



الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية طب الأسنان

قسم تعويضات الأسنان الثابتة

تأثير تكرار الخزف في التَّغْيِير اللَّوْنِي
لنوعين من أنظمة الخزف الكامل
(دراسة مخبرية)

**The effect of repeated firing on the colour change
of two all-ceramic systems
(In-vitro study)**

أطروحة قدمت إلى جامعة دمشق لنيل درجة الماجستير
في اختصاص تعويضات الأسنان الثابتة

إعداد الباحث

معاذ محمود الحوراني

إشراف المدرس الدكتور

عصام جاموس

1437هـ/2016 م

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا ﴾

سورة طه

الآية 114

تصريح

"لا يُوجد أي جزءٍ من هذه الأطروحة تمَّ أخذهُ بالكامل من عملٍ آخر أو

أنجز للحصول على شهادةٍ أخرى في هذه الجامعة أو في أي جامعةٍ

أخرى أو أيّ معهدٍ تعليميٍّ"

الإهداء

إلى عطاءٍ بلا حدود ، إلى من تعلّمت منه الحياة وأمدّني بالعزيمة والإصرار ...

أبي.....

إلى من أنارت بدعواتها ظلمات دربي، إلى ينبوع المحبة ورمز العطاء ...

أمّي

إلى من أكبر فيهم ، إلى سندي وعوني في الحياة ...

إخوتي وأخواتي

الشكر

بعد الحمد والشكر لله الذي أعانني على إتمام هذا البحث، لا يسعني إلا أن أتقدم بفائق الشكر والاحترام لأولئك الذين كانوا مشاعل نور اهتدينا بها في طريق العلم لنتخطى الصعاب ونقف واثقي الخطأ...

أبدأ بالشكر الجزيل والاحترام والتقدير لأستاذي المشرف **المدرس الدكتور عصام جاموس** الأستاذ في قسم التعويضات الثابتة في كلية طب الأسنان بجامعة دمشق الذي تفضل بالإشراف على هذه الرسالة، ولم يدخر جهداً في متابعتي ، فجزاه الله عني كل خير...

وأتوجه بفائق الشكر والاحترام للأستاذ **الدكتور عمر العادل** الأستاذ في قسم التعويضات الثابتة في كلية طب الأسنان بجامعة دمشق لتفضله بقبول تحكيم هذه الدراسة والذي كان له فضل كبير في إنجاز هذا البحث...
والشكر الجزيل للأستاذ **الدكتور مهند السعدي** الأستاذ المساعد في قسم تعويضات الأسنان المتحركة في كلية طب الأسنان بجامعة دمشق على تفضله بقبول تحكيم هذه الرسالة...

وأتقدم بالشكر الجزيل لأساتذة قسم التعويضات الثابتة لجهدهم المبذول ونصائحهم التي سددت خطانا ...
كما أتقدم بالشكر الجزيل لزملائي طلاب الدراسات العليا في قسم تعويضات الأسنان الثابتة الذين شاركوني أجمل أيام حياتي الجامعية، وأخص بالذكر الأخ والصديق **د.سامي بسيسو** الذي كان لي خير معين...

والشكر الجزيل لأخي وصديقي المخبري **حسان أسامي** لمساعدته في إنجاز العمل المخبري...

وأتقدم بالشكر للأستاذ عبد الرحمن نجيب الذي قام بإنجاز الدراسة الإحصائية...

كل الشكر لإدارة كلية طب الأسنان وموظفيها ...

المقدمة

Introduction

يمتاز الخزف السني بمواصفاتٍ تجميليةٍ عاليةٍ جعلته من أكثر المواد استخداماً في تعويضات الأسنان الثابتة على الرغم من ضعف خواصه الميكانيكية (Miyazaki et al., 2009)، ومع التطور الكبير الذي يشهده طب الأسنان عموماً والمواد السنية خصوصاً فقد حظيت الترميمات الخزفية الخالية من المعدن بمكانةٍ عاليةٍ في طب الأسنان التجميلي بفضل ما تقدمه هذه المواد من خواصٍ بصريةٍ ممتازةٍ تتشابه إلى حدٍ كبيرٍ مع الأسنان الطبيعية عدا عن التحسن الكبير الذي طرأ على خواصها الميكانيكية (Powers and Wataha, 2014)، حيث يعدّ الانسجام اللوني بين التعويض الخزفي والأسنان المجاورة من أهمّ متطلبات النجاح السريري (Ozturk et al., 2008).

يعتمد النجاح طويل الأمد للتعويضات الخزفية على عدّة عوامل، من أهمّها ثباتها اللوني وانسجامها مع الأسنان المجاورة، حيث يُعدّ سوء الانسجام اللوني بين التعويض الخزفي والأسنان الطبيعية المجاورة من أبرز المشاكل السريرية الشائعة التي قد تضطرّ طبيب الأسنان إلى تغيير التعويضات الخزفية القديمة واستبدالها بأخرى جديدة (Pires-de et al., 2009).

تلعب الخواص البصرية للمادة الخزفية دوراً هاماً للحصول على الانسجام اللوني المطلوب بين التعويض الخزفي والأسنان الطبيعية المجاورة، ويعتمد اللون النهائي للتعويضات الخزفية الخالية من المعدن على ثلاثة عواملٍ أساسيةٍ هي لون الدعامات بعد التحضير، ولون إسمنت الإلصاق المستخدم، بالإضافة إلى لون وظلاية المادة الخزفية المستخدمة (O'Brien et al., 1991).

ويتأثر اللون النهائي للتعويض الخزفي بالعديد من العوامل خلال مراحل التصنيع، من أهمّها نوع الخزف المستخدم (Seghi et al., 1986) وثخائنه (Jorgenson and Goodkind, 1979)، نعومة السطح (Yilmaz and Özkan, 2010)، درجة الحرارة المستخدمة للخبز (O'Brien et al., 1991)، وعدد دورات الخبز (Uludag et al., 2007 , Ozturk et al., 2008, Al-Dwairi et al., 2013).

لم تتناول الكثير من الدراسات كيفية تأثير إجراءات التصنيع المخبرية مثل عدد مرّات الحَبز في اللون النهائي للترميمات الخزفية الخالية من المعدن كالخزف المعتمد على الزيركونيا والخزف الزجاجي المقوى ببلورات ثنائي سيليكات الليثيوم IPS e.max press، ولذلك كان لا بدّ من الاستفاضة والبحث حول هذا الموضوع ومن هنا كانت فكرة هذه الدراسة.

هدف البحث Aim of study

يهدف هذا البحث إلى :

1. دراسة تأثير عدد دورات الخبز (2-4-6 مرّات) في تغيّر اللون النهائي للتّعويضات الخزفية الخالية من المعدن المصنّعة بتقنية الحقن الحراريّ باستخدام خزف IPS e.max press ذو الظلالية المتوسطة (MO1) والمغطى بخزف IPS e.max Ceram .
2. دراسة تأثير عدد دورات الخبز (2-4-6 مرّات) في تغيّر اللون النهائي للتّعويضات الخزفية الخالية من المعدن والمصنّعة بتقنية التصميم والتصنيع الحاسوبي CAD/CAM باستخدام بلوكات الزيركونيا (DD Bio ZW) من شركة (Dental Direct) والمغطاة بخزف IPS e.max Ceram .
3. مقارنة التّغيرات اللونية التي قد تحصل بعد تكرار الخبز لنظاميّ الخزف المستخدمين.

الباب الأول

المراجعة النظرية

Literature Review

1-1: الخزف السني Dental Ceramic

يُعرّف الخزف بأنه مركب يتكون من عنصر معدنيّ أو أكثر مع عنصر غير معدنيّ هو الأكسجين عادةً. ويتألف الخزف من مواد قاسية قصفة، مستقرة كيميائياً وحيوياً، وغير ناقلة للحرارة والكهرباء. أما الخزف السني فهو مركب غير عضويّ، يتألف من الأكسجين مع عناصر معدنية مثل الألمنيوم والكالسيوم والليثيوم والمغنيزيوم والزيرونيوم وغيرها، أو عناصر نصف معدنية مثل السيليسيوم.

(Powers and Wataha, 2014)

1-1-1: التركيب الكيميائي للخزف السني Chemical Composition of Dental Ceramic

يتألف الخزف السني التقليدي من مسحوق وسائل: (Anusavice et al., 2013)

❖ **المسحوق:** يتكون من المركبات الطبيعية أو الصناعية الرئيسية التالية:

1. **الفلدسبار:** وهو سيلكات الألمنيوم البوتاسي ($K_2O.6Al_2O_3.6SiO_2$) ويعتبر المكون الأساسي للخزف السني حيث تبلغ نسبته (70-80%). يبدأ الفلدسبار بالانصهار عند درجة حرارة تبلغ 1150°م متحولاً إلى بلورات اللوسيت ($K_2O.Al_2O_3.4SiO_2$)، وغالباً ما تضاف بلورات اللوسيت للخزف السني لتكسبه المقاومة والمتانة.

2. **الكوارتز (السليكا):** وهو أكسيد السيليسيوم (SiO_2) ويشكل حوالي (10-20%) من تركيب الخزف السني، يملك مدى انصهار مرتفع (1400-1600°م) ولذلك يبقى ثابتاً خلال الخبز محافظاً على شكله البلوري مما يكسب الخزف المقاومة والقساوة أثناء خبزه.

3. **مادة الصلصال (الكاؤولين):** وهي سيلكات الألمنيوم ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$) وتشكل نسبة (1-10%) من تركيب الخزف السني، وتعطي الخزف ظلالته كما تقوم بدور المادة الرابطة بين ذرات المسحوق،

فعند مزجها بالماء نحصل على خليط متماسك قابل للتشكيل، إلا أن أغلب المنتجات الحديثة للخزف السني تخلو من الكاؤولين وتستخدم النشاء والسكر ليقوما بدور المادة الرابطة.

4. **معدلات الزجاج (المسيلات أو المواد الصاهرة):** مثل فوسفات البوتاسيوم K_3PO_4 أو كربونات البوتاسيوم

K_2CO_3 أو كربونات الصوديوم Na_2CO_3 ، تشكل نسبة (10-20 %) وتعمل على خفض درجة حرارة الانصهار وزيادة عامل التمدد الحراري.

5. **الألومينا:** تتوزع ضمن الشبكة الزجاجية وهي تعطي الخزف المقاومة والظلالية كما أنها تعدل درجة الانصهار وتزيد من لزوجة الخزف أثناء خبزه.

ويضاف للمجموع ملونات تتكون من أكاسيد معدنية للحصول على ألوان خاصة للخزف.

❖ **السائل:** هو ماء مقطر يضاف إليه قليل من المواد العضوية كالنشاء أو الغليسرين ليسهل تشكيل وتكثيف المادة الخزفية وذلك بإضافة قوام شبه عجيني للمسحوق.

2-1-1: تصنيف الخزف السني Classification of Dental Ceramic

يمكن تصنيف الخزف وفق معايير متعددة أهمها:

1-2-1-1: تصنيف الخزف وفق درجة الانصهار: (Kina and Bruguera, 2008)

1. خزف ذو درجة انصهار عالية high melting ($1290^{\circ}C - 1370^{\circ}C$).
2. خزف ذو درجة انصهار متوسطة medium melting ($1090^{\circ}C - 1260^{\circ}C$).
3. خزف ذو درجة انصهار منخفضة low melting ($870^{\circ}C - 1070^{\circ}C$).
4. خزف ذو درجة انصهار منخفضة جداً ultra-low melting ($650^{\circ}C - 850^{\circ}C$).

1-1-2-2: تصنيف الخزف حسب البنية المجهرية:

يمكن تصنيف الخزف حسب البنية المجهرية بالاعتماد على نسبة التركيب الزجاجي- البلوري إلى أربع فئاتٍ أساسية: (McLaren and Cao, 2009)

الفئة الأولى: أنظمة الخزف الزجاجي (السليكا بصورة أساسية):

تتكون بشكلٍ أساسي من أكسيد السيليسيوم (SiO_2) المعروف باسم السيليكا أو الكوارتز، ويحوي كمياتٍ متفاوتة من الألومينا. استخدمت بدايةً لصناعة أسنان الأجهزة المتحركة، ثم استخدمت كخزفٍ مغطٍ لأنظمة (In-Ceram)، كما تم تصنيعها بشكل بلوكاتٍ خزفيةٍ لتستخدم بتقنية التصميم والتصنيع الحاسوبي CAD/CAM مثل بلوكات (Vident) vitablocks mark II التي تستخدم مع نظام CEREC (Sirona Dental Systems, Charlotte, NC).

الفئة الثانية: أنظمة الخزف الزجاجي (السليكا بصورة أساسية) مع مواد مائئة بلورية:

تتكون بشكلٍ أساسي من السيليكا أو الكوارتز مع مواد مائئة بلورية (بلورات اللوسيت أو بلورات ثنائي سيليكات الليثيوم)، ويمكن تقسيم هذا النمط من الخزف إلى 3 مجموعاتٍ فرعيةٍ أخرى بحسب حجم ونوع الطور البلوري:

1. خزف زجاجي فلدسباري ذو محتوى منخفضٍ إلى متوسطٍ من بلورات اللوسيت:

وهو الخزف المعروف اصطلاحاً باسم الخزف الفلدسباري.

2. خزف زجاجي عالي المحتوى من بلورات اللوسيت (تقريباً 50% حجماً)

مثل خزف (IPS Empress1) الذي يصنع بتقنية الحقن الحراري heat-pressing.

3. خزف زجاجي مقوى ببلورات ثنائي سيليكات الليثيوم:

ويصنع بتقنية الحقن الحراري مثل خزف (IPS Empress2) وخزف (IPS e.max press)، أو بتقنية التصميم والتصنيع الحاسوبي CAD/CAM مثل خزف (IPS e.max CAD).

الفئة الثالثة: أنظمة الخزف البلوري (عادة الألومينا) مع مواد مائنة زجاجية :

أو أنظمة السيراميك المرتشح بالزجاج Glass-infiltrated ceramic وتعرف باسم (In-Ceram)، وهي 3 أنظمة خزفية قدمتها شركة VITA كبديل عن التعويضات الخزفية المعدنية التقليدية وقد لاقت نجاحاً سريراً كبيراً، ويتم تصنيعها مخبرياً إما بتقنية المعلق slip casting ، أو بتقنية التصميم والتصنيع الحاسوبي CAD/CAM. تمتلك أنظمة (In-Ceram) بنيةً مجهريةً متعددة الأطوار ذات هيكل بلوريٍّ مساميٍّ ضعيفٍ يتم تشريبه بزجاج اللانثانيوم السائل في درجات حرارةٍ عاليةٍ لتنتج بنيةً صلبةً ومتينةً :

1. نظام In-Ceram Alumina :

يتكون الهيكل من مسحوق أوكسيد الألومنيوم Al_2O_3 بنسبة 70%، يتم تشريبه بزجاج اللانثانيوم المصهور بنسبة 30%، ويؤدي نتائج تجميليةً وميكانيكيةً جيدةً مما يمكن استخدامه كتيجانٍ وجسورٍ ثلاثية الوحدات للتعويض عن الأسنان الأمامية والخلفية (Haselton et al., 2000).

2. نظام In-Ceram Spinell :

يتكون الهيكل من الألومينا والمغنيزيوم ($Mg.AL_2O_3$) ويمتاز بشفافيةٍ عاليةٍ جداً بفضل احتوائه على المغنيزيوم، حيث تبلغ شفافية هذا النظام ضعفي شفافية الجيل الأول (Heffernan et al., 2002b)، ولكن خواصه الميكانيكية الضعيفة حددت استطبائاته بالتيجان المفردة الأمامية فقط.

3. نظام In-Ceram Zirconia :

يتكون الهيكل من الألومينا بنسبة 67% والزيروكونيا بنسبة 33%، ويمتاز بمتانةٍ ومقاومةٍ عاليةٍ إلا أنه ذو ظلاليةٍ عاليةٍ جداً فتحدت استطبائاته بالتيجان والجسور ثلاثية الوحدات في المنطقة الخلفية فقط.

الفئة الرابعة: أنظمة الخزف الصلب متعددة البلورات (الألومينا والزيروكونيا):

تتكون من قالب بلوريٍّ من الزيروكونيا النقية مثل نظام DC-Zircon، أو من الألومينا النقية مثل نظام Procera(Nobel Biocare) وبدون طور زجاجيٍّ.

1-1-2-3: تصنيف الخزف بالاعتماد على تقنية التصنيع (Rosenstiel, 2006):

يمكن صناعة أنظمة الخزف الكامل بطرقٍ متنوعةٍ يمكن تصنيفها كما يلي:

1. تقنية مسحوق / سائل:

وتتم باستخدام الفرشاة إما بطريقة التكتيف التقليدية condensation المستخدمة لتغطية الهياكل المعدنية أو الخزفية، أو بطريقة المعلق slip casting المستخدمة مع أنظمة In-Ceram والتي تعتمد على تطبيق المزيج الخزفي على مثالٍ مقاومٍ للحرارة refractory die ثم يتم التلييد Sintering بدرجة حرارة تبلغ 1120° م لمدة 10 ساعات، فينتج هيكلٌ بلوريٌّ مساميٌّ يتم تشريبه بزجاج اللانثانيوم السائل بدرجة حرارة تبلغ 1100° م لمدة 4 ساعات.

2. تقنية التصميم والتصنيع الحاسوبي CAD/CAM:

وهي اختصارٌ لمصطلح (Computer-Aided Design/ Computer-Aided Manufacturing)

أي (التصميم بمساعدة الحاسوب/التصنيع بمساعدة الحاسوب)، وتعتمد هذه التقنية على ثلاث مراحل:

- مرحلة المسح: لإجراء نسخة رقمية ثلاثية الأبعاد للأسنان المحضرة ليتم تصميم التعويض عليها.
- مرحلة التصميم CAD: لتصميم التعويض باستخدام برنامج التصميم الحاسوبي المرفق بالنظام.
- مرحلة التصنيع CAM: لصنع التعويض المطلوب باستخدام جهازٍ خاصٍ متعدد المحاور.

3. تقنية الحقن الحراري heat –pressing :

تتم باستخدام تقنية الشمع الضائع lost-wax technique، حيث يستخدم فرنٌ خاصٌ يعمل على تليين المصبوبة الخزفية ingot بدرجة حرارةٍ معينةٍ (حسب النظام الخزفي المستخدم) ثم حقنها داخل الفراغ المتشكل عن تبخر النموذج الشمعي في أسطوانة المسحوق الكاسي، وقد تم تطوير هذه التقنية للحد من المسامات المجهرية التي تحدث أثناء عملية تلييد المواد الخزفية الكاملة، حيث أن هذه المسامات تمهد لحدوث التشوهات التي تسبب فشل التعويض الخزفي.

ويمكن استخدام تقنية الحقن الحراري لصناعة الترميمات بثلاث طرق:

1- **طريقة التلوين staining technique**: وفيها يتم حقن الترميم بشكله التشريحي النهائي ومن ثم

يتم تلوينه وترجيجه.

2- **طريقة القطع التراجعي cut-back**: وتعني تطبيق الخزف المغطي المينائي فقط بعد اقتطاع جزء

من التلث القاطع للسن المحقون بشكله التشريحي الكامل.

3- **طريقة بناء الطبقات layering technique**: يتم بناء طبقات الخزف المغطي العاجي والمينائي

فوق الهيكل الأساسي المحقون core.

ومن أشهر الأنظمة الخزفية التي تصنع بتقنية الحقن الحراري (Spear and Holloway, 2008):

• **IPS Empress 1 لشركة (IvoclarVivadent):**

تم تطوير هذا النظام الخزفي في جامعة زيورخ في سويسرا في عام 1983، وتم تسويقه تجارياً من قبل

شركة Ivoclar Vivadent في عام 1990 م. وهو خزف زجاجي مقوى ببلورات اللوسيت يكون بشكل

مصبوبات (مضغوطات) خزفية ingots قابلة للحقن الحراري ومتوافرة بخيارات لونية عديدة.

• **IPS Empress 2 لشركة (IvoclarVivadent):**

وهو خزف زجاجي مقوى ببلورات ثنائي سيليكات الليثيوم يكون بشكل مصبوبات خزفية قابلة للحقن

الحراري متوافرة بخيارات لونية عديدة، تم تطويره من نظام IPS Empress 1 في عام 1998 م من

خلال زيادة المحتوى البلوري في تركيبه إلى 60% مما أدى إلى تحسن الخواص الميكانيكية.

• **IPS e.max Press لشركة (IvoclarVivadent):**

وهو خزف زجاجي مقوى ببلورات ثنائي سيليكات الليثيوم تم تطويره من نظام IPS Empress 2 ويفوق

سابقه بالخواص التجميلية والميكانيكية (Stappert et al., 2006)، يكون بشكل مصبوبات خزفية قابلة

للحقن الحراري، ويتوافر بدرجاتٍ مختلفةٍ من الظلالية والشفافية كي تلائم كافة الاستخدامات (Ivoclar Vivadent,2007):

✓ المصبوبات ذات الشفافية العالية HT (High Translucency) :

تتوفر هذه المصبوبات بـ 16 لوناً بحسب دليل الألوان التقليدي (A1←D4) إضافة لأربع ألوانٍ للأسنان بعد التبييض (Bleach (BL). تستخدم لصنع الترميمات الخزفية ذات التحضير الأصغري كالحشوات الضمنية inlays والحشوات المغطية onlays والوجوه الخزفية veneers مع الأسنان غير المتلونة. تمتاز بتكيفها وانسجامها الاستثنائي مع بنية السن الطبيعية بسبب شفوفيتها المماثلة لشفافية ميناء الأسنان الطبيعية، ويستطب استخدامها بشكلٍ خاصٍ مع تقنية التلوين.

