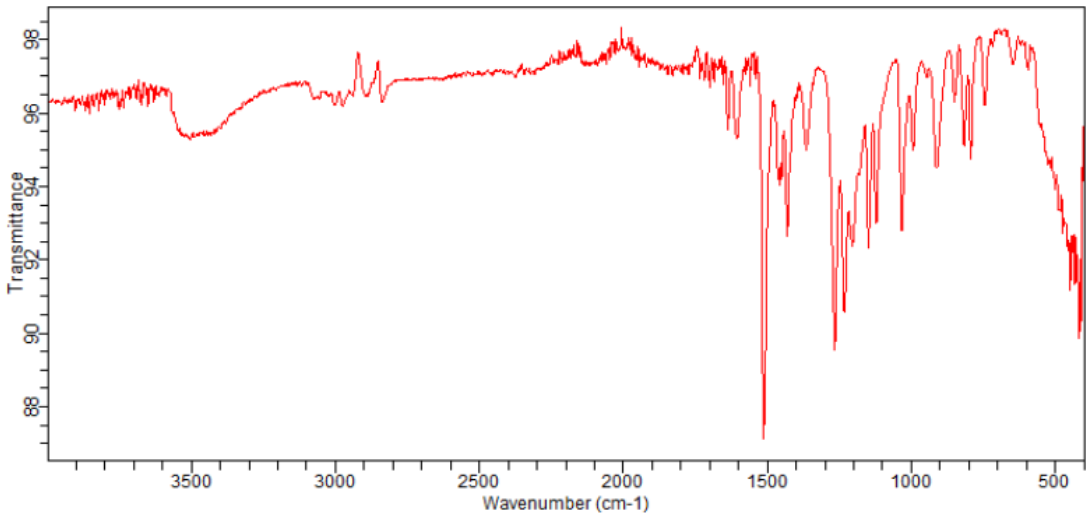
III.5. نتائج التحليل الطيفي FTIR:

تهدف هده الدراسة الطيفية إلى فهم طبيعة التفاعلات الكيميائية والروابط المتشكلة بين جزيئات مسحوق أكسيد الزنك وسائل الأوجينول، والتي تؤدي إلى تصلب المادة وتكوين المعقد المخلبي المعروف ب أوجينولات الزنك.

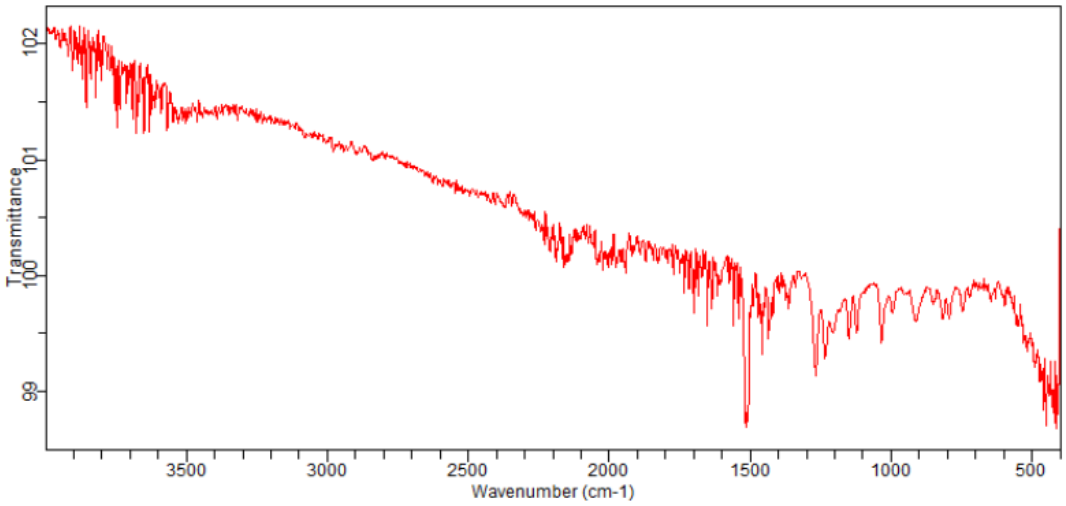
تم تسجيل الأطياف في النطاق الموجي الممتد من $400cm^{-1}$ إلى $500cm^{-1}$ باستخدام برنامجMicroLab، حيث تتيح لنا هده القمم الطيفية تتبع مدى اكتمال التفاعل أو تأثره بالمتغيرات المدروسة: نسبة الأوجينول (0.5g,0.3g,0.2g) وظروف درجة الحرارة (RT,100°C,0°C).

III.5.1. دراسة وتحليل أطياف المجموعة الأولى (عند درجة حرارة الغرفة) :

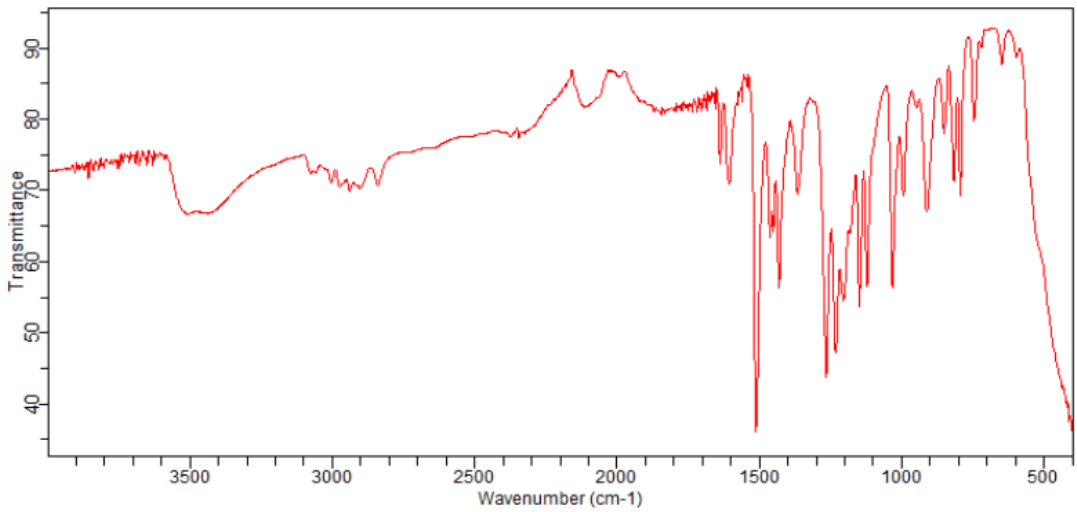
يمثل هذا القسم تحليل عينات أكسيد الزنك والأوجينول التي تركت في ظروف المختبر القياسية (المجموعة الشاهدة)، حيث يهدف الفحص الطيفي إلى تتبع أثر زيادة كمية الأوجينول على بنية وشبكة المادة المتصلبة كيميائيا.



الشكل رقم(11): التحليل الطيفي للعينة 0.2ml في درجة حرارة الغرفة



الشكل رقم(12): التحليل الطيفي للعينة 0.3ml عند درجة حرارة الغرفة



الشكل رقم(13): التحليل الطيفي للعينة 0.5ml عند درجة حرارة الغرفة

III . 1.1.5. تحليل نتائج المجموعة الأولى:

III.1.1.1.5 . العينة الأولى (0.2ml) أوجينول :

يظهر الطيف قمم امتصاص حادة ونموذجية جدا، خاصة القمة العميقة المستقرة عند النطاق الموجي القريب من $1500cm^{-1}$ والقمم الممتدة حتى $1000cm^{-1}$. هذا الوضوح العالي والحدة في القمم يشيران إلى حدوث تفاعل متوازن كيميائيا وتشكل بنية بلورية مستقرة، بالرغم من أن قياس الصلابة الميكانيكية سجل لها قيمة متوسطة بلغت 221.7HV في الظروف العادية نتيجة حاجة هذه النسبة البسيطة من السائل إلى عامل حراري محفز لبلوغ أقصى تماسك.

III.2.1.1.5. العينة الثانية (0.3ml) أوجينول:

نلاحظ في منحنى هذه العينة تغيرا كبيرا في السلوك الطيفي؛ حيث يظهر خط الإشارة العام مائلا ومتأثرا بظاهرة تشتت الخلفية، مع انخفاض نسبي في حدة ووضوح بعض القمم الوظيفية التقليدية مقارنة بالعينة الأولى كيميائيا وهيكليا، هذا الميل يعكس تفاعلا عالي الكثافة وتشابكا جزيئيا قويا جدا داخل المادة، وهو ما يفسر بدقة التميز الميكانيكي الشاد لهده العينة؛ حيث قفزت صلابتها يدويا وبشكل مفاجئ في درجة حرارة الغرفة لتسجل أعلى قيمة في مجموعتها الشاهدة بقدر 484.1HV. هذا يعني أن نسبة الخلط 0.3ml تمثل النسبة المثالية والحرجة للتفاعل الكامل تحت ظروف الغرفة الطبيعية.

III.3.1.1.5 .العينة الثالثة (0.5ml) أوجينول :

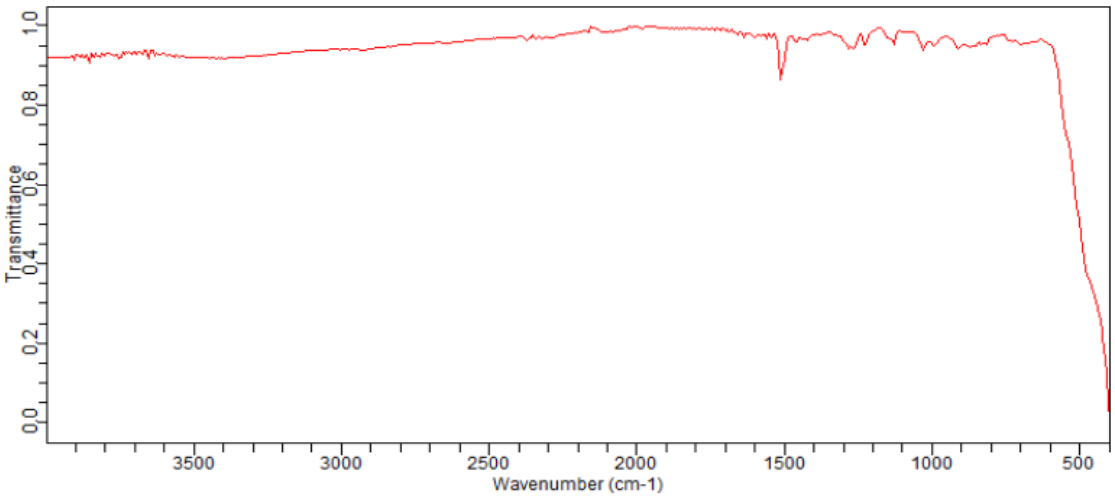
يعود منحنى النفاذية في هذا الطيف للاستقرار أفقيا، وتظهر القمم حادة وواضحة جدا، لكن مع اتساع ونزول ملحوظ في قمم معينة (مثل القمة القريبة من $1500\ cm^{-1}$ والتي تعود للرابطة العطرية، والمنطقة المحصورة بين $1000cm^{-1}$ - $1200cm^{-1}$). هذا الاتساع وتغير النفاذية يعودان إلى وجود فائض كبير من سائل الأوجينول غير متفاعل داخل البنية الجزيئية، هذا الفائض الكيميائي لعب دور المادة الملينة التي تفصل بين جزيئات أكسيد الزنك، مما يفسر بنيويا سبب الانهيار الميكانيكي الحاد لصلابة هذه العينة حيث سجلت أدنى قيمة لها عند 179.5 HV.