✓ المصبوبات ذات الشفافية المنخفضة LT (Low Translucency) :

تتوفر هذه المصبوبات أيضاً بـ 16 لوناً بحسب دليل الألوان التقليدي (A1←D4) إضافة لأربع ألوانٍ للأسنان بعد التبييض (Bleach (BL). يستطب استخدامها بشكلٍ رئيسيٍّ في صناعة التعويضات الكبيرة (كالتيجان الخلفية مثلاً).

✓ المصبوبات ذات الظلالية المتوسطة MO (Medium Opacity) :

تتوفر بخمس مجموعاتٍ لونيةٍ (MO0←MO4)، وتتناسب بشكلٍ رئيسيٍّ لتصنيع الهياكل المحقونة بشكلٍ قبعاتٍ فقط على دعائم ذات تصبغٍ خفيفٍ، أما بقية الشكل التشريحي فيتم بناؤه بطريقة الطبقات.

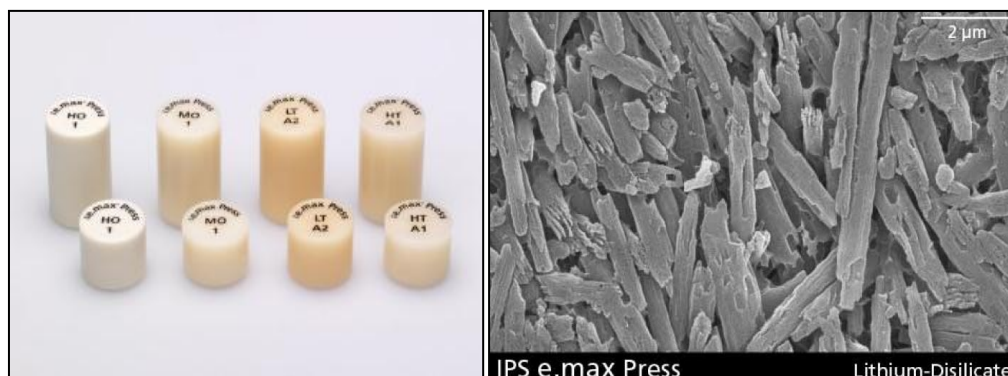
✓ المصبوبات ذات الظلالية العالية HO (High Opacity) :

تتوفر بثلاث درجاتٍ لونيةٍ (HO0-HO1-HO2) ونظراً لظلاليتها العالية فهي تتناسب بشكلٍ أساسيٍّ لتصنيع الهياكل المحقونة بشكلٍ قبعاتٍ فقط على دعائم شديدة التصبغ (كالأسنان المعالجة لبياً) ويتم بناء بقية الشكل التشريحي بطريقة الطبقات.

1-1-3: التعريف بنظام IPS-e.max :

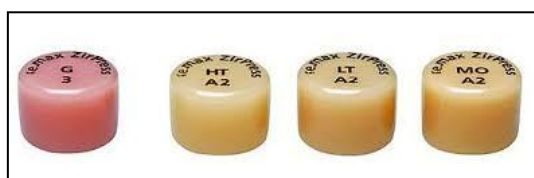
وهو نظام خزفٍ كاملٍ خالٍ من المعدن قدمته شركة Ivoclar Vivadent ليناسب كافة الاستطبانات، ويتضمن 5 مواد خزفية مختلفة هي:

1. خزف IPS e.max Press: وهو خزف زجاجي مقوى ببُلورات ثنائي سيليكات الليثيوم، يكون بشكل مصبوبات قابلة للحقن الحراري، الشكل (1).



شكل 1: يوضح البنية المجهرية والشكل التجاري لخزف IPS e.max Press (IvoclarVivadent)

2. خزف IPS e.max ZirPress: وهو خزف زجاجي مقوى ببُلورات فلور الأباتيت، يكون بشكل مصبوبات قابلة للحقن الحراري ويستخدم كخزف مغطّ فوق الهياكل الزيركونية، الشكل (2).



شكل 2: يوضح الشكل التجاري لخزف IPS e.max ZirPress (IvoclarVivadent)

3. خزف IPS-e.max CAD: وهو خزف زجاجي مقوى ببُلورات ثنائي سيليكات الليثيوم يكون بشكل بلوكاتٍ لتستخدم بتقنية CAD/CAM، الشكل (3).



شكل 3: يوضح البنية المجهرية والشكل التجاري لخزف IPS-e.max CAD (IvoclarVivadent)

4. خزف IPS-e.max ZirCAD: بلوكات زيركونية تستخدم بتقنية CAD/CAM، الشكل (4).



شكل 4: يوضح البنية المجهرية والشكل التجاري لخزف IPS-e.max ZirCAD (IvoclarVivadent)

5. خزف IPS-e.max Ceram: وهو خزف زجاجي ذو درجة انصهار منخفضة، مقوى ببلورات فلور الأباتيت، ويستخدم كخزف بناء مغط ويمتاز بخصائص بصرية وتجميلية ممتازة نتيجة لوجود بلورات فلور الأباتيت الصغيرة (1-2 ميكرون طولاً) وبلورات فلور الأباتيت المتناهية في الصغر (100-300 نانومتر طولاً).

يتركب بشكل أساسي من السيليكا SiO_2 بنسبة تتجاوز 60%، مع مجموعة من الأكاسيد المتنوعة (أكسيد البوتاسيوم K_2O ، وأكسيد الزركونيوم Zr_2O_3 ، وأكسيد الزنك Zn_2O ، وأكسيد الكالسيوم Ca_2O ، وأكسيد الصوديوم Na_2O ، وأكسيد الألمنيوم Al_2O_3 ، وخامس أكسيد الفوسفور P_2O_5) إضافة إلى الفلور F وبعض الأصبغة.



شكل 5: يوضح البنية المجهرية والشكل التجاري لخزف IPS-e.max Ceram (IvoclarVivadent)

1-1-4: التعريف بالزيركونيا Zirconia:

• الزيركونيوم Zr :

هو عنصر معدني انتقالي من فصيلة التيتانيوم، رقمه الذري 40 ، كثافته 6.49 غ/سم³، ودرجة انصهاره حوالي 1857 °م ، يمتاز بمظهره اللامع وبنيتة البلورية السداسية (Taira et al., 1990).

• الزيركونيا (أكسيد الزيركونيوم) ZrO₂ :

وهو فلز طبيعي غير عضوي، يوجد على شكل بلورات تتكون من سيليكات الزيركونيا ZrO₂SiO₂ التي يتم إرجاعها للحصول على أكسيد الزيركونيوم النقي ذو اللون الأبيض (Helvey, 2008).

لا توجد هذه المواد بشكل نقي في الطبيعة وإنما تكون مشوبة بعناصر معدنية تشبه لونها، وبالتالي لا يمكن استخدامها في طب الأسنان دون إجراء سلسلة من العمليات الكيميائية المعقدة، واكتشفت الزيركونيا لأول مرة في عام 1789 م عن طريق الكيميائي الألماني Martin Klaproth، وتم فصل الزيركونيوم الحر من قبل الكيميائي السويدي Jons Berzelius في عام 1824 م (Kelly and Denry, 2008). وفي أواخر ستينيات القرن الماضي أجريت العديد من الأبحاث لتطوير الزيركونيا وتحسين خواصها بهدف استخدامها للأغراض الحيوية، ودخلت الزيركونيا الاستخدامات الطبية لأول مرة في عام 1969 م في مجال الجراحة العظمية حيث استخدمت بشكل رأس كروي لاستبدال المفصل الفخذي (Manicone et al., 2007).

ونظراً للخواص الميكانيكية والتجميلية الجيدة التي تمتاز بها الزيركونيا بالمقارنة مع المعدن، فقد بدأ استخدامها في طب الأسنان في بدايات عام 1990 م، حيث استخدمت بدايةً في صناعة القلوب والأوتاد الجذرية، ثم الزرعات السنية ودعاماتها والحاصرات التقويمية، ثم استخدمت كبديل عن المعدن لصناعة الهيكل الداخلي للتعويضات الثابتة (Piconi and Maccauro, 1999).

1-4-1- الخصائص البنيوية للزيركونيا (Pilathadka et al., 2007):

تصنف الزيركونيا كخزفٍ أوكسيديٍّ متعدد البلورات بدون طورٍ زجاجيٍّ، ويمكن أن تنتظم بلورات الزيركونيا ضمن الشبكة البلورية في ثلاثة نماذجٍ مختلفةٍ تبعاً لدرجة الحرارة :

1. النموذج أحادي الميلان (M) Monoclinic:

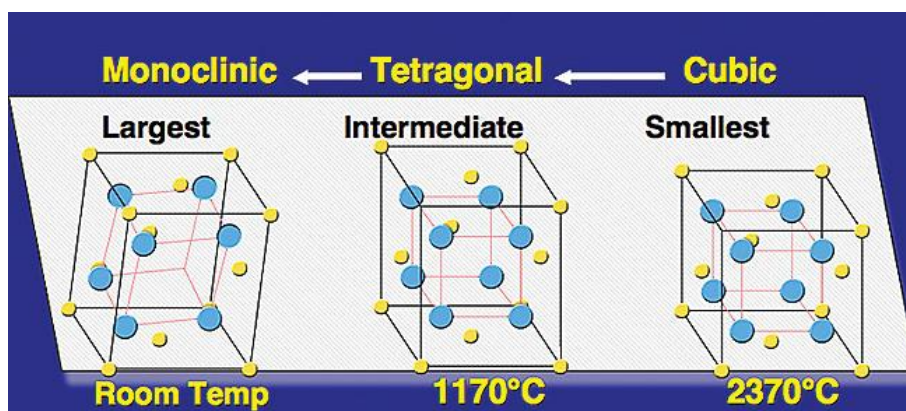
- يوجد في درجات الحرارة العادية وحتى الدرجة 1170 °م حيث يتحول للنموذج رباعي الزوايا.
- وهو الشكل الأكبر حجماً ولكنه الأضعف بالخواص الميكانيكية.

2. النموذج رباعي الأضلاع (T) Tetragonal:

- يوجد في درجات حرارةٍ من 1170 °م حتى 2370 °م حيث يتحول للنموذج المكعب.
- وهو ذو حجمٍ متوسطٍ ومواصفاتٍ ميكانيكيةٍ ممتازةٍ.

3. النموذج المكعب (C) Cubic:

- يوجد في درجات حرارةٍ أعلى من 2370 °م وحتى درجة الانصهار 2680 °م.
- وهو الشكل الأصغر حجماً ويمتلك مواصفاتٍ ميكانيكيةٍ متوسطةٍ.



شكل 6: يوضح البنية البلورية للزيركونيا باختلاف درجات الحرارة (Raghavan, 2012)

يحتاج تشكيل الزيركونيا إلى معالجة حرارية بدرجة حرارة تبلغ 1500 °م ، الأمر الذي يسبب تحولاً في البنية البلورية من النموذج رباعي الزوايا (T) إلى النموذج أحادي الميلان (M) عند تبريدها للوصول إلى درجة حرارة الوسط المحيط، وتترافق هذه التحولات البلورية بتغيرات في الحجم، حيث أن انخفاض درجة الحرارة يسبب زيادة في حجم البلورات بمقدار (2.31%) عند الانتقال من النموذج (C) إلى النموذج (T)، وبمقدار (4.5%) عند الانتقال من النموذج (T) إلى النموذج (M)، وتؤدي هذه الزيادة الحاصلة في الحجم إلى تصدع الزيركونيا وانخفاض خواصها الميكانيكية لدى وصولها إلى درجة حرارة الغرفة (Manicone et al., 2007).

وللتغلب على هذه المشكلة يتم تثبيت البنية المجهرية للزيركونيا في درجة الحرارة العادية من خلال إضافة أكاسيد معينة مثل أكسيد الكالسيوم CaO، أكسيد المغنيزيوم MgO، أكسيد السيريوم CeO₂ ، أكسيد الإيتريوم Y₂O₃، مما يمنع تلك التحولات البنيوية ويسمح للزيركونيا بالوصول إلى درجة حرارة الوسط المحيط بشكل كتلة سليمة ذات ذرات مرصوفة في بنية بلورية مكعبة (C) أو رباعية الزوايا (T)، حيث يمكن الحصول على الزيركونيا المستقر كلياً في النموذج المكعب (C) بإضافة حوالي 16% mol من أكسيد الكالسيوم مع 8% mol من أكسيد الإيتريوم، بينما يمكن الحصول على الزيركونيا المستقرة جزئياً partially stabilized zirconia (PSZ) في النموذج رباعي الزوايا (T) بإضافة 3% mol من أكسيد الإيتريوم لبنية الزيركونيا، ويطلق على الزيركونيا الناتجة اسم الزيركونيا رباعية الزوايا المستقرة بالإيتريوم Ytria-stabilized Tetragonal Zirconia Polycrystal (3Y-TZP) التي تمتاز بخواص ميكانيكية ممتازة وهو النوع الأكثر استخداماً في التطبيقات السنية (Piconi and Maccauro, 1999).

1-4-2: أنواع الزركونيا المستخدمة في طب الأسنان (Khamverdi and Moshiri, 2012):

توجد العديد من المواد الخزفية الزركونية ولكن هنالك ثلاثة أنواع فقط تستخدم في طب الأسنان وهي:

1. الألومينا المقواة بالزركونيا (ZTA) *Zirconia toughened alumina*

ويقصد بها نظام (In-Ceram Zirconia) الذي يحتوي في تركيبه 67% من أكسيد الألمنيوم مع 33% من أكسيد الزركونيوم المثبت جزئياً بالسيريوم 12% mol. يتم تصنيعها إما بتقنية المعلق slip casting أو بطريقة آلية (soft machining). تكون التعويضات المصنعة من (ZTA) أكثر مسامية وأضعف بالخواص الميكانيكية (تبلغ مقاومة الانحناء 400-800 MPa) مقارنةً مع الزركونيا 3Y-TZP. ولا يستطع استخدامها للتعويض عن الأسنان الأمامية بسبب ظلاليتها الشديدة.

2. الزركونيا المثبتة جزئياً بالمغنيزيوم (Mg-PSZ) *Magnesium partially stabilized zirconia*

تتكون من بلورات زركونيا رباعية الزوايا (T) موزعة ضمن شبكة من البلورات المكعبة (C)، ويتم تثبيت الجزئي للبنية البلورية بإضافة (8% mol) من أكسيد المغنيزيوم. لم يستخدم هذا النوع بشكل واسع وذلك بسبب المسامية المرتفعة الناتجة عن الحجم الكبير للجزيئات (30-60 µm) مما يجعل المادة أقل ثباتاً وأضعف بالخواص الميكانيكية وأكثر عرضة للاهتراء (Denry and Kelly, 2008).

3. الزركونيا المستقرة جزئياً بالإيتريوم (3Y-TZP) *Yttria-stabilized tetragonal polycrystals*

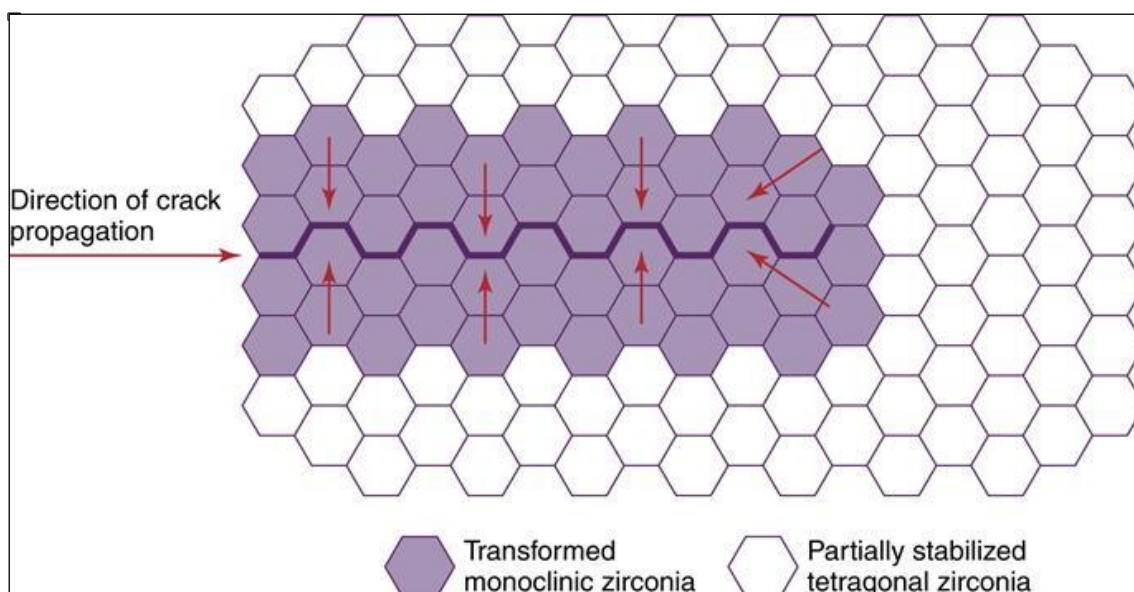
يتكون تركيبها المجهرى من بلورات رباعية الزوايا (T)، يتم تثبيتها ب 3% mol من أكسيد الإيتريوم. تكون الجزيئات صغيرة ومتساوية في الحجم تقريباً (2-5 µm) ومرصوفة بشكل نموذجي، مما يجعل المادة أكثر كثافة وقوة حيث تفوق الخواص الميكانيكية لـ 3Y-TZP كل المواد الخزفية السنية الكاملة الموجودة (تبلغ مقاومة الانحناء 800 - 1000 MPa).

1-1-4-3: خواص الزيركونيا المستقرة جزئياً بالإيتريوم (3Y-TZP)

ازداد الاهتمام بالزيركونيا (3Y-TZP) كمادة تعويضية بسبب خواصها الممتازة:

• مقاومة الانكسار (Christel et al., 1989):

تمتلك الزيركونيا (3Y-TZP) مقاومة انكسار عالية بسبب امتيازها بخاصية فيزيائية تدعى متانة التحول Transformation Toughening أو التحول المحرض بالجهد Stress-Induced Transformation، ويقصد بها أن تعرض الزيركونيا للإجهادات قد يسبب صدوعاً مجهرية مما يحرض على تحول البلورات في المنطقة حول الصدع من النموذج رباعي الزوايا (T) إلى النموذج أحادي الميلان (M)، وبترافق هذا التحول بزيادة موضعية في حجم البلورات بنسبة 3-5% مع بقاء حجم القالب ثابتاً، مما يؤدي إلى تشكل قوى ضغط حول الصدع تؤدي إلى إغلاقه وتعمل على تقوية وزيادة صلابة المادة.



شكل 7: يوضح آلية متانة التحول في الزيركونيا، نقلاً عن (pocketdentistry, 2016)

- **التقبل الحيوي :**

تُعد الزيركونيا من المواد الخاملة كيميائياً ولا تسبب أي رد فعلٍ معاكسٍ من الجسم الحي (Dion et al., 1994) وقد بينت العديد من الدراسات حصول اندماجٍ عظميٍّ طويل الأمدٍ حول الزرعات الزيركونية بشكلٍ مشابهٍ لزرعات التيتانيوم، كما لوحظ أن الغزو الجرثومي لسطوح الزيركونيا يكون أقل مما هو عليه لسطح التيتانيوم (Rimondini et al., 2002).

- **الخواص البصرية:**

تمتلك الزيركونيا لوناً أبيضاً وتبدي ظلاليةً كافيةً مما يمكن الاستفادة منها في التطبيقات السنية السريرية كاستخدامها في تنويع الأسنان شديدة التلون وإخفاء القلوب المعدنية تحتها، وذلك بسبب كثافتها العالية وتجانسها حتى بالثخانات المحدودة للهيكل الزيركوني 0.5 ملم، وتبدي الزيركونيا شفافيةً أفضل بالمقارنة مع الخلائط المعدنية (Heffernan et al., 2002a).

ويمكن تلوين الهيكل الداخلي للتعويضات الزيركونية باستخدام سوائل تلوينٍ خاصةٍ بهدف تحسين الناحية التجميلية والحصول على انسجامٍ لونيٍّ أفضل مقارنةً مع الزيركونيا البيضاء، ولكن ذلك يمكن أن يسبب تناقصاً في شفافية المادة ويجب أخذ ذلك بالحسبان أثناء مراحل تصنيع التعويضات الزيركونية (Tuncel et al., 2013).

1-4-4-1- أصناف قوالب الزيركونيا المعدة للنحت الآلي (Miyazaki et al., 2013):

يتم تصنيع التعويضات الزيركونية بطريقة النحت الآلي من خلال تقنية التصميم والتصنيع الحاسوبي CAD/CAM أو بتقنية التصميم والتصنيع اليدوي MAD/MAM وتكون قوالب (بلوكات) الزيركونيا المستخدمة إما ناقصة التليد (ملبدة جزئياً) presintered أو كاملة التليد densely sintered :

1- النحت الآلي للبلوكات كاملة التليد (Hard machining):

تصل هذه البلوكات إلى كثافتها العظمى بعد المعالجة الحرارية الكاملة في المصنع بدرجة حرارة تبلغ 1500 °م لمدة ساعتين. تمتاز هذه البلوكات بقساوة عالية جداً مما يجعل نحتها أصعب وأكثر استهلاكاً للوقت، كما أن القساوة العالية تجعل السنابل أكثر عرضة للاهتراء ويستوجب استبدالها مما يزيد التكلفة المادية. تكون التعويضات المصنعة من هذه البلوكات أكثر دقةً وتحافظ على أبعادها دون تقلصٍ لعدم الحاجة لأي معالجة حرارية لاحقة في المخبر.