III.2.1.5 .استنتاج والمناقشة :

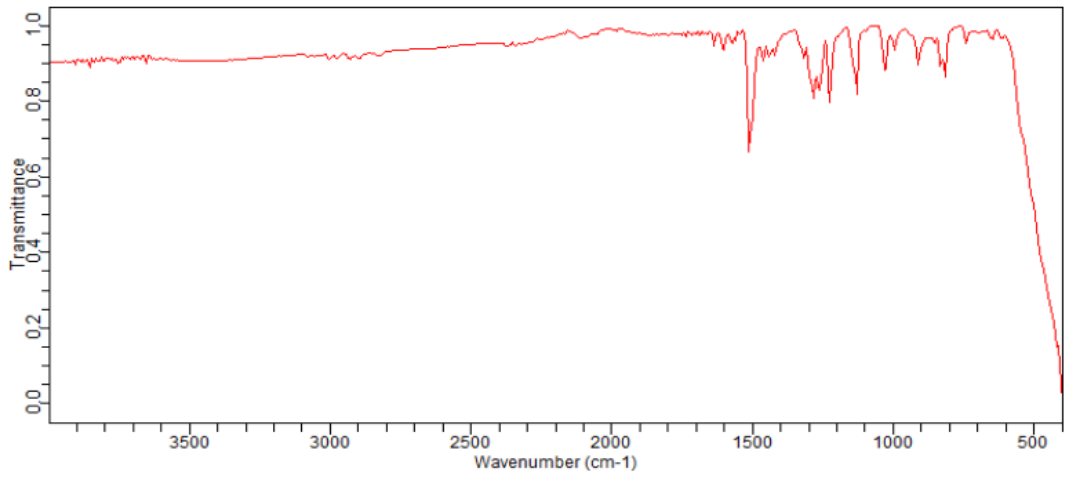
تؤكد نتائج التحليل الطيفي للمجموعة الأولى أن زيادة سائل الأوجينول عن حده المثالي (0.3ml في ظروف الغرفة العادية) لا تخدم تماسك المادة، بل تترك فائضا جزيئيا يضعف البنية الشبكية ميكانيكيا، مما يثبت التطابق التام بين المؤشرات الكيميائية والقياسات الفيزيائية التجريبية.

III.2.5. دراسة وتحليل نتائج أطياف المجموعة الثانية (عند 100°C) :

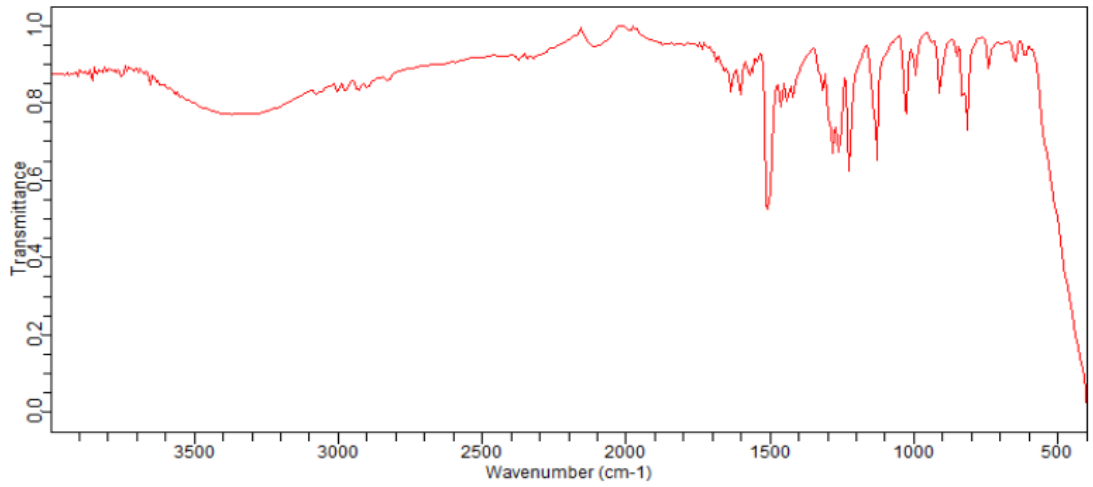
يهدف هذا القسم إلى دراسة تأثير درجة الحرارة المرتفعة (100° C لمدة ساعة) على الشبكة الجزيئية وطبيعة الروابط المتشكلة لخلطة أكسيد الزنك والأوجينول، ومقارنتها بالنتائج الميكانيكية المرافقة:



الشكل رقم(14): التحليل الطيفي للعينة 0.2ml عند 100°C



الشكل رقم(15): التحليل الطيفي للعينة 0.3ml عند 100°C



الشكل رقم(16): التحليل الطيفي للعينة 0.5ml عند 100°C

III.1.2.5. تحليل نتائج المجموعة الثانية عند 100°C :

III.1.1.2.5. العينة الأولى (0.2ml أوجينول عند 100°C) :

نلاحظ في طيف هذه العينة سلوكا فريدا؛ حيث يكاد خط الإشارة يكون مستويا مع اختفاء شبه تام لمعظم قمم الامتصاص التقليدية للأوجينول الحر، باستثناء قمة صغيرة وحادة جدا عند النطاق الموجي 1500 وانحدار شديد

في نهاية الطيف (عند منطقة اهتزاز روابطZn-O) كيميائيا، هذا التفلطح والاختفاء يعكسان اكتمالا تاما وسريعا للتفاعل الكيميائي؛ حيث حفزت الحرارة العالية الاستهلاك الكلي للمجموعات الوظيفية للأوجينول المتاح (0.2 mlفقط) ليدمج بالكامل في الشبكة البلورية لأكسيد الزنك وتكوين مركب مخلبي عالي التماسك والاستقرار. هذا التفسير البنيوي يترجم بدقة النتيجة الميكانيكية الشاده التي سجلها جهاز القياس، حيث قفزت صلابة هذه العينة لتسجل أعلى قيمة صلابة مطلقة في الدراسة بأكملها بقيمةHV 505.0.

III.2.1.2.5. العينة الثانية (0.3ml أوجينول عند 100°C) :

مع زيادة كمية الأوجينول إلى 0.3ml تحت نفس درجة الحرارة 100°C، تبدأ قمم الامتصاص الوظيفية المميزة للمادة في الظهور مجددا وبوضوح أكبر مقارنة بالعينة السابقة (خاصة القمم المحصورة بين $1500cm^{-1}$ و$800cm^{-1}$). هذا الظهور يعود إلى أن كمية السائل أصبحت تزيد قليلا عن حاجة التفاعل الفوري المحفز حراريا، مما ترك فائضا جزيئيا بسيطا بدأ يؤثر على تجانس

الشبكة الصلبة. هذا التغير الهيكلي يفسر ميكانيكيا الانخفاض الملحوظ في قيمة الصلابة مقارنة بالعينات الأخرى، حيث تراجعت من 505.0HV إلى 291.0HV.

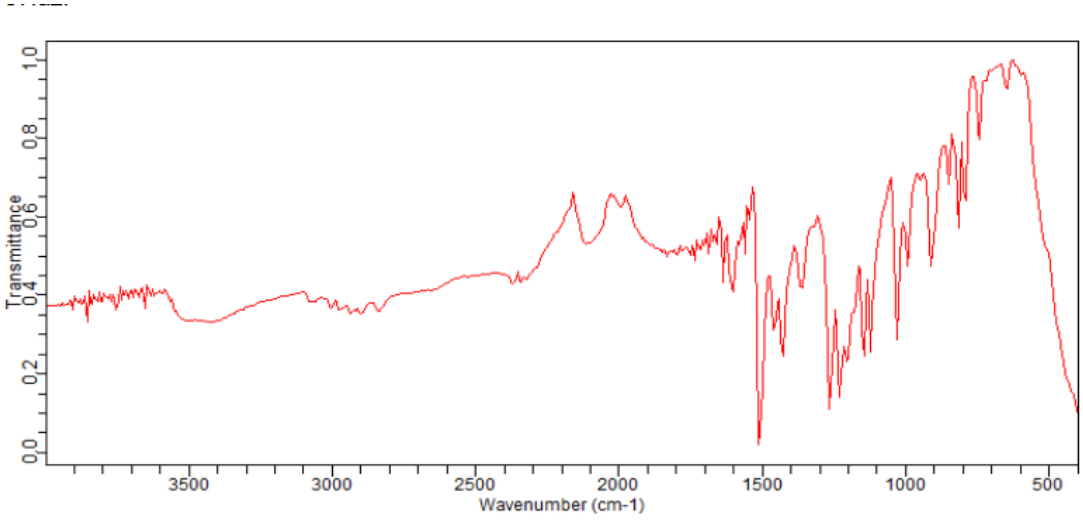
III.3.1.2.5. العينة الثالثة (0.5ml أوجينول عند 100°C) :

يظهر طيف هذه العينة عودة كاملة وحادة لجميع قمم الامتصاص النموذجية، بما في ذلك القمة العريضة لروابط الهيدروكسيل (OH-) المتواجدة في النطاق بين $3100cm^{-1}$-$3600cm^{-1}$، والقمم الحادة العميقة عند $1500cm^{-1}$. إن بقاء هذه القمم حادة وعميقة بالرغم من المعالجة الحرارية يثبت أن كمية الأوجينول الكبيرة 0.5ml تفوق بكثير قدرة استيعاب أكسيد الزنك، مما يترك وفرة من الأوجينول الحر غير المتفاعل داخل البنية الحجمية للمادة. هذا الفائض الكيميائي يمنع تشكل روابط شبكية قوية، مما يفسر بنيويا استمرار الانهيار الميكانيكي للمادة وسلوكها اللين، حيث سجلت قيمة صلابة منخفضة جدا بلغت 184.0HV.

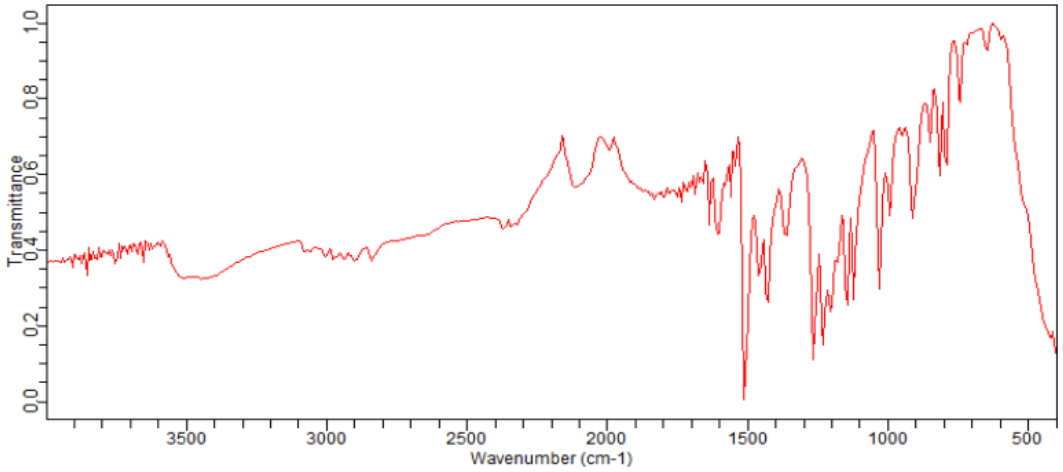
III.2.2.5. خلاصة مقارنة للمجموعة الثانية :

تثبت أطياف المجموعة الثانية أن الحرارة العالية (100° C) تعمل كعامل حفز مثالي لتسريع التصلب وزيادة المتانة الميكانيكية، بشرط أن تكون كمية السائل محدودة (0.2ml). أما عند النسب المرتفعة، فإن التأثير الحراري لا يمكنه التغلب على التأثير الملين للفائض الكيميائي غير المتفاعل.

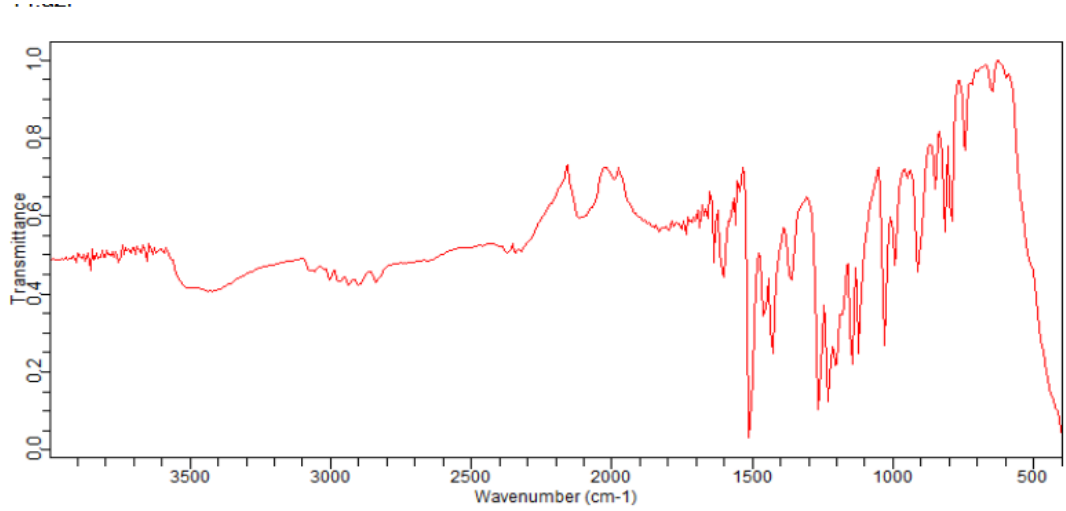
III. 3.5. دراسة تحليل الأطياف المجموعة الثالثة (عند 0°C):



الشكل رقم:(17) التحليل الطيفي للعينة 0.2ml عند 0°C



الشكل رقم(18): التحليل الطيفي للعينة 0.3ml عند 0°C



الشكل رقم:(19) التحليل الطيفي للعينة 0.5 ml عند 0°C

III.1.3.5. تحليل نتائج المجموعة الثالثة عند 0°C :

يهدف هدا القسم إلى تتبع الخصائص البنيوية والكيميائية تحت تأثير انخفاض درجة الحرارة 0°C لمدة ساعة في المبرد، لتفسير التراجع الميكانيكي لصلابة هده المجموعة:

III.1.1.3.5. العينة الأولى (0.2ml أوجينول عند 0°C) :

يظهر الطيف انخفاض ملحوظا في خط الإشارة العام ليتحرك عند مستويات نفاذية منخفضة (40%)، مع ظهور قمم امتصاص حادة ومتعددة في منطقة البصمة الجزيئية دون $1500cm^{-1}$.كيميائيا، تشير هده الكثافة في القمم إلى أن البرودة الشديدة تسببت في إبطاء الحركية الجزيئية، مما جعل التفاعل الكيميائي الأولى يبدأ دون أن يكتمل بكفاءة حرارية كاملة. وعلى الرغم من أن العينة احتفظت بصلابة جيدة نسبيا بلغت 480.0HV بفضل قلة كمية السائل المتاح، إلا أن بنية الشبكة بقيت تحت تأثير "التصلب المكبوت" بسبب غياب التحفيز الحراري.