يوجد نظامان وهما Denzir (Cadesthetics AB) ، DC-Zirconia (DCS Dental AG) (Miyazaki et al., 2009).

2- النحت الآلي للبلوكات الملبدة جزئياً (Soft machining):

تخضع هذه البلوكات لمعالجة حرارية جزئية في المصنع فلا تصل لمرحلة القساوة الكاملة مما يسهل عملية نحت الترميمات في المخبر، ولكن القطعة التعويضية تحتاج بعد نحتها إلى معالجة حرارية متممة للوصول إلى الكثافة والقساوة الكاملة مما يعرضها لتقلصٍ حجميٍّ يبلغ حوالي 20%، ويتم معاوضة هذا التقلص من خلال تصميم التعويض ونحته بحجم أكبر يتناسب مع نسبة التقلص اللاحقة.

من الأنظمة المتوفرة التي تستخدم هذه القوالب :

IPS e.max® ZirCAD (Ivoclar Vivadent)

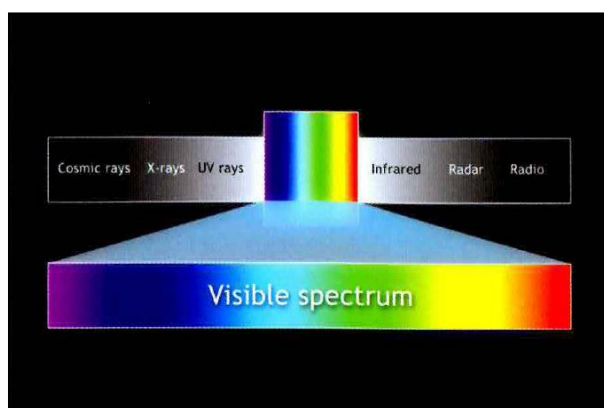
Lava (3M ESPE) ، DD Bio ZW (Implant Direct)

1-2: الضوء واللون:

إن فهم طبيعة الضوء وكيف تتلقاه العين البشرية ليتم إدراك الألوان في الدماغ هو أمرٌ ضروريٌّ لاختيار لون جسمٍ ما بشكلٍ دقيقٍ وخاصةً عندما يتعلق ذلك بألوان الترميمات الخزفية (Sikri, 2010).

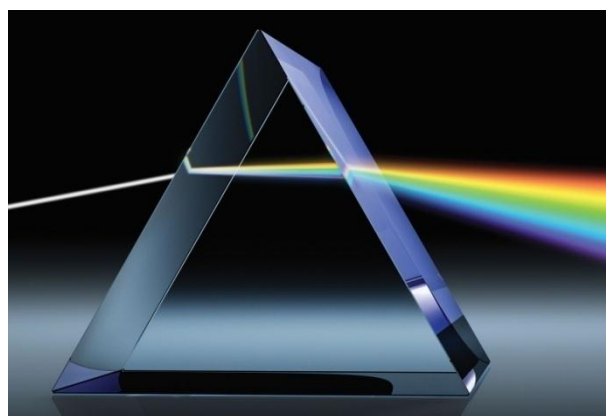
يعتبر الضوء المصدر الأساسي لكل الألوان، وهو عبارة عن طاقةٍ كهرومغناطيسيةٍ تقاس أطوال موجاتها بالنانومتر ($1\text{nm} = 10^{-6}\text{ mm}$) وتمثل حيزاً ضيقاً وهو الجزء المرئي من الطيف الإشعاعي الكهرطيسي

(Chu et al., 2004) Electromagnetic spectrum.



شكل 8: يوضح موقع الطيف الضوئي المرئي بالنسبة للطيف الإشعاعي الكهرطيسي (Chu et al., 2004)

وقد كان إسحق نيوتن في عام 1665 م أول من أوضح أن الضوء الأبيض (ضوء الشمس) يمكن أن ينقسم إلى عدة ألوانٍ عند مروره عبر منشورٍ زجاجيٍّ، وأطلق على سلسلة الألوان الناتجة اسم الطيف الضوئي المرئي الذي تقع أطواله الموجية في المجال (380 – 760) نانومتر (Chu et al., 2004).



شكل 9: يوضح ألوان الطيف الناتجة عن مرور الضوء عبر منشور زجاجي (Chu et al., 2004)

يتكون الطيف الضوئي المرئي من 7 ألوان متسلسلة هي:

(الأحمر، البرتقالي، الأصفر، الأخضر، الأزرق، النيلي، البنفسجي)، ويتم التعرف على كل لون بدقة من

خلال طول موجته كما يلي:

- اللون الأحمر: طول موجته (800-650) نانومتر.
- اللون البرتقالي: طول موجته (649-590) نانومتر.
- اللون الأصفر: طول موجته (589-550) نانومتر.
- اللون الأخضر: طول موجته (539-490) نانومتر.
- اللون الأزرق: طول موجته (489-460) نانومتر.
- اللون النيلي: طول موجته (459-440) نانومتر.
- اللون البنفسجي: طول موجته (439-390) نانومتر.

فاللون المميز لأي جسم ينجم عن امتصاصه لكل الأمواج الضوئية الواردة إليه بينما يعكس الأمواج الضوئية الممتثلة لونه فقط (Gürel, 2003). ويتم استقبال هذه الأطوال الموجية في العين البشرية من قبل المخاريط cones، حيث تحتوي شبكة العين على 3 أنواع من المخاريط (مخاريط الأحمر، مخاريط الأخضر، مخاريط الأزرق) وبالتالي فإن للعين البشرية يمكنها أن تستقبل بشكل أساسي الأطوال الموجية الحمراء والخضراء والزرقاء فقط (Chu et al., 2004).

1-2-1: اللون في طب الأسنان:

للحصول على الانسجام اللوني المطلوب وتحقيق أفضل النتائج التجميلية ينبغي على طبيب ومخبري

الأسنان معرفة مجموعة من المفاهيم اللونية الأساسية للتغلب على المشاكل في صعوبة اختيار اللون:

- الألوان الأولية **primary colours** (Chu et al., 2004) :

وهي ثلاثة ألوان (الأحمر والأصفر والأزرق)، لا يمكن الحصول عليها من مزج ألوان أخرى، بينما يمكن

من خلال مزجها مع بعضها تشكيل بقية الألوان.



شكل 10: يوضح الألوان الأولية (Chu et al., 2004)

- الألوان الثانوية (المتمة) **secondary colours** (Chu et al., 2004) :

وهي ثلاثة ألوان ينتج كل منها عن مزج لونين من الألوان الأساسية :

- البرتقالي ينتج عن مزج اللونين الأحمر والأصفر.
- الأخضر ينتج عن مزج اللونين الأصفر والأزرق.
- البنفسجي ينتج عن مزج اللونين الأزرق والأحمر.



شكل 11: يوضح الألوان الثانوية (المتمة) (Chu et al., 2004)

• الألوان المتتامة (Chu et al., 2004) **complementary colours** :

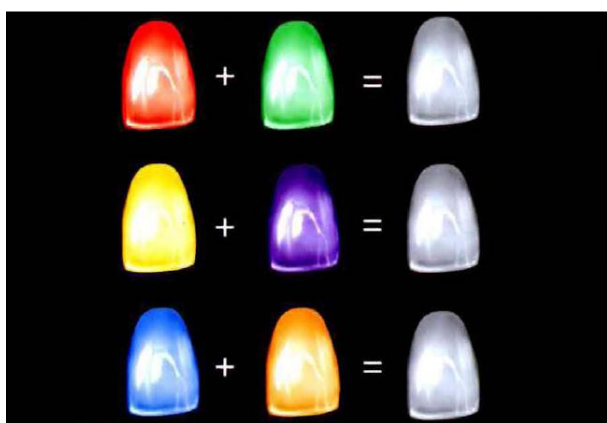
وهي مجموعة من الأزواج اللونية التي تعدل بعضها عندما تمزج بكمياتٍ متساويةٍ فتعطي لوناً رمادياً باهتاً يعكس أو ينقل كل الأطوال الموجية بالتساوي.

أزواج الألوان المتتامة هي (الأحمر والأخضر)، (الأصفر والبنفسجي) ، (الأزرق والبرتقالي).



شكل 12: يوضح الألوان المتتامة (Chu et al., 2004)

واعتماداً على مبدأ الألوان المتتامة يمكن تعديل قيمة الإشراق اللوني value للترميم بإضافة اللون المتمم ليصبح اللون أكثر ميلاناً للرمادي وبالتالي أقل إشراقاً. مثلاً: اللون A3 يحوي لوناً برتقالياً، لذلك فإن إضافة صبغة زرقاء يقلل من درجة السطوع (Kina and Bruguera, 2008).



شكل 13: يوضح كيفية تعديل قيمة الإشراق اللوني باستخدام الألوان المتتامة (Chu et al., 2004)

❖ ويمكن وصف الآلية الأساسية لاستقبال اللون كما يلي:

يصل الضوء للعين مباشرةً من المنبع الضوئي، أو يمكن أثناء مروره أن يصطدم بجسم ما ويتفاعل معه، وبالتالي فإن إدراك لون معين يعتمد على ثلاثة عوامل أساسية هي (Chu et al., 2004):

1- طبيعة المصدر الضوئي:

تلعب مواصفات المصدر الضوئي دوراً حاسماً في تقييم اللون، فالمصدر الضوئي المثالي يجب أن يعطي ضوءاً منتشراً وغير مُركّز، وأن يكون ذو شدة معتدلة مما يسمح بانتقاء اللون بدقة وراحة دون أن يسبب إجهاداً للعين ولذلك تفضل المصادر الضوئية القريبة من ضوء النهار (Rosenstiel, 2006).

وتعد الخدامية **Metamerism** من أهم الظواهر المتعلقة بالمصدر الضوئي والتي تؤثر على دقة اختيار اللون، وهي ظاهرة تبدو فيها مادتان بلون واحد تحت ظروف إضاءة معينة وتبدوان بلونين مختلفين عند تغير الإضاءة، وتؤثر هذه الظاهرة سريراً بشكل سلبي عندما يتم اختيار لون الترميمات (باستخدام أدلة اللون التقليدية) تحت تأثير ضوء العيادة فقط، مما يجعلها قد تبدو بلون مختلف في ضوء النهار أو في ظروف إضاءة أخرى (Kina and Bruguera, 2008).

2- الشخص الفاحص:

تختلف استجابة العين للألوان من شخص لآخر تبعاً لعوامل عديدة أهمها:

- عمر الشخص: حيث تتناقص حدة الرؤية ويصعب تقييم الألوان بشكل دقيق مع التقدم بالعمر.
- الصحة العامة والأدوية المتناولة: قد تترافق العديد من الأدوية بتأثيرات جانبية على الشبكية أو القرنية مسببة ضعف المطابقة اللونية.
- الإرهاق والحالة البدنية العامة: فالتعب الضوئي المتواصل يسبب إجهاداً لونياً colour fatigue يؤدي إلى انخفاض استجابة العين للألوان فيبدو اللون الأصلي أقل تركيزاً (O'Brien, 2008).

3- طبيعة المادة الفيزيائية للجسم:

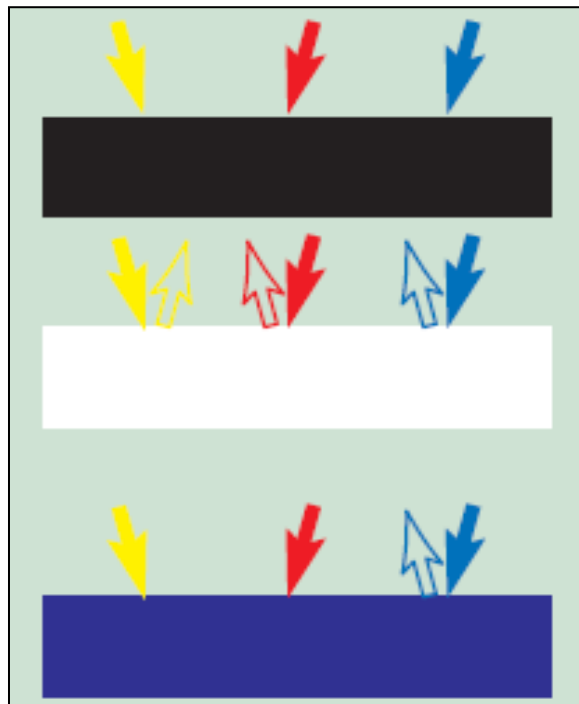
إن الخواص اللونية الطبيعية لأي مادة تنتج عن عملية تفاعل الضوء الوارد من المصدر الضوئي مع هذه المادة، فعندما يسقط الضوء على جسم ما يمكن أن يتفاعل معه بعدة أشكالٍ (Chu et al., 2004):

• العبور (الانتقال) :Transmission:

يحدث عندما يمر الضوء من خلال مادةٍ شفافةٍ transparent (مثل لوح زجاج نقي) أو من خلال مادةٍ شافةٍ translucent (مثل ميناء الأسنان).

• الانعكاس والامتصاص :Reflection and absortion:

يمتص الجسم عادة بعض الأمواج الضوئية الواردة إليه ويعكس بعضها الآخر، ويحدث الانعكاس عندما يصطدم الضوء بجسم ما ثم يرتد عنه، ويتم إدراك اللون بحسب الأطوال الموجية المنعكسة، فالجسم الأزرق مثلاً يعكس فقط الأمواج الزرقاء ويمتص باقي الأمواج الضوئية الواردة إليه، أما الجسم الأبيض فيعكس كل الأطوال الموجية الواردة إليه على عكس الجسم الأسود الذي يمتص كل الأمواج الضوئية الواردة إليه (Freedman, 2011).



شكل 14: يوضح علاقة لون الجسم بالانعكاس والامتصاص (Freedman, 2011)

وللحصول على ترميماتٍ تحقق أفضل النتائج التجميلية وخصوصاً في مجال التعويضات الخزفية لا بد من فهم الخصائص البصرية التالية التي يمكن للجسم أن يتمتع بها وتؤثر على لونه بشكلٍ كبيرٍ:

• اللمعان Gloss:

هي الخاصية البصرية التي تشير إلى كمية الأمواج الضوئية المتوازية المنعكسة عن الجسم، ولهذه الخاصية أهمية كبيرة في طب الأسنان، فكلما كان سطح السن أملساً يزداد اللمعان والإشراق اللوني وينخفض الإحساس باختلاف اللون، كما أن اختلاف اللمعان بين ترميماتٍ متطابقة في اللون يجعلها تبدو مختلفةً (Kina and Bruguera, 2008).

• البريق Opalescence:

هي الخاصية البصرية التي تعبر عن ظهور الجسم بلون معينٍ عندما يعبر الضوء من خلاله وبلون آخر عندما ينعكس الضوء عنه، وتتجلى هذه الخاصية في ميناء الأسنان الطبيعية بشكلٍ خاصٍ، فالأطوال الموجية الأقصر (اللون الأزرق مثلاً) تميل للانعكاس عن الميناء والعاج بينما تعبر الأمواج الضوئية الأطول (الأحمر والبرتقالي) أو يتم امتصاصها مما يعطي للميناء لوناً أبيضاً مائلاً للأزرق فتبدو الأسنان أكثر إشراقاً ويمنحها عمقاً لونياً وحيويةً أكبر (Kina and Bruguera, 2008).

• التوهج (التألق) Fluorescence:

هي الخاصية البصرية التي تعبر عن امتصاص الجسم للضوء الوارد إليه ثم إعادة إصداره ولكن بأطوالٍ موجيةٍ أكبر. ويتضح هذا المفهوم في عاج الأسنان الطبيعية ذات المحتوى المرتفع من المواد العضوية مما يسبب زيادة التوهج وانخفاض التركيز اللوني للسن (Kina and Bruguera, 2008).

1-2-2: وصف اللون/أبعاد اللون :

دعت الحاجة الماسة لوصف اللون بشكلٍ دقيقٍ إلى وجود أنظمةٍ لونيةٍ تسمح باختيار ومطابقة اللون بشكلٍ سهلٍ، ومن أشهر الأنظمة اللونية المستخدمة في طب الأسنان:

أولاً : نظام مونسيل اللوني **Munsell colour system** (Chu et al., 2004):

لاحظ الفنان ألبيرت مونسيل Albert Munsell في بداية القرن العشرين أن جميع الألوان ترتبط بعلاقةٍ وثيقةٍ فيما بينها، وقام بتأسيس نظامٍ منهجيٍّ ثلاثي الأبعاد لوصف اللون بصرياً بشكلٍ دقيقٍ يعتمد على ثلاثة أبعادٍ أساسيةٍ للون هي:

1- الصبغة اللونية Hue:

ويقصد بها الصبغة الأساسية للون التي تسمح لنا بتمييز لونٍ عن آخر (مثلاً أحمر أو أزرق أو أخضر)، وتُحدد من خلال الأطوال الموجية للضوء المنعكس. وقام مونسيل بوضع عشر درجاتٍ لونيةٍ هي:

أحمر / أحمر مُصَفَّر / أصفر / أصفر مُخَضَّر / أخضر / أخضر مُزَرَق / أزرق / أزرق بنفسجي / بنفسجي / بنفسجي مُحَمَّر.

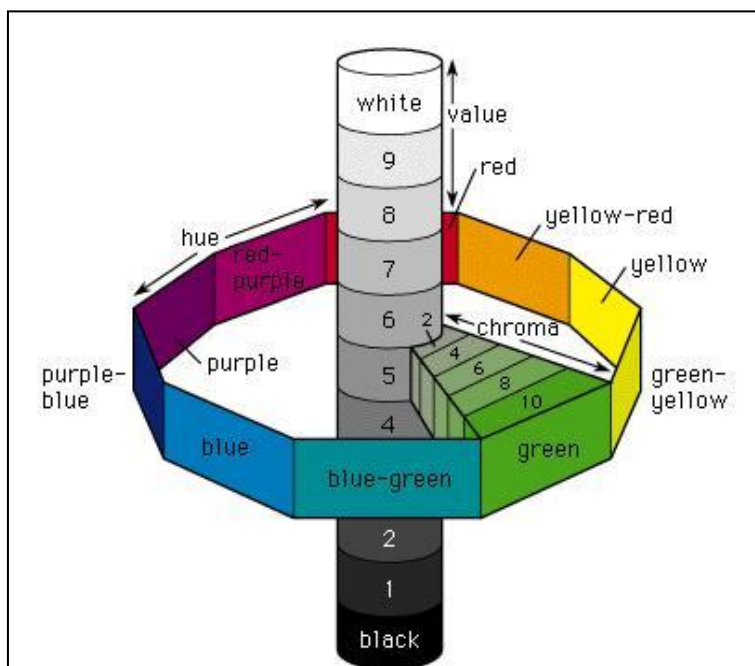
وقام بتقسيم كل درجةٍ لونيةٍ إلى عشرة أجزاءٍ مرقمةٍ من 1 - 10 تمثل الكثافة اللونية.

2- الكثافة اللونية Chroma :

ويقصد بها مقدار إشباع وتركيز اللون الأساسي، أي الصفة التي تسمح لنا بتمييز الألوان الضعيفة عن الألوان القوية.

3- الإشراق اللوني Value:

ويقصد به مقدار السطوع اللوني brightness، أي الصفة التي تسمح بالتمييز بين الألوان الفاتحة والألوان الغامقة، وهو العامل الأهم في عملية التطابق اللوني. فمن الممكن أن تختلف الدرجة والكثافة اللونية من سنٍّ لآخر ولكن الإشراق اللوني يمكن أن يجعل الأسنان تبدو كمجموعةٍ متشابهةٍ.



شكل 15: يوضح أبعاد اللون الثلاثة بنظام مونسيل، نقلا عن (Munsell colour system)

يفتقر نظام مونسيل اللوني إلى وجود معيارٍ لتحديد مستوى الشفافية translucency التي يقصد بها مقدار مرور الضوء عبر الجسم، والتي يمكن اعتبارها البعد الرابع للون وربما الأكثر أهميةً في طب الأسنان التجميلي، فالحدود القاطعة للأسنان الأمامية مثلاً تمتلك شفافيةً عالية تجعل من الضروري محاكاتها في التعويضات الخزفية للحصول على أفضل النتائج التجميلية (Rosenstiel, 2006).

ويمكن أن نميز ثلاث درجاتٍ مختلفةٍ من الشفافية (chu 2004):

- **الأجسام الظليلة opaque**: تمنع مرور الضوء عبرها، فهو إما أن ينعكس أو يتم امتصاصه.
- **الأجسام الشفافة transperant**: تسمح بمرور كامل الضوء عبرها.
- **الأجسام الشافة translucent**: تسمح بمرور جزئي للضوء عبرها.

وعموماً تعتمد شفافية المواد الخزفية بشكلٍ أساسيٍّ على نسبة وحجم وشكل البلورات الداخلة في تركيبها

الكيميائي (Heffernan et al., 2002b).

ثانياً: نظام اللون الكمي CIE L*a*b* color system (Rosenstiel, 2006):

تم اعتماد هذا النظام لأول مرة في عام 1976 م من قبل المفوضية الدولية للأبحاث المتعلقة بشؤون الإنارة "Commision Internationale de l'Eclairage (CIE)" ، ويستخدم حالياً بشكل واسع في الأبحاث المتعلقة بالألوان في مختلف المجالات العلمية، ويمتاز بقدرته على حساب التغير اللوني ΔE بشكل دقيق وتفسيره تبعاً للمسافة عبر فضاء اللون.