III.2.1.3.5. العينة الثانية (0.3ml أوجينول عند 0°C) :

عند زيادة نسبة الأوجينول إلى 0.3ml، نلاحظ أن منحنى النفاذية يحافظ على قمم حادة وعميقة جدا، لاسيما القمة المفتاحية عند $1500cm^{-1}$ والقمم المتتالية من $1300cm^{-1}$-$800cm^{-1}$بنيويا، هدا العمق الحاد والواضح للقمم يعكس وجود روابط اهتزازية قوية ومجموعات وظيفية غير مستهلكة بالكامل. وبالمقارنة مع المجموعة الشاهدة التي حققت فيها نفس النسبة أعلى صلابة، نجد هنا تراجعا حادا في الصلابة لتسجيل 219.0HV؛ مما يثبت أن بيئة التبريد منعت العينة من الوصول إلى نقطة التفاعل المثالية، وتركت أجزاء من المادة دون تشابك مخلبي كامل.

III.3.1.3.5. العينة الثالثة (0.5ml أوجينول عند 0°C) :

يظهر طيف هده العينة قمم امتصاص عريضة في منطقة الهيدروكسيل المعقدة وعمقا كبيرا في كافة قمم الأوجينول الحرة العطرية، هدا السلوك يمثل حالة الجمع بين عاملين سلبيين: وفرة مفرطة من السائل الكيميائي (0.5ml) مضافا إليها بيئة تبريد تبطئ التفاعل. تسبب هدا المزيج في تشتيت جزيئات أكسيد الزنك ومنع تكتلها، ليلعب

الفائض السائل دورا تليينيا تاما يفصل بين السلاسل المتشكلة. هدا العينة لأدنى قيمة صلابة في الدراسة على الإطلاق بقيمة 170.0HV.

III.2.3.5. الاستنتاج والمناقشة :

بمقارنة المجموعات الثلاث، يتضح كيميائيا وميكانيكيا أن مادة أكسيد الزنك والأوجينول تتطلب توازنا دقيقا؛ فالنسب المنخفضة من السائل 0.2ml تفضل البيئات الحرارية المرتفعة(100° C) لتحقيق أقصى تصلب كيميائي وصلابة ميكانيكية، بينما تؤدي البيئات الباردة (0° C) أو زيادة نسب السائل الزائد إلى عرقلة اكتمال الروابط المتماسكة، مما يؤدي مباشرة إلى اضمحلال متانة المادة.

III.6. الخلاصة :

بناء على النتائج التجريبية المتحصل عليها من خلال الفحوصات الميكانيكية (اختبار الصلابة الميكروويةHV) والتحاليل الطيفية (FTIR) لمركب أكسيد الزنك والأوجينول (ZnO-Eugenol)، يمكننا استخلاص أن الخصائص النهائية للمادة لا تعتمد على عامل واحد، بل هي نتيجة تكامل وثيق بين نسب الخلط والظروف البيئية الحرارية المحيطة.

أثبتت الدراسة أن زيادة نسبة الأوجينول تؤدي حتما إلى إضعاف البنية الميكانيكية للمادة نتيجة تشكل فائض كيميائي غير متفاعل يعمل كمادة ملينة. وفي المقابل، ظهر أن درجة الحرارة المرتفعة(100° C) تمثل عامل تحفيز مثالي لتسريع الروابط الكيميائية ورفع الصلابة إلى دروتها بشرط ضبط كمية السائل، بينما تعمل بيئات التبريد(0° C) على كبح الحركية الجزيئية ومنع اكتمال الشبكة البلورية الصلبة. هدا التوافق التام بين النتائج الميكانيكية والطيفية يوفر رؤية دقيقة حول كيفية التحكم في استقرار المادة وكفاءتها الاستخدامية.

الخلاصة العامة:

تندرج هذه المذكرة في إطار دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمواد المستعملة في مجال طب الأسنان، وتحديدا مادة أكسيد الزنك والأوجينول (ZnO-Eugenol) ذات الاستخدام الواسع في طب الأسنان. وقد سمح لنا هذا البحث بالربط بين المفاهيم النظرية لفيزياء المواد والروابط الكيميائية وبين السلوك الميكانيكي التجريبي للمادة تحت تأثير متغيرات هيكلية وحرارية مختلفة.

ومن خلال المسار البحثي والتجريبي المتبع، توصلنا إلى النتائج المحورية التالية:

1. المحدد الكيميائي للصلابة: إن الخواص الميكانيكية للمادة (كالصلابة) محكومة بشكل مباشر بمدى اكتمال التفاعل التشابكي لتكوين معقد "أوجينولات الزنك"، وهو ما أكدته أطياف FTIR من خلال التغير في حدة وعمق القمم الوظيفية للروابط.
2. مثالية نسب الخلط: أظهرت الدراسة أن النسبة الحرجة والمثالية في الطروف العادية للمختبر هي 0.3ml من الأوجينول، بينما تترك النسب المرتفعة 0.5ml وفرة جزيئية حرة تضعف المتانة الهيكلية للمادة.
3. الحساسية الحرارية: تمتلك المادة حساسية بالغة لدرجات الحرارة؛ حيث تساهم الطاقة الحرارية العالية في تحفيز الاستهلاك الكلي للمجموعات الوظيفية وإنتاج بنية صلبة للغاية تتفوق على المجموعة الشاهدة، على عكس بيئات التبريد التي تؤدي إلى جمود جزئي نسبي.

✍ آفاق البحث المستقبلي:

فتحت هذه الدراسة آفاقاً جديدة يمكن تطويرها مستقبلاً من خلال:

- ✓ دراسة تأثير الأشعة السينية أو التغيرات الإشعاعية على استقرار هذه الروابط الكيميائية، نظراً لاهتمام تخصص الفيزياء الطبية بجرعات الإشعاع المحيطة بالمريض.
- ✓ اختبار سلوك المادة الميكانيكي داخل أوساط تحاكي تماماً حموضة ولزوجة اللعاب البشري (in-vitro) عند درجات حرارة الجسم الطبيعية (37°C).
- ✓ دراسة إمكانية تحسين الخصائص الميكانيكية والكيميائية للمادة من خلال تدعيمها بمواد مضافة أو جزيئات نانوية (مثل : نانو أكسيد الزنك ZnO-NPs، أو أنابيب الكربون النانوية CNTs)،ومراقبة مدى استقرار روابط ال FTIR وقيم الصلابة الميكروية بعد التدعيم.

المراجع:

1 .U.S. Food and Drug Administration. (N.d.). Dental amalgam fillings. FDA.gov. Retrieved May 2, 2026. https://www.fda.gov

2 .Turkey Care. (n.d.). Zirconia dental implants. Retrieved May 2, 2026. https://turkey-care.com/zirconia-dental-implants

3 .U.S. Food and Drug Administration. (n.d.). Dental amalgam fillings. Retrieved May 2, 2026. https://www.fda.gov

4 .Autora Dental. (n.d.). Titanium dental implants. Retrieved May 2, 2026. https://autora-dental.com

5 .Medicover Hospitals. (n.d.). Dental materials overview. Retrieved May 2, 2026. https://www.medicoverhospitals.in

6 .U.S. Food and Drug Administration. (n.d.). Dental materials safety. Retrieved May 2, 2026. https://www.fda.gov

7 .ResearchGate. (n.d.). Dental biomaterials review. Retrieved May 2, 2026. https://www.researchgate.net

8 .AlQalam Journal of Medical and Applied Sciences. (n.d.). Dental materials in restorative dentistry. https://journal.utripoli.edu.ly

9 .Bimaristan. (n.d.). Dental restorative materials. Retrieved May 2, 2026. https://bi-maristan.com

10 .ScienceDirect. (n.d.). Dental composite materials overview. Retrieved May 2, 2026. https://www.sciencedirect.com

11 .Kintek Solution for Researching. (n.d.). Dental materials and zirconia properties. Retrieved May 2, 2026. https://ar.kindle-tech.com

12 .Gold Market. (n.d.). Dental gold alloys and composition. Retrieved May 2, 2026. https://www.goldmarket.fr

13 .ScienceDirect. (N.d.). Zinc oxide eugenol cement applications. Retrieved May 2, 2026. https://www.sciencedirect.com

14 .New Century Dental Materials. (n.d.). Zinc oxide eugenol cement uses. Retrieved May 2, 2026. https://ar.snd-dental.net

15 .Medicover Hospitals. (2018, October). Glass ionomer cement (GIC) filling. Retrieved May 2, 2026. https://www.medicoverhospitals.in

16 .Kintek Solution for Researching. (N.d.). Dental porcelain composition. Retrieved May 2, 2026. https://ar.kindle-tech.com

17 .ResearchGate. (n.d.). Dental resin composites literature review. Retrieved May 2, 2026. https://www.researchgate.net

18 .Alsharif, S., Alhareb, A., & Abudalazez, A. (2024). Components of dental resin composites. AlQalam Journal of Medical and Applied Sciences, 7(3), 427–440. https://doi.org/10.54361/ajmas.247301

19 .Bimaristan. (n.d.). Restorative dental fillings. Retrieved May 2, 2026. https://bi-maristan.com

20 .ResearchGate. (n.d.). Components of dental resin composites: A literature review. Retrieved May 2, 2026. https://www.researchgate.net

21 .Medicover Hospitals. (2018, October). GIC dental filling. Retrieved May 2, 2026. https://www.medicoverhospitals.in/articles/gic-dental-filling

22 .ScienceDirect. (n.d.). Zinc oxide eugenol cement. Retrieved May 2, 2026. https://www.sciencedirect.com

23 .New Century Dental Materials. (n.d.). Liquid zinc and eugenol cement: Dental applications. Retrieved May 2, 2026. https://ar.snd-dental.net

24 .Kintek Solution for Researching. (n.d.). What is the process of zirconium production? Retrieved May 2, 2026. https://ar.kindle-tech.com

25 .Kintek Solution for Researching. (n.d.). What are the components of dental porcelain? Retrieved May 2, 2026. https://ar.kindle-tech.com

26 .Gold Market. (N.d.) هل الذهب المستخدم في صناعة الأسنان نقي أم خليط؟Retrieved May 2, 2026. https://www.goldmarket.fr .