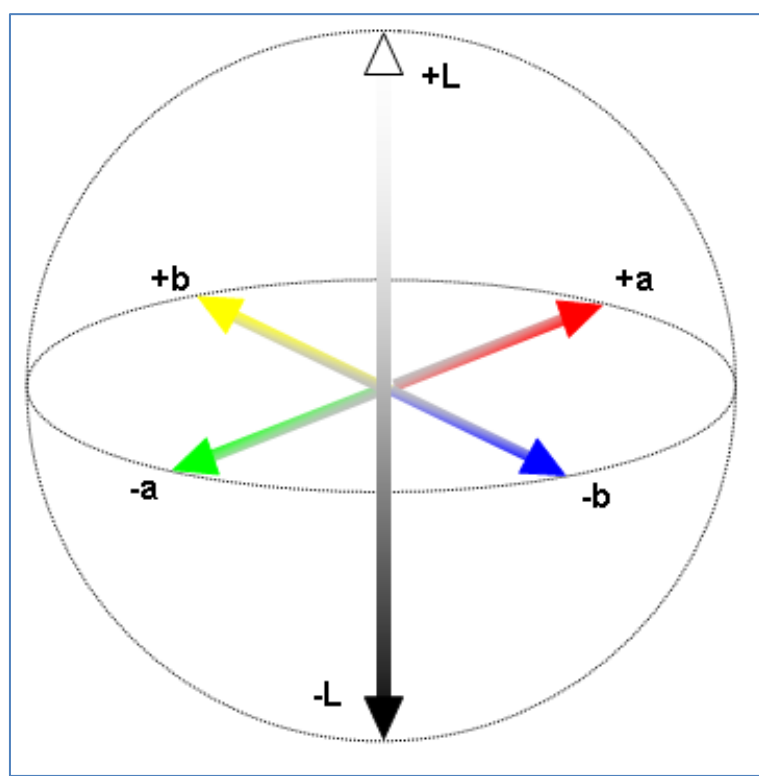
يعتمد نظام اللون الكمي على 3 إحداثيات لتعريف اللون هي (Gonuldas et al., 2014):

(L^*): يماثل إشراق اللون value (درجة السطوع) الموجود في نظام Munsell، وتعبر عن خواص الأبيض والأسود للون، وتتراوح بين ($L=0$) أسود ، و ($L=100$) أبيض.

الأحداثيات a^* و b^* تماثل الصبغة اللونية Hue والكثافة Chroma في نظام Munsell كما يلي :

(a^*): تمثل درجة اللون الأحمر عندما تكون ($a > 0$)، أو اللون الأخضر عندما تكون ($a < 0$).

(b^*): تمثل درجة اللون الأصفر عندما تكون ($b > 0$)، أو اللون الأزرق عندما تكون ($b < 0$).



شكل 16: يوضح المعاملات اللونية بنظام اللون الكمي CIE Lab (Gonuldas et al., 2014)

ويعبر المصطلح ΔE عن التغير اللوني بين نقطتين في فضاء الألوان ثلاثي الأبعاد.

ويحسب التغير اللوني من العلاقة التالية:

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

حيث ΔL^* , Δa^* , Δb^* تمثل التغيرات في إحداثيات اللون:

$$\Delta a^* = a1^* - a2^*$$

$$\Delta b^* = b1^* - b2^*$$

$$\Delta L^* = L1^* - L2^*$$

وعلى الرغم من وجود جدل واختلاف كبير بخصوص مقدار التغير اللوني المقبول سريرياً (Ghinea et

al., 2010) فقد أجمعت أغلب الدراسات على أن التغير اللوني المقبول به في الترميمات السنية يجب

ألا يتجاوز القيمة (3.7) (Douglas and Brewer, 1998, Ragain and Johnston, 2000).

وفي دراسة (Vichi et al., 2007) تم تصنيف التغير اللوني ومقدار القبول السريري حسب قيمة ΔE

كما يلي:

- $(1 \geq \Delta E)$: تغير مقبول سريرياً، وغير مميز بالنسبة للعين البشرية.
- $(3.3 \geq \Delta E > 1)$: تغير مقبول سريرياً، ولكن يمكن تمييزه من قبل متخصص ماهر.
- $(3.3 < \Delta E)$: تغير غير مقبول سريرياً، ويمكن تمييزه من قبل الأشخاص العاديين.

1-2-3: اختيار اللون في طب الأسنان :

يتم اختيار اللون إما بالطريقة التقليدية باستخدام دليل الألوان السني shade guide أو باستخدام الأجهزة الالكترونية المعتمدة على التكنولوجيا (Rosenstiel, 2006):

أولاً: الطريقة البصرية التقليدية **conventional shade matching**:

وتتم باستخدام أدلة الألوان، وهي الطريقة الأكثر شيوعاً والأسهل استخداماً ولكنها تتأثر بعوامل عديدة أهمها العامل الشخصي كخبرة الفاحص وعمره وتقديره الشخصي للون، إضافةً إلى ظروف الإضاءة المحيطة والإجهاد البصري. ومن أكثر أدلة ألوان الأسنان استخداماً:

1- دليل الألوان التقليدي **VITAPAN® classical** من شركة **VITA** (Chu et al., 2004):

وهو الأكثر استخداماً ويحتوي 16 خياراً لونياً، تكون مرمزةً بحروف وأرقام متسلسلة كما يلي:

• A1/A2/A3/A3.5/A4 : للألوان البرتقالية.

• B1/B2/B3/B4 : للألوان الصفراء.

• C1/C2/C3/C4 : للألوان الصفراء/الرمادية.

• D2/D3/D4 : للألوان البرتقالية/الرمادية (البنية).

تشير الحروف A-B-C-D إلى الصبغة اللونية hue، بينما تشير الأرقام إلى الكثافة اللونية chroma

ودرجة السطوع value، بحيث تتدرج من الرقم 1 (الذي يدل على اللون الأقل إشباعاً والأكثر سطوعاً)

إلى الرقم 4 (الذي يدل على اللون الأكثر إشباعاً والأقل سطوعاً).



شكل 17: دليل الألوان التقليدي **VITAPAN classical** (Chu et al., 2004)

2- دليل CHROMASCOP® من شركة Ivoclar Vivadent (Chu et al., 2004) :

يحتوي 20 خياراً لونياً موزعة في 5 مجموعاتٍ بالتساوي، ويستخدم نظام ترميزٍ عدديٍّ يتكون من 3 أرقامٍ كما يلي:

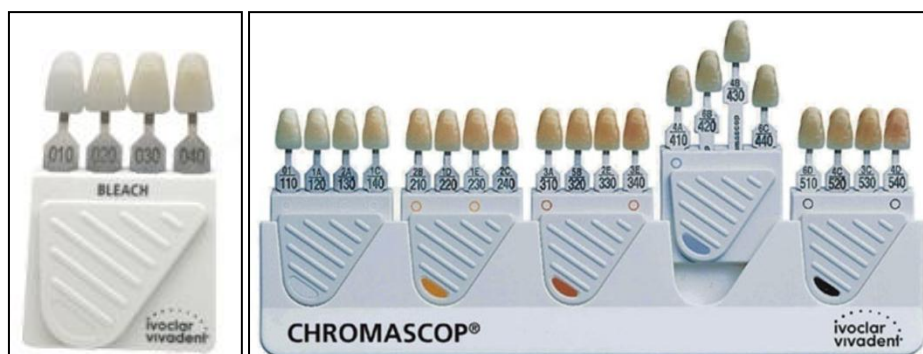
- المجموعة الأولى 100 : وتحتوي 4 خياراتٍ (110 / 120 / 130 / 140) للألوان البيضاء.
- المجموعة الثانية 200 : وتحتوي 4 خياراتٍ (210 / 220 / 230 / 240) للألوان الصفراء.
- المجموعة الثالثة 300 : وتحتوي 4 خياراتٍ (310 / 320 / 330 / 340) للألوان البرتقالية.
- المجموعة الرابعة 400 : وتحتوي 4 خياراتٍ (410 / 420 / 430 / 440) للألوان الرمادية.
- المجموعة الخامسة 500 : وتحتوي 4 خياراتٍ (510 / 520 / 530 / 540) للألوان البنية.

وتعبر الأرقام (10 - 20 - 30 - 40) عن درجات الكثافة اللونية والسطوع بحيث :

- 10 : الأقل إشباعاً والأكثر سطوعاً.
- 40 : الأكثر إشباعاً والأقل سطوعاً.

ويحتوي هذا الدليل على مجموعةٍ إضافيةٍ تحوي 4 خياراتٍ لونيةٍ (010 / 020 / 030 / 040) للأسنان

بعد التبييض (Kina and Bruguera, 2008).



شكل 18: دليل ألوان CHROMASCOP مع المجموعة الإضافية (Chu et al., 2004)

3- الدليل ثلاثي الأبعاد VITA Toothguide 3D-MASTER® (Chu et al., 2004) :

تم تقديمه عام 1998 م ويحتوي 29 خياراً لونياً تم تقسيمها أولاً بحسب درجات السطوع value

إلى 6 مجموعات مرمزة بأرقام متسلسلة (0-1-2-3-4-5) ومرتبّة من اليسار لليمين كما يلي:

- المجموعة 0 : تحوي 3 خيارات لونية للأسنان بعد التبييض وهي المجموعة الأكثر سطوعاً.
 - المجموعة 1 : تحوي خيارين لونيين فقط.
 - المجموعات (2 - 3 - 4) : تحوي كل منها 7 خيارات لونية.
 - المجموعة 5 : تحوي 3 خيارات لونية وهي الأقل سطوعاً.
- في المجموعات (2 - 3 - 4) تكون الألوان موزعة في 3 أعمدة مرمزة بأحرف (L-M-R) تعبر عن الصبغة اللونية Hue كما يلي:

• L (left) : لونٌ مائلٌ للأصفر Yellowish.

• R (right) : لونٌ مائلٌ للأحمر Reddish.

• M (middle) : لونٌ متوسطٌ بين الأحمر والأصفر Middle hue.

أما المجموعات المتبقية (0 - 1 - 5) فتحتوي فقط الدرجة اللونية المتوسطة M.

وتم تقسيم درجات الكثافة اللونية chroma في كل مجموعة سطوعٍ إلى مستوياتٍ مرمزة بأرقام

(1 - 2 - 3) مرتبة من الأسفل للأعلى (1 = الأقل إشباعاً / 3 = الأكثر إشباعاً).



شكل 19: دليل الألوان ثلاثي الأبعاد 3D Master (Chu et al., 2004)

❖ مبادئ عامة لاختيار اللون بالطريقة البصرية التقليدية (Rosenstiel, 2006) :

1. أن تكون أسنان المريض بنفس مستوى نظر الطبيب وعلى بعد حوالي 25 سم.
2. اختيار اللون تحت مصادر ضوئية مختلفة لتجنب ظاهرة الخدامية.
3. تنظيف الأسنان جيداً قبل أخذ لونها وذلك بإزالة التصبغات والقلح.
4. اختيار اللون في بداية جلسة المعالجة قبل إجهاد عين الطبيب وقبل أن يتعرض السن للتجفاف فالأسنان الجافة تبدو أكثر إشراقاً.
5. تجنب كل ما قد يؤثر على عملية انتقاء اللون كأحمر الشفاه والملابس ذات الألوان الفاقعة.
6. تجنب التحديق بالسن لفترة طويلة (5 ثوانٍ على الأكثر) مع ضرورة إراحة العين بين المشاهدات بالنظر إلى سطح رماديّ قبل أخذ اللون مباشرة بهدف موازنة مستقبلات اللون الموجودة في الشبكية.
7. عند عدم التمكن من تحديد اللون بدقة يتم اختيار اللون الأقل كثافةً والأفتح، حيث يكون من الممكن تعديل اللون باستخدام ملوناتٍ خارجية لزيادة الكثافة اللونية وتقليل الإشراق (Chu et al., 2004).

❖ الخصائص الواجب توافرها في دليل الألوان المثالي (Tung et al., 2002) :

1. وجود تعدد كافٍ من الألوان بما يتناسب مع التنوع الموجود في الأسنان الطبيعية.
2. أن يتم ترتيب الألوان بشكل علمي يسهل اختيار اللون بدقة.
3. قابلية المقارنة مع المواد السنية المختلفة مثل الخزف والكومبوزيت وأسنان الأجهزة الصناعية.
4. الانسجام مع أدلة الألوان الأخرى.

ثانياً: الطريقة المعتمدة على التكنولوجيا Technology-based shade matching

لا تتأثر وسائل قياس اللون الالكترونية بظروف الإضاءة المحيطة أو بالعامل الشخصي ولذلك فهي تمتاز بدقة عالية وموثوقية أكبر في النتائج عند المقارنة مع الطريقة البصرية التقليدية (Freedman, 2011)، ولهذه الأجهزة أنواع عديدة أهمها:

1- أجهزة قياس الطيف الضوئي Spectrophotometers:

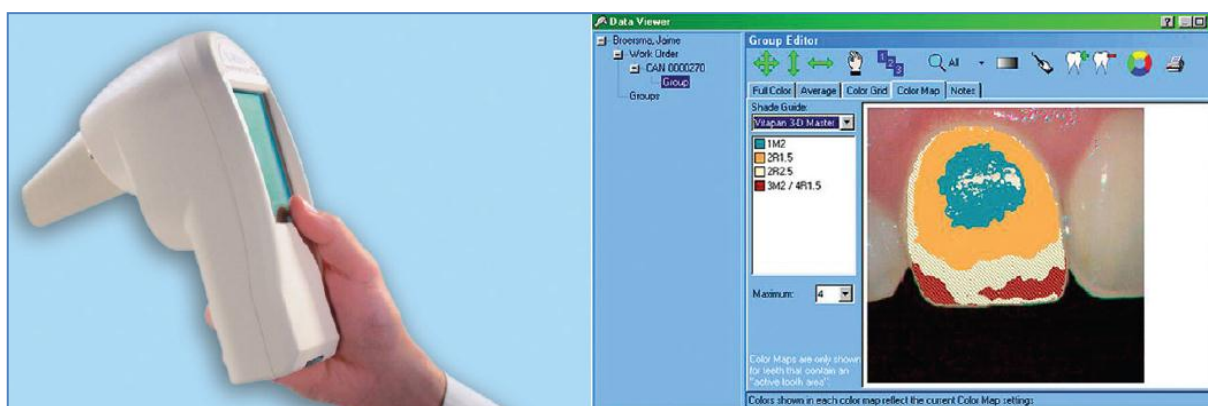
تمتاز هذه الأجهزة بدقتها العالية وبسهولة استخدامها سرياً، وتعتمد على إصدار ضوءٍ قياسيٍّ ثم تحليل الأمواج الضوئية المنعكسة عن سطح جسم ما في عدة نقاطٍ (تقريباً كل 10 نانوميتر) على طول الطيف الضوئي المنعكس، حيث يقوم بقياس كمية الطاقة الضوئية المرئية لكل صبغة لونية hue مع قياس الكثافة chroma والإشراق اللوني value في كامل الطيف المرئي، وتنتج عن هذه القياسات مجموعة من البيانات المعقدة والتي يتم تحويلها إلى قيمٍ لونيةٍ دقيقةٍ (Chu et al., 2004).

يعد جهاز Vita Easyshade* Compact من أكثر مقاييس الطيف الضوئي استخداماً، ويمتاز هذا الجهاز بما يلي (Freedman, 2011):

1. مزودٌ بقبضةٍ لاسلكيةٍ سهلة الاستخدام.
2. ذو رأسٍ صغيرٍ (قطره حوالي 5 ملم) يسهل توضع واستناده على سطح السن المراد أخذ لونه.
3. ذو شاشةٍ واضحةٍ لإظهار نتائج القياسات اللونية.
4. مزودٌ بمخرج USB بهدف وصله بالحاسوب لتوثيق النتائج.
5. يقيس 16 لوناً حسب دليل فيتا التقليدي VITAPAN classical ، و 29 لوناً حسب دليل فيتا ثلاثي الأبعاد 3D-MASTER، مع إمكانية عرض نتائج القياسات اللونية وفق نظام اللون الكمي CIE Lab.
6. إمكانية قياس لون السن كاملاً أو قياس لون مناطق محددة (ثلث عنقي، ثلث متوسط، ثلث قاطع).

2- أجهزة القياس اللوني Colorimeters (Chu et al., 2004) :

تعتمد على مبدأ انعكاس الضوء من الجسم ثم تحديد اللون مباشرة من خلال 3 فلاتر لونية (أحمر، أخضر، أزرق) بما يشبه تقريباً مبدأ عمل المستقبلات اللونية في العين، ويمكن عرض النتائج وفق نظام اللون الكمي CIE Lab ، ومن أشهر هذه الأجهزة (X-Rite, Grand Rapids, Michigan).



شكل 20: يوضح جهاز X-Rite وآلية عمله (Freedman, 2011)

3- الكاميرات الرقمية وأنظمة التصوير (Freedman, 2011) :

وهي إحدى الوسائل الالكترونية التي قد تكون فعالة وسهلة الاستخدام لتحديد اللون في طب الأسنان، ولكنها تحتاج من الممارس إلى معرفة أساسية بعلوم الحاسوب والتصوير للحصول على أفضل النتائج. تعتمد هذه التقنية على التقاط صورة رقمية للجسم المراد أخذ لونه ثم يتم معالجة هذه الصورة ببرامج حاسوبية خاصة (مثل برنامج معالجة الصور Adobe Photoshop) وتقوم بتحويلها إلى معطيات لونية دقيقة.

الدراسات السابقة :

درس تأثير عدد دورات الخبز في التغير اللوني لتعويضات الخزف المرتبط بالمعدن بشكل كبير، ومع التقدم الذي شهده علم المواد السنية في السنوات الأخيرة وانتشار استخدام التعويضات الخزفية الكاملة الخالية من المعدن ظهرت بعض الدراسات التي ناقشت نفس الموضوع باستخدام أنظمة مختلفة من الخزف الكامل وكانت النتائج متفاوتة فيما بينها:

• دراسة (Uludag et al., 2007)

درس تأثير تكرار الخبز (3-5-7) مرات في اللون النهائي لنوعين من أنظمة الخزف الكامل (IPS Empress) و (VITA In-ceram alumina) باستخدام جهاز القياس اللوني colorimeter من نوع (XL-20 Colorimeter; Gardner Instruments Laboratory Inc, Bethesda, Md)، وتألفت عينة البحث من 21 قرصاً خزفياً بلون A2 لكل من النظامين (بقطر 10 ملم وبثخانة هيكل أساسي 0.6 ملم)، قسمت لثلاث مجموعات (n=7) بحسب ثخانة الخزف المغطي (0.5 - 1 - 1.5) ملم، واستنتج أن تكرار خبز الخزف يؤثر على قيم المعاملات اللونية الثلاث a , b , L (تناقصت قيم L فظهرت العينات أغمق، بينما ازدادت قيم a , b فظهرت العينات بلون أكثر احمراراً ومائلاً للأصفر) وكانت التغيرات اللونية محدودة ولا يمكن تمييزها سريراً.

• دراسة (Celik et al., 2008)

درس تأثير تكرار الخبز (3-5-7-9) مرات في اللون النهائي لنظام الخزف (DC-zirkon) باستخدام مقياس الطيف الضوئي (VITA Easyshade; Vita Zahnfabrik; Germany)، وتألفت عينة البحث من 20 قرصاً خزفياً (بقطر 4 ملم وبثخانة هيكل أساسي 1 ملم)، قسمت لمجموعتين (n=10) بحسب لون الخزف المغطي (A1-A3) والذي طبق طبق بثخانة 1 ملم، واستنتج أن تكرار الخبز (3-5-7-9) مرات

يؤثر على اللون النهائي حيث ازدادت قيم المعامل اللوني L في كلتا المجموعتين فظهرت العينات بلونٍ أفتحٍ. وانخفضت قيم المعامل اللوني a فأصبحت العينات أكثر اخضراراً، أما قيم b فلم تتغير في عينات A1 وازدادت في عينات A3 التي أصبحت أكثر اصفراراً، وكانت جميع التغيرات اللونية الحاصلة ضمن الحدود المقبولة سريرياً.

• دراسة (Ozturk et al., 2008) :

درس تأثير عدد دورات الخبز (3-5-7-9) مرات في اللون النهائي لنوعين من أنظمة الخزف الكامل (DC-zirkon) و (IPS e.max Press) باستخدام مقياس الطيف الضوئي (VITA Easyshade; Vita Zahnfabrik; Germany)، وتألفت عينة البحث من 30 قرصاً خزفياً بلون A1 لكل من النظامين (بقطر 4 ملم وبثخانة هيكلٍ أساسيٍّ 1 ملم) ، قسمت لثلاث مجموعاتٍ (n=10) بحسب ثخانة الخزف المغطي (0.5 - 1 - 1.5) ملم، واستنتج أن تكرار الخبز (3-5-7-9) مرات يؤثر على اللون النهائي لنظامي الخزف المستخدم، حيث كان المعدل الوسطي لقيم التغيرات اللونية ضمن الحدود المقبولة سريرياً في مجموعة الزيركونيا ($\Delta E < 3$)، وتجاوز حدود القبول السريري في مجموعة الخزف الزجاجي IPS e.max Press ($\Delta E > 3.7$).