27 .ScienceDirect. (n.d.). Research article on dental materials. Retrieved May 2, 2026. https://www.sciencedirect.com

28 .Bimaristan. (n.d.). Dentistry: restorative composite fillings. Retrieved May 2, 2026. https://bi-maristan.com

29. ResearchGate. (n.d.). Components of dental resin composites: A literature review. Retrieved May 2, 2026. https://www.researchgate.net

الملخص :

اعتمدت المنهجية المتبعة في هذا العمل على المنهج الوصفي التحليلي والمقارن؛ حيث جرى تحضير ثلاث مجموعات تجريبية بِنسب خلط كتلية متباينة من سائل الأوجينول (0.2ml,0.3ml,0.5ml)، أُخضِعَتْ بعدها لمعالجات حرارية مختلفة شملت: درجة حرارة الغرفة (باعتبارها مجموعة شاهدة للمقارنة)، ودرجة حرارة مرتفعة عند 100°C، بالإضافة إلى بيئة منخفضة الحرارة بالتبريد عند (0°C) لزمن قدره ساعة كاملة. ولتتبع التغيرات الهيكلية والمجموعات الوظيفية للروابط الكيميائية، استُخدِمَتْ تقنية مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR)، في حين جرى تقييم الكفاءة الميكانيكية للبنية الناتجة عن طريق اختبار الصلابة الميكروية فيكرز (Hardness – HV).

وقد أسفرت النتائج التجريبية عن توافق وتكامل وثيقين بين التحليل الطيفي والسلوك الميكانيكي للمادة؛ إذ تبين أن درجة الحرارة المرتفعة (100°C) تعمل كعامل تحفيز مثالي لتسريع التفاعل المخلبي والاستهلاك الشامل للمجموعات الوظيفية للأوجينول عند النسبة المنخفضة (0.2ml)، وهو ما أدى مباشرة إلى تحقيق أعلى قيمة صلابة مطلقة في هذه الدراسة بلغت 505.0HV. في المقابل، سجلت بيئة التبريد (0°C)، وكذا زيادة نسب سائل الأوجينول (0.5ml)، تراجعاً حاداً في المتانة الهيكلية وقيم الصلابة؛ ويعزى ذلك بنيوياً إلى كبح الحركية الجزيئية بفعل البرودة، وبقاء وفرة من الأوجينول الحر غير المتفاعل الذي لعب دوراً تليينياً أضعف تماسك الشبكة الجزيئية.؟

Abstract:

The methodology adopted in this work relies on a descriptive, analytical, and comparative approach. Three experimental groups were prepared with varying mass mixing ratios of eugenol liquid (0.2 ml, 0.3 ml, and 0.5 ml). These groups were subsequently subjected to different thermal treatments, including: room temperature (serving as a control group for comparison), an elevated temperature of 100°C, and a low-temperature environment via cooling at 0°C for a duration of one full hour. To monitor structural changes and functional groups of chemical bonds, Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) was utilized, while the mechanical efficiency of the resulting structure was evaluated using the .Vickers microhardness test (Hardness – HV)

The experimental results revealed a close correlation and integration between the spectroscopic analysis and the mechanical behavior of the material. It was found that the elevated temperature (100°C) acts as an

ideal catalyst, accelerating the chelation reaction and leading to the comprehensive consumption of eugenol functional groups at the lowest ratio (0.2 ml). This directly resulted in achieving the highest absolute hardness value in this study, reaching 505.0 HV. Conversely, the cooling environment (0°C), as well as the increased ratios of eugenol liquid (0.5 ml), recorded a sharp decline in structural durability and hardness values. Structurally, this is attributed to the suppression of molecular kinetics caused by the cold, and the persistence of an abundance of free, unreacted eugenol, which exerted a plasticizing effect that weakened the cohesion of the molecular network

Résumé :

La méthodologie adoptée dans ce travail repose sur une approche descriptive, analytique et comparative. Trois groupes expérimentaux ont été préparés avec des rapports de mélange massique variables d'eugénol liquide (0,2 ml, 0,3 ml et 0,5 ml). Ces groupes ont ensuite été soumis à différents traitements thermiques comprenant : la température ambiante (comme groupe témoin pour comparaison), une température élevée à 100°C, ainsi qu'un environnement à basse température par refroidissement à 0°C pendant une heure complète. Pour suivre les modifications structurales et les groupes fonctionnels des liaisons chimiques, la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) a été utilisée, tandis que l'efficacité mécanique de la structure résultante a .été évaluée par le test de micro dureté Vickers (Hardness – HV)

Les résultats expérimentaux ont révélé une corrélation et une complémentarité étroites entre l'analyse spectroscopique et le comportement mécanique du matériau. Il s'est avéré que la température

Élevée (100°C) agit comme un catalyseur idéal pour accélérer la réaction de chélation et la consommation totale des groupes fonctionnels de l'eugénol au rapport le plus faible (0,2 ml), ce qui a directement conduit à l'obtention de la valeur de dureté absolue la plus élevée de cette étude, atteignant 505,0 HV. En revanche, l'environnement de refroidissement (0°C), ainsi que l'augmentation des proportions d'eugénol liquide (0,5 ml), ont enregistré une baisse flagrante de la durabilité structurale et des valeurs de dureté. Sur le plan structural, cela est attribué à l'inhibition de la cinétique moléculaire sous l'effet du froid, et à la persistance d'une abondance d'eugénol libre non réagi, qui a joué un rôle plastifiant ayant .affaibli la cohésion du réseau moléculaire