• دراسة (Sahin et al., 2010) :

درس تأثير تكرار الخبز (3-5-7-9) مرات في اللون النهائي للتعويضات المصنعة بنظام الخزف الألوميني [Turkom-Cera™ (Turkom-Ceramic (M) Sdn. Bhd.) باستخدام مقياس الطيف الضوئي (VITA Easyshade; Vita Zahnfabrik; Germany) وتألفت عينة البحث من 20 قرصاً خزفياً بقطر 10 ملم وبثخانة هيكلٍ أساسيٍّ 1 ملم ، قسمت لمجموعتين (n=10) بحسب لون الخزف المغطي (A1-A3) واستنتج أن تكرار الخبز (3-5-7-9) مرات يؤثر على اللون النهائي، حيث انخفضت قيم المعامل اللوني a (فأصبحت العينات أقل احمراراً) وانخفضت قيم المعامل اللوني b

(فأصبحت العينات أقل اصفراراً) بينما لم تتغير قيم L في عينات A1 ، وازدادت في عينات A3 (فظهرت بلونٍ أفتح) وكانت قيم التغير اللوني مقبولةً سريرياً.

• دراسة (Bachhav and Aras, 2011):

درس تأثير تكرار الخبز (3-5-7-9) مرات في اللون النهائي للتعويضات الزيركونية المصنعة بتقنية CAD/CAM بنظام (Lava ,3M ESPE, st Paul, MN, USA)، باستخدام مقياس الطيف الضوئي (VITA Easyshade; Vita Zahnfabrik; Germany) وتألفت عينة البحث من 30 قرصاً خزفياً بقطر 12 ملم وبثخانة هيكلٍ أساسيٍّ 1 ملم، قسمت لثلاث مجموعاتٍ (n=10) بحسب ثخانة الخزف المغطي (0.5 - 1 - 1.5) ملم، واستنتج حدوث تغيراتٍ لونيةٍ محدودةٍ بزيادة عدد دورات الخبز ولكن التغيرات اللونية كانت ضمن الحدود المقبولة سريرياً في جميع المراحل (أقل من 3.7).

• دراسة (Al-Dwairi et al., 2013):

درس تأثير تكرار الخبز (3-5-7) مرات في تغير اللون النهائي لخزف IPS e.max Press وتألفت عينة البحث من 60 قرصاً خزفياً بقطر 11 ملم وبثخانة هيكلٍ أساسيٍّ 1 ملم، قسمت إلى 6 مجموعات (n=10) بحسب لون خزف البناء المغطي (A2 , C2) وثخانته (0.5 - 1 - 1.5) ملم واستنتج أن زيادة عدد دورات الخبز يسبب تغيراتٍ لونيةٍ محدودةٍ للخزف المستخدم بثخاناته وألوانه المختلفة ولكن التغيرات اللونية كانت ضمن الحدود المقبولة سريرياً في جميع المراحل (أقل من 3.7).

الباب الثاني

مواد وطرائق البحث

Materials and Methods

2-1: وصف عينة البحث Sample:

تألفت عينة البحث من 20 قرصاً خزفياً بقطر 8 ملم وبثخانة 1.5 ملم، بحيث تكون ثخانة الهيكل الخزفي الداخلي (core) 0.5 ملم وثخانة خزف البناء المغطي 1 ملم.

قسمت العينة إلى مجموعتين ($n=10$) تبعاً لنوع الخزف المستخدم لصناعة الهيكل الخزفي الداخلي:

- ◀ مجموعة أقراص الخزف الزجاجي المقوى ببلورات ثنائي سيليكات الليثيوم IPS e.max press ذات الظلالية المتوسطة (MO 1) وتتم تغطيتها بخزف البناء IPS e.max Ceram.
- ◀ مجموعة الأقراص الزيركونية: يصنع الهيكل الخزفي بتقنية CAD/CAM باستخدام مكعبات الزيركونيا من نوع (DD Bio ZW) من شركة Dental Direct وتتم تغطيتها بخزف البناء IPS e.max Ceram.

2-2: مواد البحث Materials :

2-2-1: المواد المستخدمة في البحث :

- بلوك زيركونيا من نوع (DD Bio ZW) من شركة (Dental Direct, Germany)، الشكل (21).



شكل 21: بلوك الزيركونيا المستخدم

- شمع صب من شركة (Renfert , Germany)، الشكل(22).



شكل 22: شمع الصب المستخدم لتشميع أقراص المجموعة الأولى

- مسحوق كاسي ذو رابطة فوسفاتية maruvest مع السائل الخاص من شركة (megadental GmbH, Germany)، الشكل(23).



شكل 23: المسحوق الكاسي مع السائل

- مصبوباتٌ خزفيةٌ IPS e.max press(Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) بظلاليةٍ متوسطةٍ (MO1)، الشكل(24).



شكل 24: المصبوبات الخزفية المستخدمة

- الدافع أو المكبس الألوميني Alox Plunger مع المادة العازلة Alox Plunger Separator (تعزل بين الدافع والمصبوبة الخزفية أثناء الحقن الحراري) من شركة IvoclarVivadent، الشكل(25).



شكل 25: (1) الدافع الألوميني، (2) الدافع الألوميني في علبة المادة العازلة

- السائل الحمضي (Press Invex) من شركة IvoclarVivadent، الشكل (26).



شكل 26: السائل الحمضي invex

- خزف البناء (العاجي والمينائي) IPS e.max Ceram بلون A1 وخزف التزجيج Glaze من شركة

IvoclarVivadent ، الشكل (27).



شكل 27: خزف البناء المغطي (العاجي والمينائي) مع خزف التزجيج

2-2-2: الأجهزة والأدوات المستخدمة في البحث:

- جهاز CAD/CAM المكون من آلة النحت (Roland DWX-50, Japan) مع الكمبيوتر وبرنامج التصميم المرفق (ZirkonZahn, Italy)، الشكل (28).



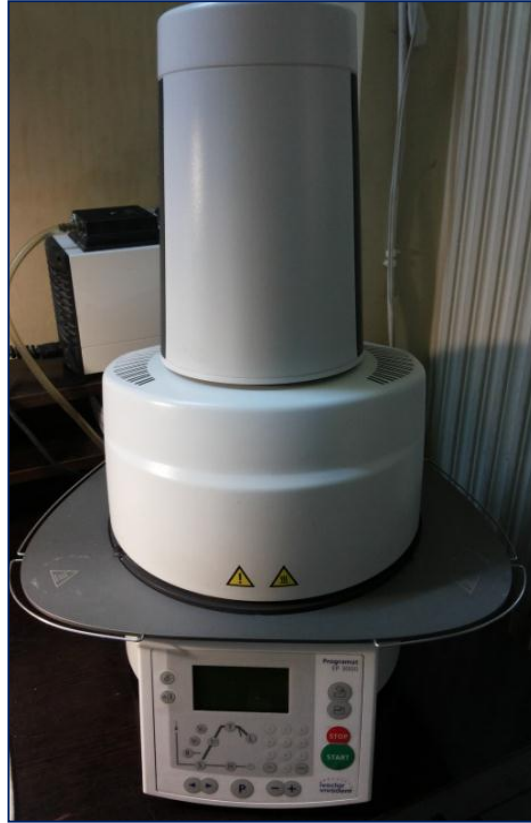
شكل 28: مكونات جهاز CAD/CAM: (1) جهاز الكمبيوتر مع برنامج التصميم (2) آلة النحت

- الفرن الخاص بتقسية الزركونيا من شركة ZirkonZahn، الشكل (29).



شكل 29: فرن تقسية الزركونيا

- فرن الحقن الحراري EP3000 المخصص لنظام IPSe.max pres من شركة IvoclarVivadent الشكل (30).



شكل 30: فرن الحقن الحراري EP3000

- فرن الخزف P300 من شركة IvoclarVivadent المخصص لخبز الخزف البناء يتواجد في مخبر الأسنان المختص، الشكل (31).



شكل 31: فرن خبز الخزف P300

- مرملة لتنظيف الأقراص الخزفية من شركة Renfert، الشكل (32).



شكل 32: المرملة المستخدمة

- جهاز قياس اللون الالكتروني (VITA Easyshade* Compact, VITA Zahnfabrik, California) يوجد في قسم المداواة في كلية طب الأسنان بجامعة دمشق، الشكل (33).



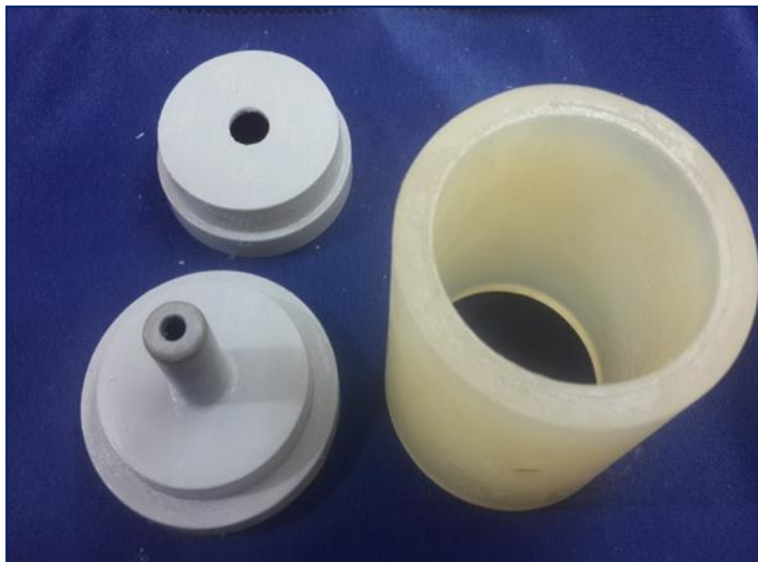
شكل 33: جهاز قياس اللون الالكتروني المستخدم

- مقياس ثخانة ميلليمي، الشكل (34).



شكل 34: مقياس الثخانة المستخدم

- البوتقة المطاطية المخصصة لنظام IPS e.max press تتكون من قاعدة وغطاء وجدار سيليكوني، الشكل (35).



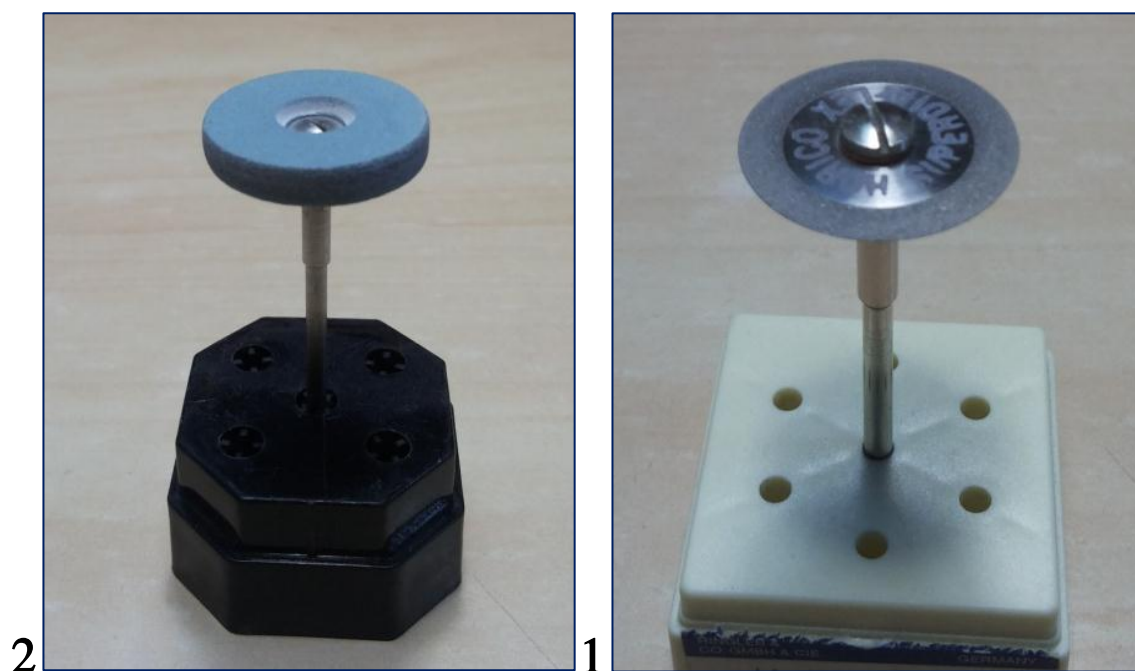
شكل 35: أجزاء البوتقة

- ميكرو توتر صناعي (Strong, Korea) ، الشكل (36).



شكل 36: الميكرو توتر الصناعي مع القبضة

- قرص فاصل ألماسي ورأس إنهاء مطاطي (SunEye, Korea)، الشكل (37).



شكل 37: (1) القرص الفاصل، (2) رأس الإنهاء المطاطي

2-3 طرائق البحث :Methods

- صنع الأقراص الخزفية (الزجاجية والسيراميكية)

المرحلة الأولى

- تكرار خبز الأقراص وتسجيل القراءات اللونية

المرحلة الثانية

2-3-1 - مرحلة صنع الأقراص الخزفية:

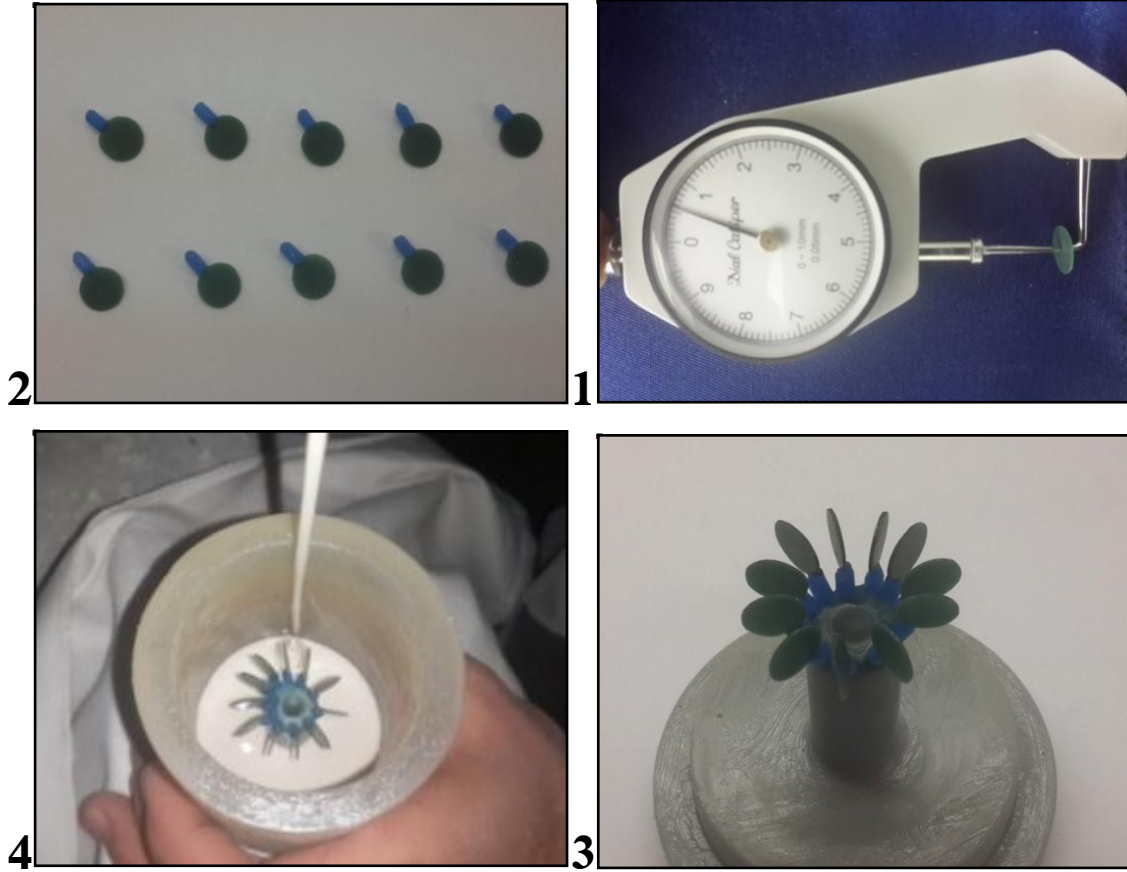
تم تصنيع 20 قرصاً خزفياً بقطر 8 ملم وبثخانة 1.5 ملم، بحيث تكون ثخانة الهيكل الخزفي (core) 0.5 ملم وثخانة خزف البناء المغطي 1 ملم، وتمت هذه الخطوات بالإستعانة بالتقني المتخصص كما يلي:

أولاً: خطوات صناعة الأقراص الخزفية الزجاجية:

- تصنيع الهيكل الأساسي core :

تم تصنيع الهيكل الأساسي بتقنية الشمع الضائع باستخدام خزف IPS e.max Press كما يلي:

- شمعت الأقراص بقطر 8 ملم وبثخانة 0.6 ملم وذلك باستخدام قالب بلاستيكي خاص بنفس الأبعاد (ستصبح الثخانة 0.5 ملم بعد إجراء الحقن الحراري وترميل الأقراص وتشذيبها)، ثم وُتِدَت الأقراص باستخدام أوتاد شمعية جاهزة (طول الوند حوالي 3 ملم وقطره 2.5 ملم) وتم تثبيتها في قاعدة البوتقة (بحيث تكون المسافة بين الأقراص 3 ملم على الأقل، والمسافة عن جدران البوتقة 10 ملم على الأقل)، ثم كسيت بالمسحوق الكاسي في بوتقة مناسبة وفق تعليمات الشركة المصنعة (100 غ بودرة تمزج مع 23 ملم من السائل المُرْفَق)، الشكل (38).



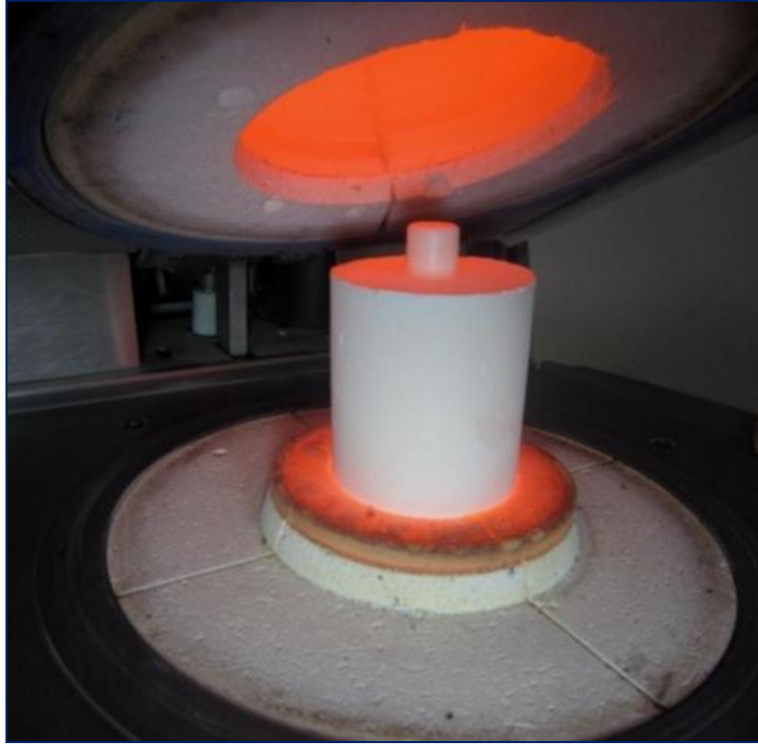
شكل 38 تشميع الأقراص وإكساؤها : (1) التأكد من ثخانة القرص الشمعي، (2) الأقراص بعد تشميعها وتوتيدها، (3) تثبيت الأقراص في قاعدة البوتقة المطاطية، (4) مرحلة الكسو.

- بعد تصلب المسحوق الكاسي أزيلت أجزاء البوتقة (القاعدة والغطاء والجدار السيليكوني) وأدخلت أسطوانة الكاسي في فرن الإحماء المخصص بدرجة حرارة تبلغ (950 °م) لمدة 60 دقيقة حتى يتبخر المثال الشمعي، الشكل(39).



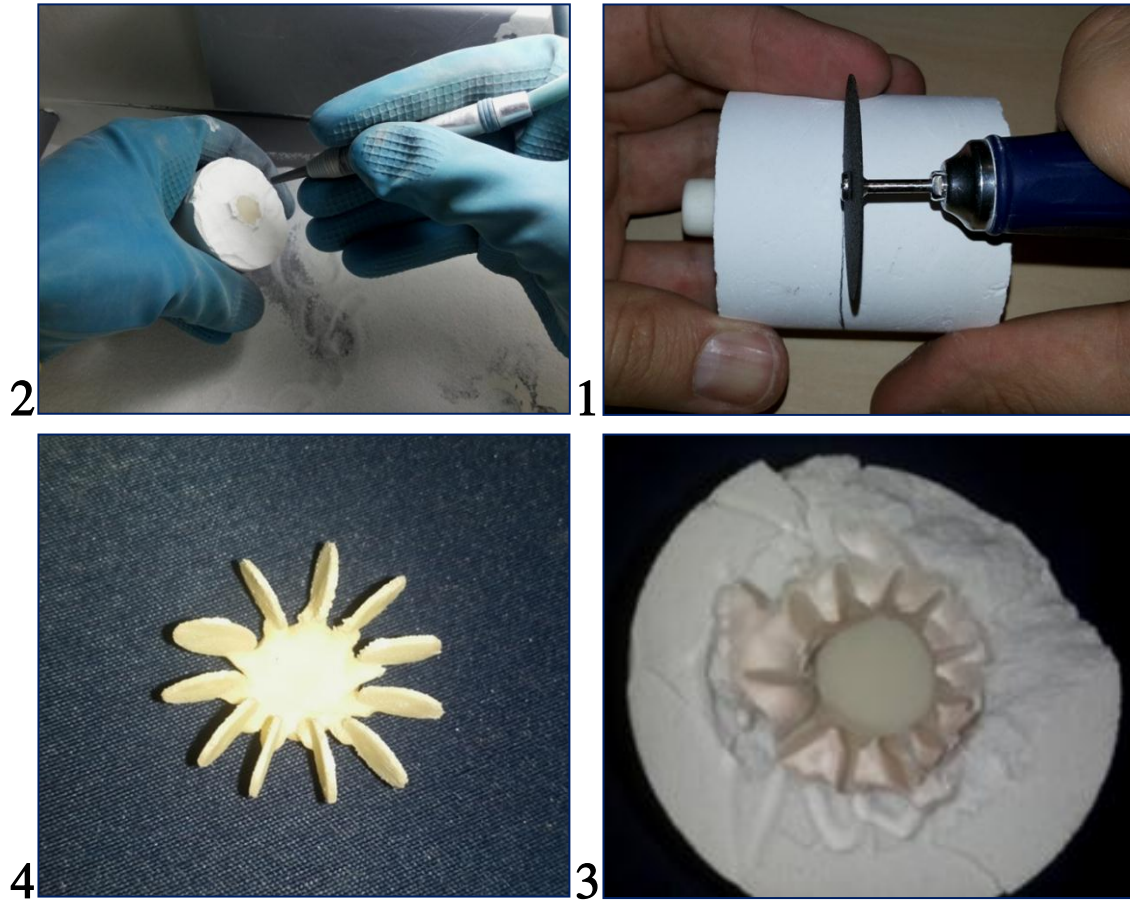
شكل 39 : أسطوانة الكاسي في فرن الإحماء

- وضعت المصبوبة الخزفية بلون MO1 (بحيث يكون الوجه المطبوع عليه نحو الأعلى) وفوقها الدافع الألوميني بوجهه المعزول باتجاه المضغوطة في مجرى الصب داخل أسطوانة الكاسي الساخنة، ونقلت مباشرةً إلى فرن الحقن الحراري ليتم حقنها ضمن الفراغ المتشكل عن احتراق النموذج الشمعي (الحقن الحراري يتم بدرجة حرارة تبلغ 925 °م)، الشكل (40).



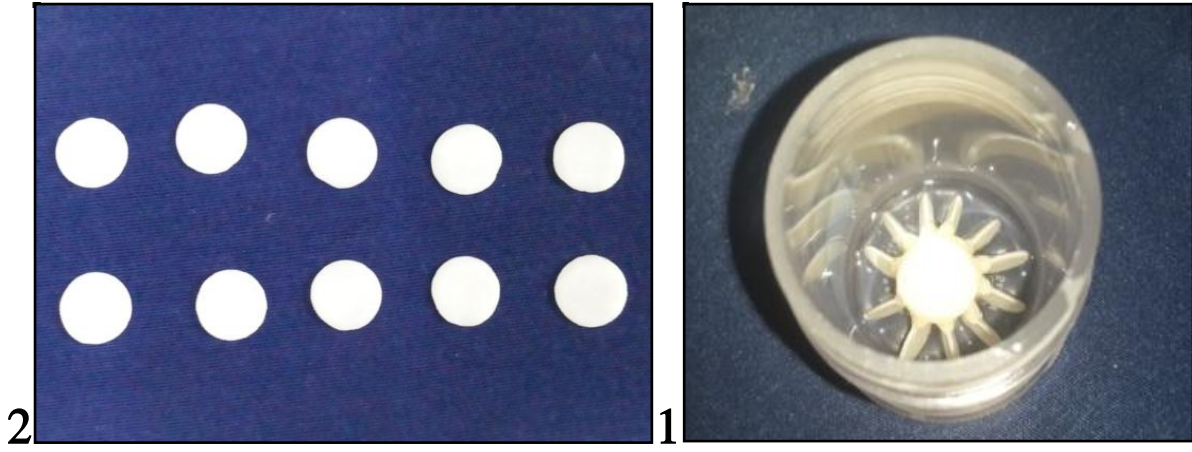
شكل 40: الحقن الحراري للمضغوطة الخزفية

- بعد أن بردت البوتقة إلى درجة حرارة الغرفة (بعد 60 دقيقة تقريباً) أزيل الدافع الألوميني بعد قص المسحوق الكاسي المحيط به حتى تتكشف كتلة الخزف المحقون، ثم تم الترميل باستخدام رملٍ من نوع polishing beads على ضغط مرملة 4 بار أولاً (الترميل الخشن) ثم على ضغط 2 بار (الترميل الناعم) مع الانتباه إلى اتجاه زاوية الترميل والمحافظة على بعدٍ مناسبٍ (حوالي 2 سم) لرأس قلم الترميل عن القطع الخزفية لتجنب تشطي الحواف، الشكل (41).



شكل 41: تنظيف الأقراص المحقونة من المسحوق الكاسي: (1) قص أسطوانة الكاسي لإزالة الدافع الألوميني، (2) مرحلة الترميل الخشن، (3) كتلة الأقراص قبل مرحلة الترميل الناعم، (4) كتلة الأقراص بعد تنظيفها من المسحوق الكاسي

- بعد تنظيف الأقراص من المسحوق الكاسي تم نقعها في السائل الحمضي Press Invex لمدة لم تتجاوز 30 دقيقة، ثم أخرجت من السائل وغسلت بالماء وجففت وتم ترميلها باستخدام رمل أكسيد الألمنيوم 100 ميكرون بضغط 1-2 بار لإزالة الطبقة المتأكسدة الناتجة عن الحقن الحراري، الشكل (1-42).
- فصلت الأقراص الخزفية باستخدام قرص فاصل ألماسي رقيق، وتم تشذيبها وتنعيمها باستخدام رأس إنهاء مطاطي خاص بحيث تكون الشخانة النهائية لكل قرص خزفي (0.05 ± 0.5) ملم، ثم أجريت خبزة التأسيس الأولية (wash firing) حسب تعليمات الشركة المنتجة لتكون الأقراص جاهزة لاستقبال خبز البناء المغطي IPS e.max Ceram بلون A1، الشكل (2-42).

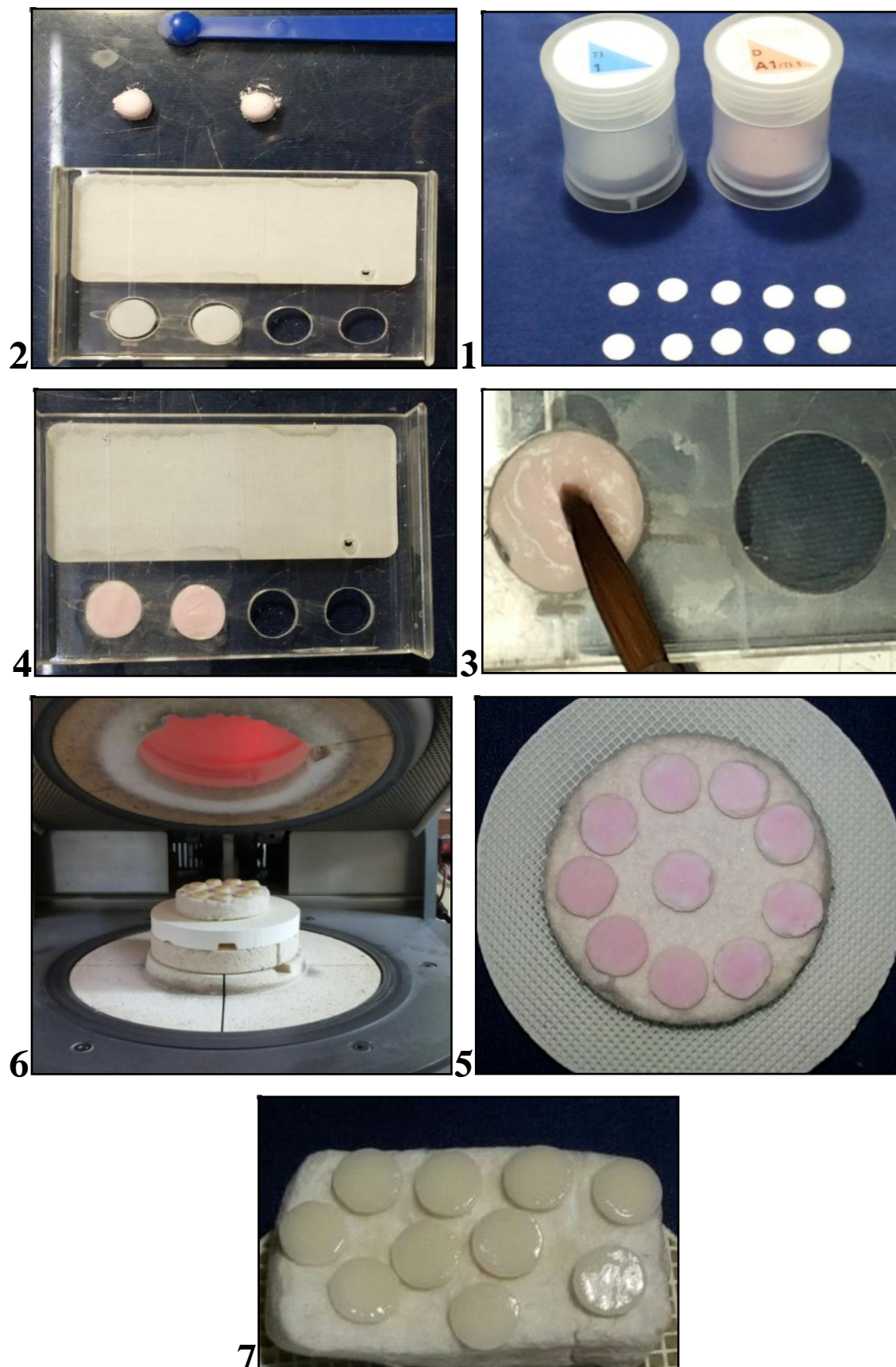


شكل 42: تجهيز الأقراص لبناء الخزف المغطي: (1) كتلة أقراص خزف (e.max press) في السائل الحمضي، (2) الأقراص بعد تشذيبها.

• تطبيق خزف البناء المغطي IPS e.max Ceram، الشكل (2-43):

بعد إجراء خبزة التأسيس الأولية (wash firing) تم تطبيق الخزف المغطي بالطريقة التقليدية باستخدام الفرشاة على 3 مراحل كما يلي:

- مزج الخزف العاجي أولاً وتم تطبيقه بالفرشاة ثم تكثيفه بمنديل ورقي فوق الأقراص، وذلك بعد وضع كل قرص ضمن قالب بلاستيكي خاص بقطر 8 ملم وبثخانة 1.5 ملم، تم تصنيعه خصيصاً لضمان الحصول على ثخانة موحدة للخزف المغطي. ثم خبزت الأقراص في الفرن المخصص وفق تعليمات الشركة المنتجة (درجة حرارة الخبز 750 °م مع تخلية هوائية)، وتم إنهاء الثخانة بحيث تترك مسافة حوالي 0.3 ملم للخزف المينائي ولطبقة التزجيج الأخيرة.
- طبق الخزف المينائي بنفس الطريقة السابقة باستخدام نفس القالب البلاستيكي وخبزت الأقراص مرة أخرى وتم إنهاؤها وتنعيمها بحيث تكون الثخانة النهائية للقرص 1.5 ملم.
- أخيراً تم تزجيج الأقراص بدرجة حرارة تبلغ 725 °م لتكون جاهزة لأخذ اللون الأولي قبل البدء بمرحلة تكرار الخبز.

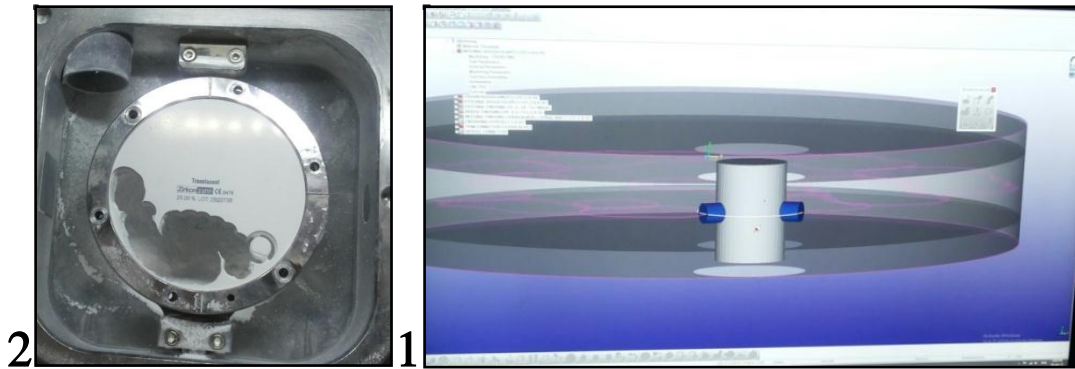


شكل 43: طريقة تطبيق خزف البناء المغطي: (1) أقراص الخزف المحقون جاهزة لتطبيق خزف البناء ، (2,3,4) تطبيق الخزف المغطي باستخدام الفرشاة ضمن القالب البلاستيكي، (5) الأقراص بعد تغطيتها جاهزة للخبز، (6) الأقراص بعد خبز الخزف العاجي، (7) أقراص الخزف الزجاجي جاهزة لأخذ اللون بعد تزجيجها.

ثانياً: خطوات صناعة الأقراص الزيركونية:

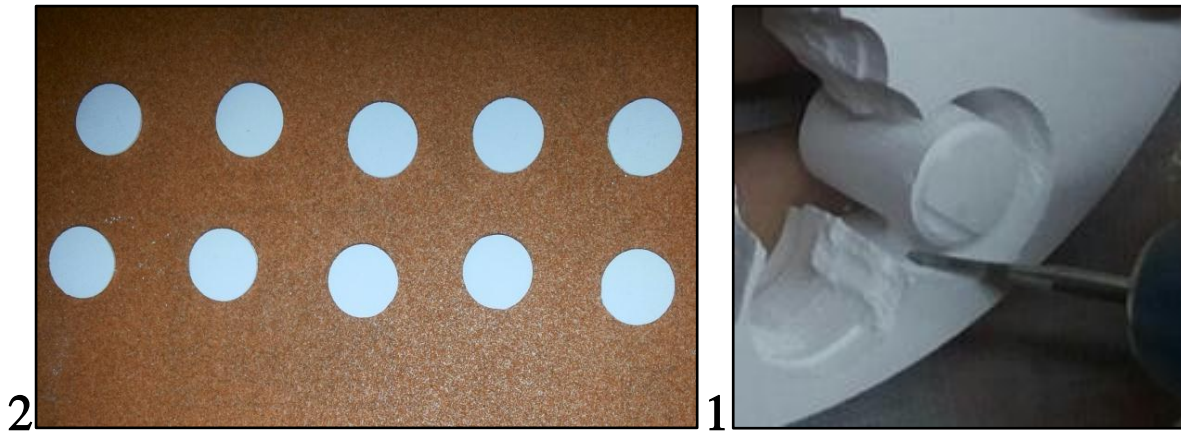
صنعت هذه الأقراص بتقنية التصميم والنحت الحاسوبي CAD/CAM كما يلي:

- 1- جرى أولاً تصميم أسطوانة باستخدام جهاز الحاسوب المرفق، الشكل (1-44) بما يتناسب مع الأبعاد النهائية المطلوبة للأقراص (مع حساب نسبة التقلص اللاحق الذي ستعرض له الأقراص خلال عملية التلبيد)، ثم أعطي أمر النحت، (2-44).



شكل 44: تصميم ونحت الأسطوانة الزيركونية: (1) تصميم الأسطوانة الزيركونية، (2) الأسطوانة الزيركونية بعد نحتها .

- 2- فصلت الأسطوانة بعد انتهاء نحتها عن بلوك الزيركونيا باستخدام سنبل ماسية مخروطية (يبلغ ارتفاع بلوك الزيركونيا المستخدم 14 ملم)، الشكل (1-45). ثم قسمت باستخدام قرص فاصل ألماسي رقيق لتعطي 10 أقراص زيركونية، الشكل (1-45). وتم إنهاء الأقراص وتشذيبها باستخدام ورق زجاج ناعم للحصول على النخانة المطلوبة مع أخذ نسبة التقلص (حوالي 20%) نتيجة التعرض اللاحق للحرارة بالحسبان.



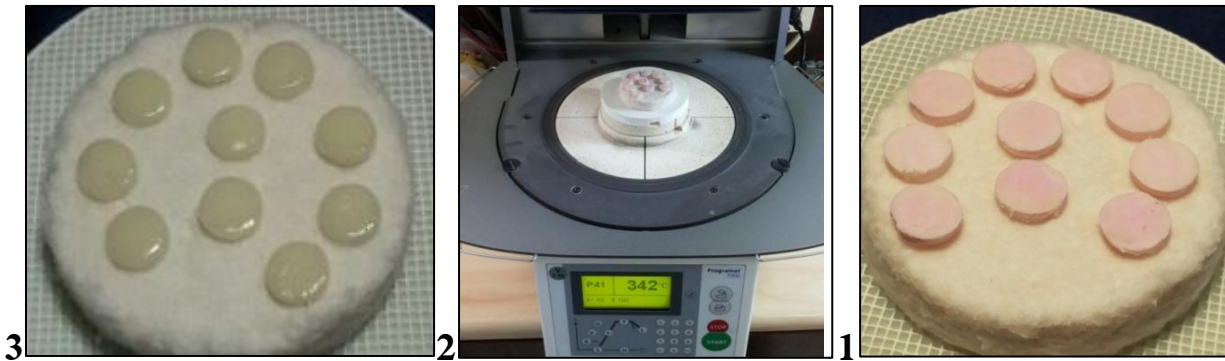
شكل 45 : تصنيع هياكل أقراص الزيركونيا: (1) فصل الأسطوانة عن بلوك الزيركونيا، (2) الأقراص الزيركونية بعد تقطيع الأسطوانة

3- وضعت الأقراص في فرن الإحماء المخصص، الشكل (46)، لتليدها وتقسيته بشكلٍ كاملٍ لمدة 7 ساعات وفقاً لتعليمات الشركة المنتجة.



شكل 46: تليد الهياكل الزيركونية في فرن الإحماء المخصص

4- أخرجت الأقراص من الفرن ونظفت وتم التأكد من الثخانات باستخدام مقياس الثخانة لتكون جاهزة لاستقبال الخزف المغطي (العاجي والمينائي) IPS e.max Ceram بلون A1 بنفس الطريقة التي استخدمت سابقاً لتغطية أقراص الخزف الزجاجي المحقون، الشكل (47).



شكل 47: تغطية هياكل الزيركونيا بالخزف المغطي وخبزها: (1-2) الأقراص الزيركونية بعد تغطيتها بالخزف العاجي قبل الخبز (3) الأقراص الزيركونية بعد خبزها وتزجيجها جاهزة لأخذ اللون

- وضعت جميع أقراص العينة ضمن علبة بلاستيكية خاصة تحوي حبرات متعددة، الشكل (48)، ورقمت حبرات الأقراص الزيركونية بأرقام (من z1 حتى z10) وأقراص الخزف الزجاجي بأرقام (من e1 حتى e10)، الشكل (49)، وذلك للحفاظ على كل قرص في مكانه خلال مراحل أخذ القياسات اللونية.



شكل 48: أقراص الخزف الزجاجي وأقراص الزيركونيا داخل حبرات العلبة البلاستيكية الحافظة للعينات

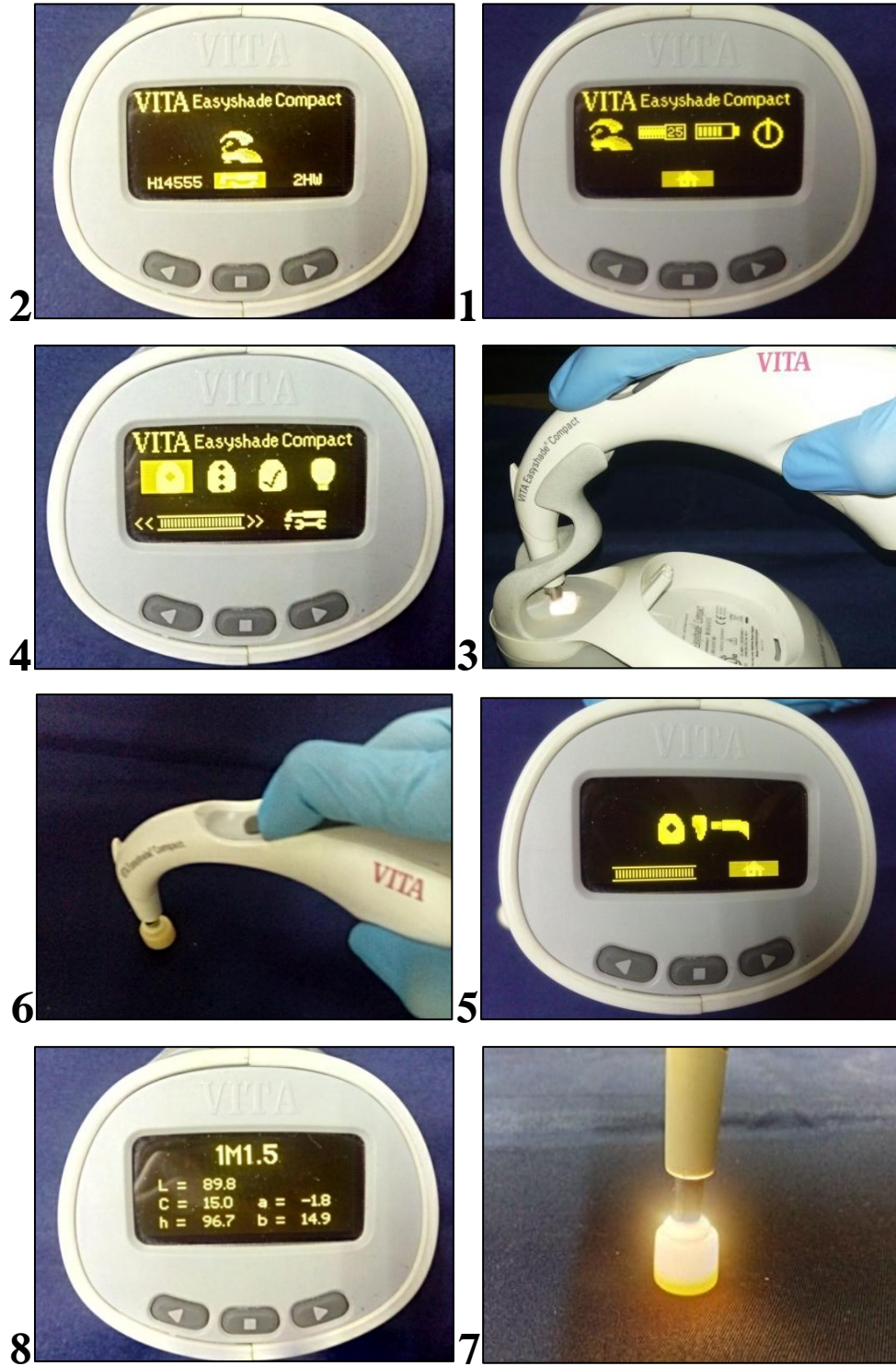


شكل 49: يوضح ترقيم حبرات الحافظة البلاستيكية

2-3-2: مرحلة تكرار الخبز وتسجيل القراءات اللونية :

تم قياس اللون لجميع أقراص العينة من طرفها المزجج في نفس ظروف الإضاءة باستخدام جهاز قياس اللون الإلكتروني VITA Easyshade* Compact كما يلي، الشكل (50):

- بعد تشغيل الجهاز تم اختيار أيقونة المعايرة من شاشة الخيارات الرئيسية للجهاز، ثم ضُغَطَ رأس الجهاز بشكل خفيف ولمدة 5 ثوان تقريباً على بلوك المعايرة الموجود في قاعدة الجهاز حتى سماع صوت الطنين الذي يدل على انتهاء المعايرة.
- ضبطت الخيارات المناسبة وذلك باختيار أيقونة قياس اللون المفرد.
- نظفت الأقراص أولاً باستخدام سائلٍ مطهرٍ كحوليٍّ، وتم وضع كل قرصٍ أثناء أخذ اللون على مضغوظةٍ خزفيةٍ بلون A3 بغرض توحيد لون الخلفية لجميع العينات.
- يوضع رأس الجهاز بشكلٍ عموديٍّ ملاصقاً لسطح القرص من طرفه المزجج وفي مركزه، ثم يتم الضغط المستمر على الزر الموجود في أعلى قبضة الجهاز حتى سماع صوت الطنين الذي يدل على انتهاء أخذ اللون.
- تم أخذ 3 قياساتٍ لونيةٍ لكل قرصٍ خزفيٍّ ثم أخذ المتوسط الحسابي للقيم الناتجة، وبنفس الطريقة تم قياس إحداثيات اللون في كل مرحلة بعد تكرار الخبز (2-4-6 مرات) وسجلت النتائج ضمن جداول ليتم حساب قيم التغير اللوني لكل قرصٍ ومن ثم إجراء الدراسات الإحصائية المناسبة.



شكل 50: طريقة قياس اللون باستخدام جهاز VITA Easyshade Compact: (1) شاشة الخيارات الرئيسية للجهاز، (2) اختيار أيقونة المعايرة، (3) معايرة رأس الجهاز، (4) اختيار أيقونة قياس اللون النقطي، (5) الجهاز جاهز لقياس اللون، (6) يوضح قياس اللون لأحد الأقراص، (7) رأس الجهاز أثناء قياس اللون لأحد الأقراص بعد وضعه على المضغوة الخزفية، (8) نتائج قياس اللون لأحد الأقراص.

الباب الثالث

النتائج

Results

الدراسة الإحصائية:

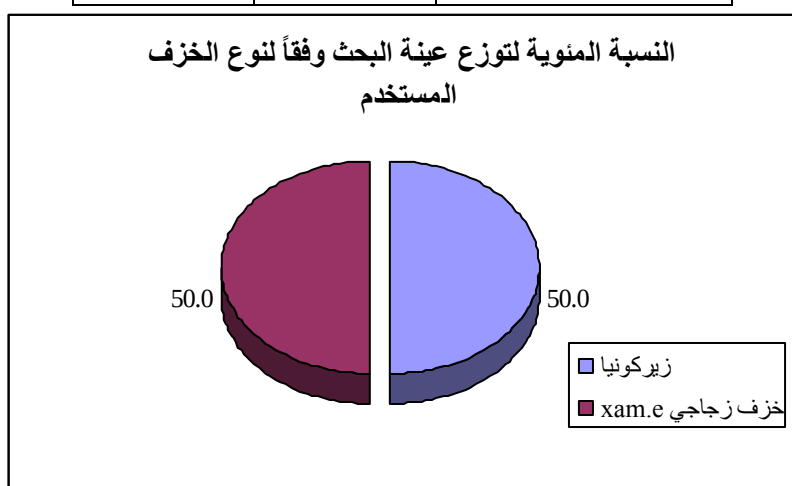
3-1: وصف العينة:

تألفت عينة البحث من 20 قرصاً خزفياً كانت مقسمةً إلى مجموعتين رئيسيتين متساويتين وفقاً لنوع الخزف المستخدم (زيركونيا، خزف زجاجي e.max)، وكان توزع عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم كما يلي:

توزع عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم:

جدول 1: يبين توزع عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم.

نوع الخزف المستخدم	عدد الأقراص	النسبة المئوية
زيركونيا	10	50.0
خزف زجاجي e.max	10	50.0
المجموع	20	100



مخطط 1: يمثل النسبة المئوية لتوزع عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم.

3-2: الدراسة الإحصائية التحليلية:

تم قياس المعاملات اللونية (L^* ، a^* ، b^*) في أربع مراحل مختلفة (قبل تكرار الخبز، بعد دورتي خبز اثنتين، بعد 4 دورات خبز، بعد 6 دورات خبز) لكل قرص خزفي من الأقراص المدروسة في عينة البحث ثم تم حساب مقدار التغير اللوني ΔE بين كل زوج من المراحل المدروسة (تغير اللون الأولي بعد دورتي خبز اثنتين، تغير اللون الأولي بعد 4 دورات خبز، تغير اللون الأولي بعد 6 دورات خبز، التغير اللوني بين دورتي الخبز 2-4،

التغير اللوني بين دورتي الحَبْز 2-6 ، التغير اللوني بين دورتي الحَبْز 4-6 (لكل قرص خزفي من الأقراص المدروسة في عينة البحث وفقاً للمعادلات التالية:

$$\begin{aligned} \text{مقدار التغير اللوني الأولي } \Delta E \text{ بعد دورتي حَبْز اثنتين لكل قرص خزفي} &= [\text{مقدار التغير في قيمة المعامل } L^* \text{ بعد دورتي حَبْز اثنتين}]^2 + (\text{مقدار التغير في قيمة المعامل } a^* \text{ بعد دورتي حَبْز اثنتين})^2 + (\text{مقدار التغير في قيمة المعامل } b^* \text{ بعد دورتي حَبْز اثنتين})^{0.5} \text{ للقرص الخزفي نفسه} \\ \text{مقدار التغير اللوني الأولي } \Delta E \text{ بعد أربع دورات حَبْز لكل قرص خزفي} &= [\text{مقدار التغير في قيمة المعامل } L^* \text{ بعد أربع دورات حَبْز}]^2 + (\text{مقدار التغير في قيمة المعامل } a^* \text{ بعد أربع دورات حَبْز})^2 + (\text{مقدار التغير في قيمة المعامل } b^* \text{ بعد أربع دورات حَبْز})^{0.5} \text{ للقرص الخزفي نفسه} \\ \text{مقدار التغير اللوني الأولي } \Delta E \text{ بعد ست دورات حَبْز لكل قرص خزفي} &= [\text{مقدار التغير في قيمة المعامل } L^* \text{ بعد ست دورات حَبْز}]^2 + (\text{مقدار التغير في قيمة المعامل } a^* \text{ بعد ست دورات حَبْز})^2 + (\text{مقدار التغير في قيمة المعامل } b^* \text{ بعد ست دورات حَبْز})^{0.5} \text{ للقرص الخزفي نفسه} \end{aligned}$$

ثم تم تحديد درجة القبول السريري للتغير اللوني بين كل زوج من المراحل السابقة المدروسة لكل قرص خزفي في عينة البحث، وقد تم إعطاء كل درجة من درجات القبول السريري للتغير اللوني قيمة متزايدة تصاعدياً وفقاً لقيم مقدار التغير اللوني ΔE كما في الجدول التالي:

جدول 2: يبين الدرجات المعتمدة للقبول السريري للتغير اللوني في عينة البحث والقيم الموافقة المعطاة لكل درجة.

القيمة الموافقة المعطاة	درجة القبول السريري للتغير اللوني	قيمة مقدار التغير اللوني ΔE في كل مرحلة مدروسة
1	تغير لوني غير مقبول سريرياً	أكبر من 3.7
2	تغير لوني مقبول سريرياً	أكبر من 1 وأصغر أو تساوي 3.7
3	تطابق لوني من الناحية السريرية	أصغر أو تساوي 1

ثم تمت دراسة تأثير نوع الخزف المستخدم (زيركونيا، خزف زجاجي e.max) في كل من المتغيرات المدروسة في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة، كما تمت دراسة تأثير المرحلة المدروسة في قيم كل من المتغيرات المدروسة وفقاً لنوع الخزف المستخدم وكانت نتائج التحليل كما يلي:

3-2-1: دراسة قيم المعاملات اللونية في عينة البحث:

« دراسة تأثير نوع الخزف المستخدم في قيم المعاملات اللونية (L^* ، a^* ، b^*) وفقاً للمرحلة المدروسة:

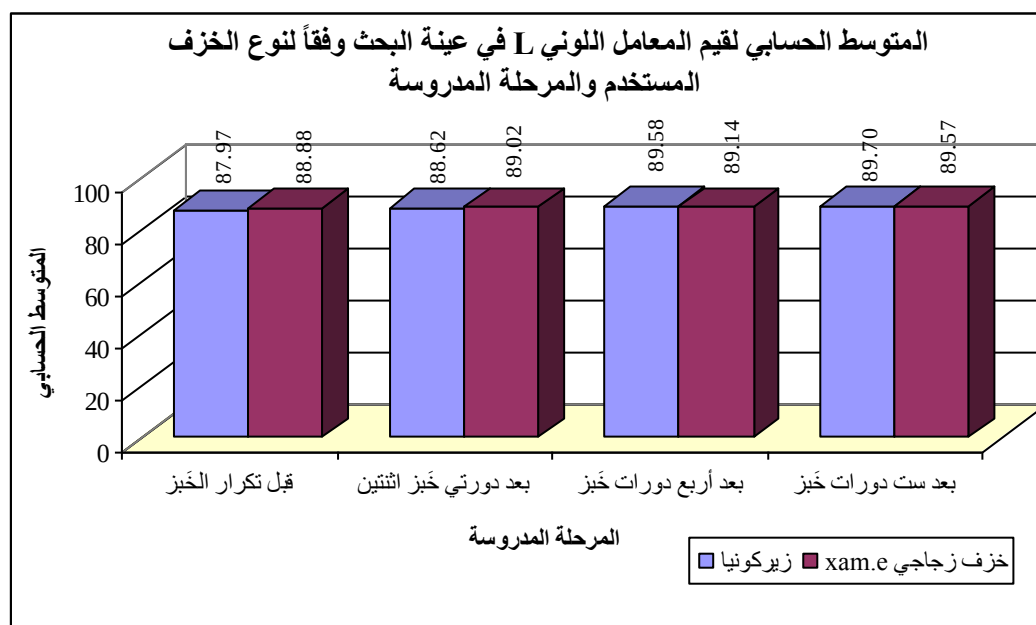
تم إجراء اختبار T ستيودنت للعينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قيم كل من المعاملات اللونية (L^* ، a^* ، b^*) بين مجموعة الخزف زيركونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث، وذلك وفقاً للمرحلة المدروسة كما يلي:

- إحصاءات وصفية:

أ - بالنسبة لقيم المعامل L^* :

جدول 3: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى لقيم المعامل اللوني L^* في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

المتغير المدروس = قيم المعامل L^*							
المرحلة المدروسة	نوع الخزف المستخدم	عدد الأقراص	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى
قبل تكرار الخبز	زيركونيا	10	87.97	0.77	0.24	86.77	88.83
	خزف زجاجي e.max	10	88.88	0.45	0.14	88.30	89.70
بعد دورتي خبز	زيركونيا	10	88.62	0.71	0.23	87.47	89.50
	خزف زجاجي e.max	10	89.02	0.59	0.19	88.23	90.17
بعد 4 دورات خبز	زيركونيا	10	89.58	0.79	0.25	88.10	90.67
	خزف زجاجي e.max	10	89.14	0.59	0.19	88.13	90.00
بعد 6 دورات خبز	زيركونيا	10	89.70	0.68	0.21	88.67	91.00
	خزف زجاجي e.max	10	89.57	0.60	0.19	88.27	90.40

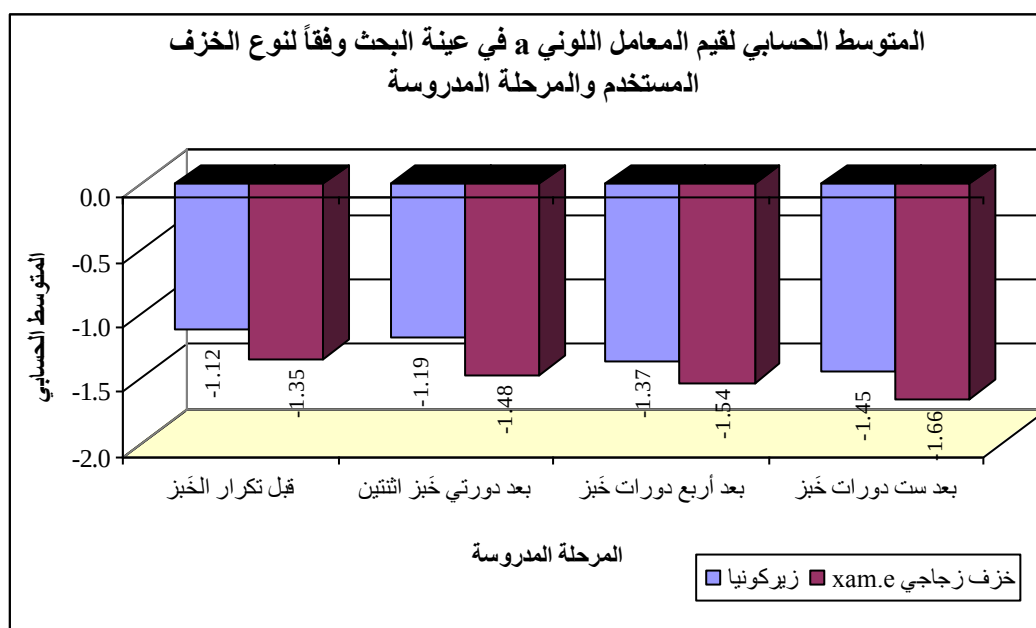


مخطط 2: يمثل المتوسط الحسابي لقيم المعامل اللوني L^* في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

ب - بالنسبة لقيم المعامل a^* :

جدول 4: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى لقيم المعامل اللوني a^* في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

المتغير المدروس = قيم المعامل a^*							
المرحلة المدروسة	نوع الخزف المستخدم	عدد الأقراص	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى
قبل تكرار الخزف	زيركونيا	10	-1.12	0.23	0.07	-1.33	-0.67
	خزف زجاجي e.max	10	-1.35	0.13	0.04	-1.47	-1.03
بعد دورتي خزف اثنتين	زيركونيا	10	-1.19	0.19	0.06	-1.37	-0.83
	خزف زجاجي e.max	10	-1.48	0.07	0.02	-1.57	-1.37
بعد 4 دورات خزف	زيركونيا	10	-1.37	0.15	0.05	-1.50	-1.00
	خزف زجاجي e.max	10	-1.54	0.09	0.03	-1.67	-1.40
بعد 6 دورات خزف	زيركونيا	10	-1.45	0.14	0.05	-1.67	-1.23
	خزف زجاجي e.max	10	-1.66	0.09	0.03	-1.80	-1.50

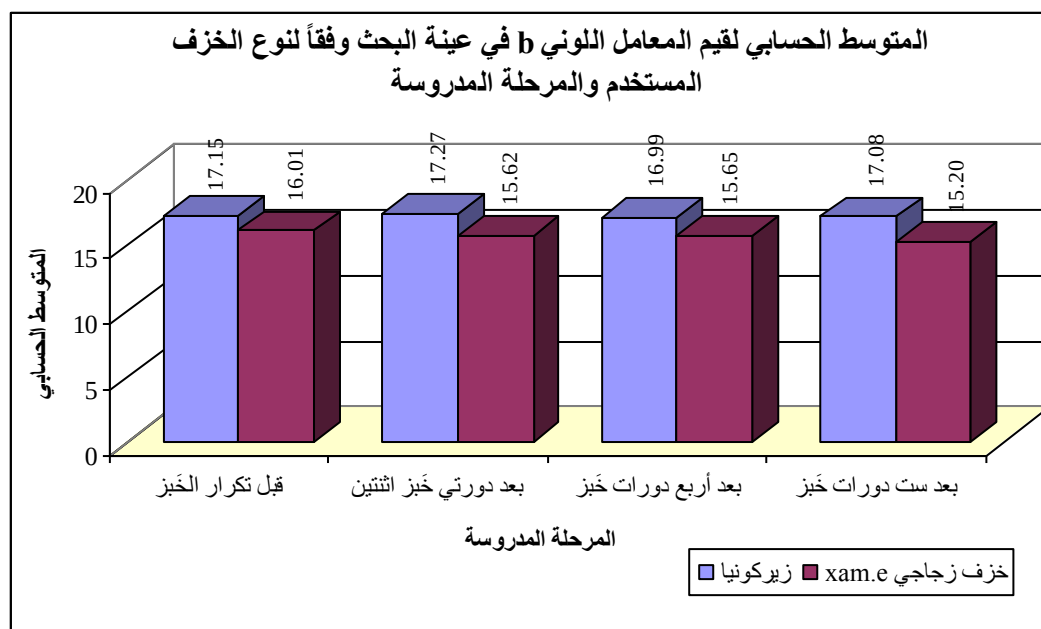


مخطط 3: يمثل المتوسط الحسابي لقيم المعامل اللوني a^* في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

ج - بالنسبة لقيم المعامل b^* :

جدول 5: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى لقيم المعامل اللوني b^* في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

المتغير المدروس = قيم المعامل b^*							
المرحلة المدروسة	نوع الخزف المستخدم	عدد الأقراص	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى
قبل تكرار الخبز	زيركونيا	10	17.15	2.14	0.68	14.57	22.37
	خزف زجاجي e.max	10	16.01	2.40	0.76	12.63	20.10
بعد دورتي خبز	زيركونيا	10	17.27	1.96	0.62	14.80	22.00
	خزف زجاجي e.max	10	15.62	2.25	0.71	12.53	19.50
بعد 4 دورات خبز	زيركونيا	10	16.99	1.90	0.60	14.70	21.50
	خزف زجاجي e.max	10	15.65	2.30	0.73	12.57	19.43
بعد 6 دورات خبز	زيركونيا	10	17.08	2.11	0.67	14.40	21.97
	خزف زجاجي e.max	10	15.20	2.33	0.74	12.20	19.20



مخطط 4: يمثل المتوسط الحسابي لقيم المعامل اللوني b^* في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

- نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المستقلة:

جدول 6: يبين نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قيم كل من المعاملات اللونية (L^* , a^* , b^*) بين مجموعة الخزف زيكونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث، وذلك وفقاً للمرحلة المدروسة

المتغير المدروس	المرحلة المدروسة	قيمة t المحسوبة	درجات الحرية	الفرق بين المتوسطين	الخطأ المعياري للفرق	قيمة مستوى الدلالة	دلالة الفروق
قيم المعامل L^*	قبل تكرار الخزف	-3.224	18	-0.91	0.28	0.005	توجد فروق دالة
	بعد دورتي خزف	-1.365	18	-0.40	0.29	0.189	لا توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خزف	1.409	18	0.44	0.31	0.176	لا توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خزف	0.465	18	0.13	0.29	0.648	لا توجد فروق دالة
قيم المعامل a^*	قبل تكرار الخزف	2.780	18	0.23	0.08	0.012	توجد فروق دالة
	بعد دورتي خزف	4.499	18	0.29	0.06	0.000	توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خزف	2.993	18	0.17	0.06	0.008	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خزف	4.003	18	0.22	0.05	0.001	توجد فروق دالة
قيم المعامل b^*	قبل تكرار الخزف	1.128	18	1.15	1.02	0.274	لا توجد فروق دالة
	بعد دورتي خزف	1.751	18	1.65	0.94	0.097	لا توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خزف	1.422	18	1.34	0.94	0.172	لا توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خزف	1.895	18	1.88	0.99	0.074	لا توجد فروق دالة

يبين الجدول أعلاه أن قيمة مستوى الدلالة أصغر من القيمة 0.05 بالنسبة للمعامل L في المرحلة (قبل تكرار الخزف) وبالنسبة للمعامل a مهما كانت المرحلة المدروسة (قبل تكرار الخزف، بعد دورتي خزف، بعد 4 دورات خزف، بعد 6 دورات خزف)، أي أنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق دالة إحصائية في متوسط قيم المعامل اللوني L قبل الخزف بين مجموعة الخزف زيكونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max. وكذلك توجد فروق دالة إحصائية في متوسط قيم المعامل اللوني a بين مجموعة الخزف زيكونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max مهما كانت المرحلة المدروسة في عينة البحث، وبدراسة الإشارة الجبرية للفروق بين المتوسطات نستنتج أن قيم المعامل اللوني L قبل الخزف في مجموعة الخزف زيكونيا كانت أصغر منها في مجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث، ونستنتج أن المعامل اللوني a (بالقيم المطلقة) في مجموعة الخزف زيكونيا كانت أصغر منها في مجموعة الخزف الزجاجي e.max مهما كانت المرحلة المدروسة في عينة البحث.

أما بالنسبة للمعامل اللوني L في كل من المراحل (بعد دورتي خَبْر ، بعد 4 دورات خَبْر، بعد 6 دورات خَبْر) وبالنسبة للمعامل اللوني b مهما كانت المرحلة المدروسة فيلاحظ أن قيمة مستوى الدلالة أكبر من القيمة 0.05، أي أنه عند مستوى الثقة 95% لا توجد فروق دالة إحصائية في متوسط قيم كل من المعامل اللوني L بين مجموعة الخزف زيركونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في كل من المراحل (بعد دورتي خَبْر ، بعد 4 دورات خَبْر، بعد 6 دورات خَبْر)، وكذلك لا توجد فروق دالة إحصائية في متوسط قيم كل من المعامل اللوني b بين مجموعة الخزف زيركونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max مهما كانت المرحلة المدروسة من عينة البحث.

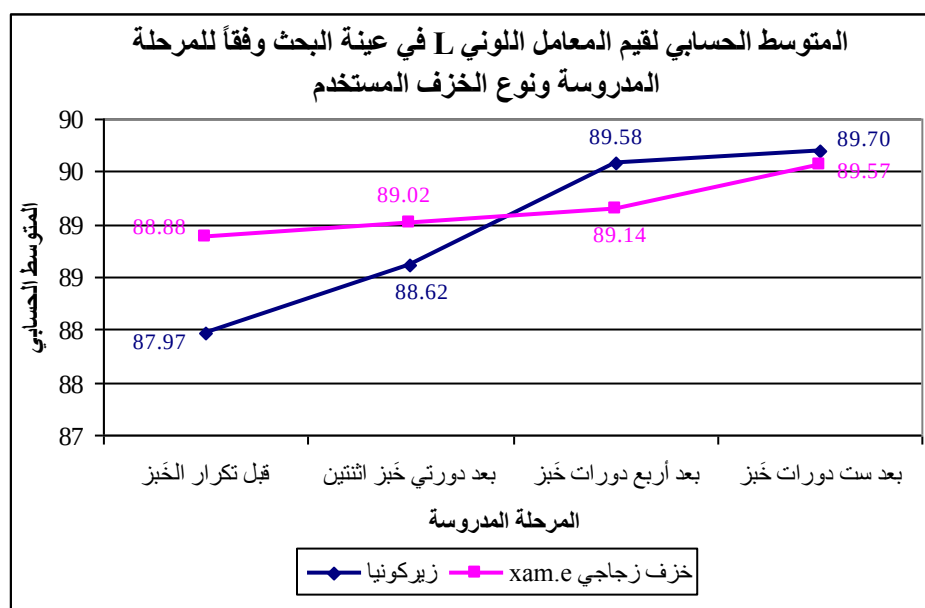
◀ دراسة تأثير المرحلة المدروسة في قيم المعامل اللوني L* وفقاً لنوع الخزف المستخدم:

تم إجراء اختبار T ستيودنت للعينات المترابطة لدراسة دلالة الفروق الثنائية في متوسط قيم المعامل اللوني L* بين المراحل الأربع المدروسة (قبل تكرار الخَبْر، بعد دورتي خَبْر ، بعد 4 دورات خَبْر، بعد 6 دورات خَبْر) في عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم كما يلي:

- إحصاءات وصفية:

جدول 7: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى لقيم المعامل اللوني L* في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم.

المتغير المدروس = قيم المعامل L*							
نوع الخزف المستخدم	المرحلة المدروسة	عدد الأقراص	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى
زيركونيا	قبل تكرار الخَبْر	10	87.97	0.77	0.24	86.77	88.83
	بعد دورتي خَبْر	10	88.62	0.71	0.23	87.47	89.50
	بعد 4 دورات خَبْر	10	89.58	0.79	0.25	88.10	90.67
	بعد 6 دورات خَبْر	10	89.70	0.68	0.21	88.67	91.00
خزف زجاجي e.max	قبل تكرار الخَبْر	10	88.88	0.45	0.14	88.30	89.70
	بعد دورتي خَبْر	10	89.02	0.59	0.19	88.23	90.17
	بعد 4 دورات خَبْر	10	89.14	0.59	0.19	88.13	90.00
	بعد 6 دورات خَبْر	10	89.57	0.60	0.19	88.27	90.40



مخطط 5: يمثل المتوسط الحسابي لقيم المعامل اللوني L في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم.

- نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المترابطة:

جدول 8: يبين نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المترابطة لدراسة دلالة الفروق الثنائية في متوسط قيم المعامل اللوني L* بين المراحل الأربع المدروسة (قبل الخزف، بعد دورتي خزف اثنتين، بعد أربع دورات خزف، بعد ست دورات خزف) في عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم.

المتغير المدروس = قيم المعامل L*					
نوع الخزف المستخدم	المقارنة في القيم بين المرحلتين:	الفرق بين المتوسطين	قيمة t المحسوبة	درجات الحرية	قيمة مستوى الدلالة
زيركونيا	بعد دورتي خزف - قبل تكرار الخزف	0.65	5.407	9	0.000
	بعد 4 دورات خزف - قبل تكرار الخزف	1.61	10.821	9	0.000
	بعد 6 دورات خزف - قبل تكرار الخزف	1.73	11.013	9	0.000
	بعد 4 دورات خزف - بعد دورتي خزف	0.96	8.845	9	0.000
	بعد 6 دورات خزف - بعد دورتي خزف	1.08	5.893	9	0.000
	بعد 6 دورات خزف - بعد أربع دورات	0.12	0.650	9	0.532
خزف زجاجي e.max	بعد دورتي خزف - قبل تكرار الخزف	0.14	1.149	9	0.280
	بعد 4 دورات خزف - قبل تكرار الخزف	0.26	2.105	9	0.065
	بعد 6 دورات خزف - قبل تكرار الخزف	0.68	5.500	9	0.000
	بعد 4 دورات خزف - بعد دورتي خزف	0.12	1.306	9	0.224
	بعد 6 دورات خزف - بعد دورتي خزف	0.55	4.513	9	0.001
	بعد 6 دورات خزف - بعد 4 دورات خزف	0.42	5.522	9	0.000

يبين الجدول أعلاه أن قيمة مستوى الدلالة أكبر من القيمة 0.05 عند المقارنة في قيم المعامل اللوني L بين المرحلتين المدروستين (بعد 4 دورات خَبَزْ، بعد 6 دورات خَبَزْ) في مجموعة الخزف زيركونيا، وعند المقارنة الثنائية بين المراحل الثلاث (قبل تكرار الخَبَزْ، بعد دورتي خَبَزْ ، بعد 4 دورات خَبَزْ) في مجموعة الخزف الزجاجي e.max، أي أنه عند مستوى الثقة 95% لا توجد فروق ثنائية دالة إحصائياً في متوسط قيم المعامل اللوني L بين المراحل المذكورة في عينة البحث.

أما بالنسبة لباقي المقارنات الثنائية المدروسة فيُلاحظ أن قيمة مستوى الدلالة أصغر بكثير من القيمة 0.05، أي أنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق ثنائية دالة إحصائياً في متوسط قيم المعامل اللوني L بين المراحل المعنية في عينة البحث، وبما أن الإشارة الجبرية للفروق بين المتوسطات موجبة نستنتج أن قيم المعامل اللوني L في كل من المراحل (بعد دورتي خَبَزْ ، بعد 4 دورات خَبَزْ، بعد 6 دورات خَبَزْ) كانت أكبر منها في المرحلة (قبل تكرار الخَبَزْ)، وأن قيم المعامل اللوني L في كل من المرحلتين (بعد 4 دورات خَبَزْ، بعد 6 دورات خَبَزْ) كانت أكبر منها في المرحلة (بعد دورتي خَبَزْ) في مجموعة الخزف زيركونيا، ونستنتج أن قيم المعامل اللوني L في المرحلة (بعد 6 دورات خَبَزْ) كانت أكبر منها في كل من المراحل المدروسة الباقية (قبل تكرار الخَبَزْ، بعد دورتي خَبَزْ ، بعد 4 دورات خَبَزْ) في مجموعة الخزف الزجاجي e.max من عينة البحث.

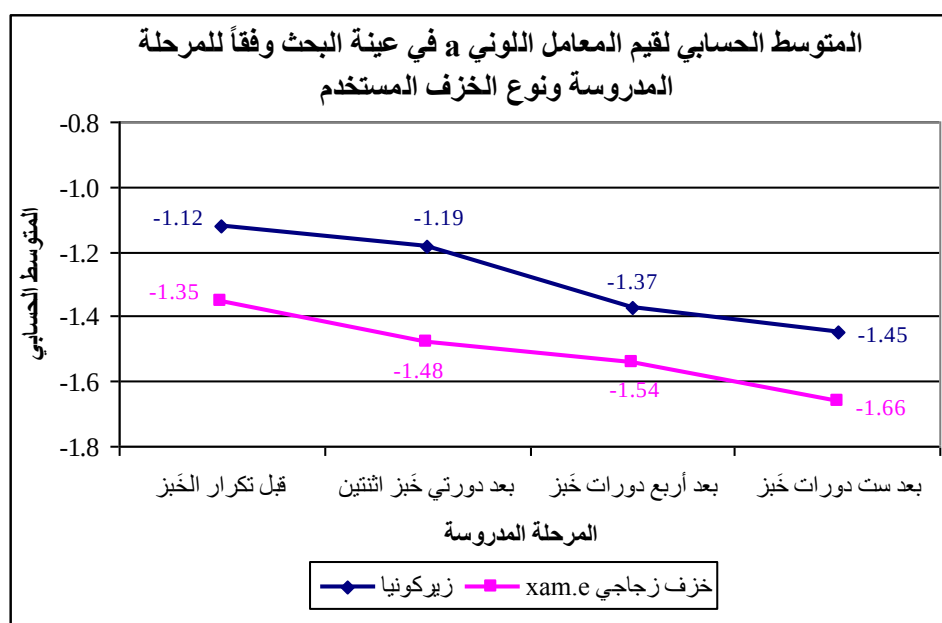
دراسة تأثير المرحلة المدروسة في قيم المعامل اللوني a^* وفقاً لنوع الخزف المستخدم:

تم إجراء اختبار T ستودنت للعينات المترابطة لدراسة دلالة الفروق الثنائية في متوسط قيم المعامل اللوني a^* بين المراحل الأربع المدروسة (قبل تكرار الخبز، بعد دورتي خبز، بعد 4 دورات خبز، بعد 6 دورات خبز) في عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم كما يلي:

- إحصاءات وصفية:

جدول 9: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى لقيم المعامل اللوني a^* في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم.

المتغير المدروس = قيم المعامل a^*							
نوع الخزف المستخدم	المرحلة المدروسة	عدد الأقراص	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى
زيركونيا	قبل تكرار الخبز	10	-1.12	0.23	0.07	-1.33	-0.67
	بعد دورتي خبز	10	-1.19	0.19	0.06	-1.37	-0.83
	بعد 4 دورات خبز	10	-1.37	0.15	0.05	-1.50	-1.00
	بعد 6 دورات خبز	10	-1.45	0.14	0.05	-1.67	-1.23
خزف زجاجي e.max	قبل تكرار الخبز	10	-1.35	0.13	0.04	-1.47	-1.03
	بعد دورتي خبز	10	-1.48	0.07	0.02	-1.57	-1.37
	بعد 4 دورات خبز	10	-1.54	0.09	0.03	-1.67	-1.40
	بعد 6 دورات خبز	10	-1.66	0.09	0.03	-1.80	-1.50



مخطط 6: يمثل المتوسط الحسابي لقيم المعامل اللوني a^* في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم.

- نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المترابطة:

جدول 10: يبين نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المترابطة لدراسة دلالة الفروق الثنائية في متوسط قيم المعامل اللوني a^* بين المراحل الأربع المدروسة (قبل الخبز، بعد دورتي خبز اثنتين، بعد أربع دورات خبز، بعد ست دورات خبز) في عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم.

المتغير المدروس = قيم المعامل a^*					
نوع الخزف المستخدم	المقارنة في القيم بين المرحلتين:	الفرق بين المتوسطين	قيمة t المحسوبة	درجات الحرية	قيمة مستوى الدلالة
زيركونيا	بعد دورتي خبز - قبل تكرار الخبز	-0.06	-3.612	9	توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خبز - قبل تكرار الخبز	-0.25	-8.135	9	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - قبل تكرار الخبز	-0.32	-6.895	9	توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خبز - بعد دورتي خبز	-0.19	-7.203	9	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - بعد دورتي خبز	-0.26	-6.882	9	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - بعد 4 دورات خبز	-0.07	-2.310	9	توجد فروق دالة
خزف زجاجي e.max	بعد دورتي خبز اثنتين - قبل تكرار الخبز	-0.12	-3.440	9	توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خبز - قبل تكرار الخبز	-0.19	-4.617	9	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - قبل تكرار الخبز	-0.31	-7.299	9	توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خبز - بعد دورتي خبز	-0.06	-2.818	9	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - بعد دورتي خبز	-0.19	-7.203	9	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - بعد 4 دورات خبز	-0.12	-6.398	9	توجد فروق دالة

يبين الجدول أعلاه أن قيمة مستوى الدلالة أصغر من القيمة 0.05 بالنسبة لجميع المقارنات الثنائية المدروسة، أي أنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق ثنائية دالة إحصائياً في متوسط قيم المعامل اللوني a بين المراحل الأربع المدروسة مهما كان نوع الخزف المستخدم في عينة البحث، وبما أن الإشارة الجبرية للفروق بين المتوسطات سالبة نستنتج أن قيم المعامل اللوني a تناقصت بتزايد عدد دورات الخبز مهما كان نوع الخزف المستخدم (زيركونيا، خزف زجاجي e.max) في عينة البحث.

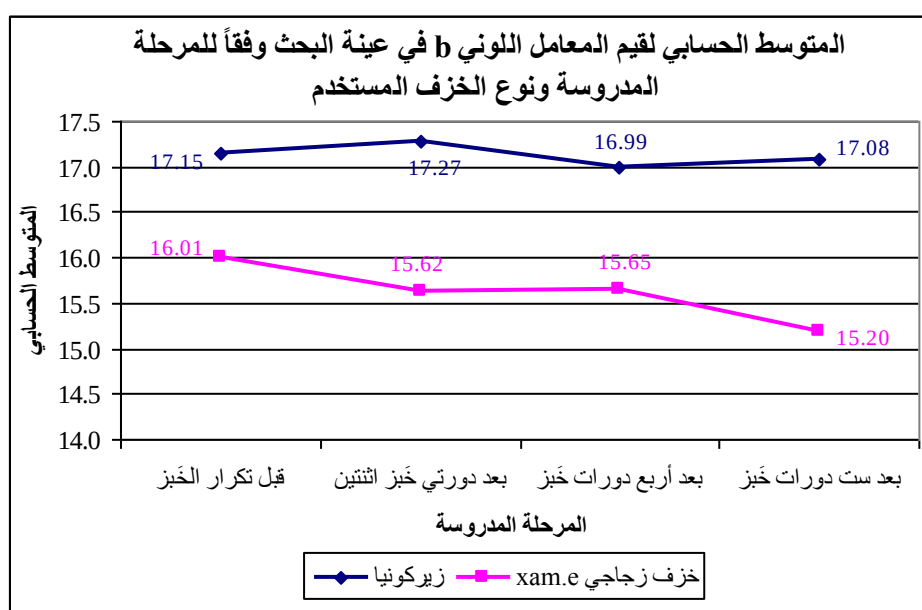
دراسة تأثير المرحلة المدروسة في قيم المعامل اللوني b^* وفقاً لنوع الخزف المستخدم:

تم إجراء اختبار T ستودنت للعينات المترابطة لدراسة دلالة الفروق الثنائية في متوسط قيم المعامل اللوني b^* بين المراحل الأربع المدروسة (قبل تكرار الخبز، بعد دورتي خبز اثنتين، بعد 4 دورات خبز، بعد 6 دورات خبز) في عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم كما يلي:

- إحصاءات وصفية:

جدول 11: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى لقيم المعامل اللوني b^* في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم.

المتغير المدروس = قيم المعامل b^*							
نوع الخزف المستخدم	المرحلة المدروسة	عدد الأقراص	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى
زيركونيا	قبل تكرار الخبز	10	17.15	2.14	0.68	14.57	22.37
	بعد دورتي خبز	10	17.27	1.96	0.62	14.80	22.00
	بعد 4 دورات خبز	10	16.99	1.90	0.60	14.70	21.50
	بعد 6 دورات خبز	10	17.08	2.11	0.67	14.40	21.97
خزف زجاجي e.max	قبل تكرار الخبز	10	16.01	2.40	0.76	12.63	20.10
	بعد دورتي خبز	10	15.62	2.25	0.71	12.53	19.50
	بعد 4 دورات خبز	10	15.65	2.30	0.73	12.57	19.43
	بعد 6 دورات خبز	10	15.20	2.33	0.74	12.20	19.20



مخطط 7: يمثل المتوسط الحسابي لقيم المعامل اللوني b^* في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم.

- نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المترابطة:

جدول 12: يبين نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المترابطة لدراسة دلالة الفروق الثنائية في متوسط قيم المعامل اللوني b^* بين المراحل الأربع المدروسة (قبل الخبز، بعد دورتي خبز اثنتين، بعد أربع دورات خبز، بعد ست دورات خبز) وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم.

المتغير المدروس = قيم المعامل b^*					
نوع الخزف المستخدم	المقارنة في القيم بين المرحلتين:	الفرق بين المتوسطين	قيمة t المحسوبة	درجات الحرية	قيمة مستوى الدلالة
زيركونيا	بعد دورتي خبز - قبل تكرار الخبز	0.12	0.874	9	لا توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خبز - قبل تكرار الخبز	-0.16	-1.540	9	لا توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - قبل تكرار الخبز	-0.07	-0.928	9	لا توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خبز - بعد دورتي خبز	-0.28	-2.362	9	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - بعد دورتي خبز	-0.19	-1.453	9	لا توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - بعد 4 دورات خبز	0.09	0.815	9	لا توجد فروق دالة
خزف زجاجي e.max	بعد دورتي خبز - قبل تكرار الخبز	-0.39	-6.226	9	توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خبز - قبل تكرار الخبز	-0.36	-4.150	9	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - قبل تكرار الخبز	-0.81	-9.258	9	توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خبز - بعد دورتي خبز	0.03	0.263	9	لا توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - بعد دورتي خبز	-0.42	-4.212	9	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - بعد 4 دورات خبز	-0.45	-3.669	9	توجد فروق دالة

يبين الجدول أعلاه أن قيمة مستوى الدلالة أصغر من القيمة 0.05 عند المقارنة في قيم المعامل اللوني b بين المرحلتين المدروستين (بعد دورتي خبز، بعد 4 دورات خبز) في مجموعة الخزف زيركونيا وبالنسبة لجميع المقارنات الثنائية المدروسة عدا المقارنة بين المرحلتين (بعد دورتي خبز، بعد 4 دورات خبز) في مجموعة الخزف الزجاجي e.max، أي أنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق ثنائية دالة إحصائياً في متوسط قيم المعامل اللوني b بين المراحل المذكورة في عينة البحث، وبما أن الإشارة الجبرية للفروق بين المتوسطات سالبة نستنتج أن قيم المعامل اللوني b بعد أربع دورات خبز كانت أصغر منها بعد دورتي خبز اثنتين في مجموعة الخزف زيركونيا، ونستنتج أيضاً أن قيم المعامل اللوني b في كل من المراحل (بعد دورتي خبز، بعد 4 دورات خبز، بعد 6 دورات خبز) كانت أصغر منها قبل الخبز وأن قيم المعامل اللوني b بعد ست دورات خبز كانت أصغر منها في كل من المرحلتين (بعد دورتي خبز، بعد 4 دورات خبز) على حدة في مجموعة الخزف الزجاجي e.max من عينة البحث. أما بالنسبة لباقي المقارنات الثنائية المدروسة فيلاحظ أن قيمة مستوى الدلالة أكبر بكثير من القيمة 0.05، أي أنه عند مستوى الثقة 95% لا توجد فروق ثنائية دالة إحصائياً في متوسط قيم المعامل b بين المراحل المعنية في عينة البحث.

3-2-2: دراسة مقدار التغير اللوني ΔE :

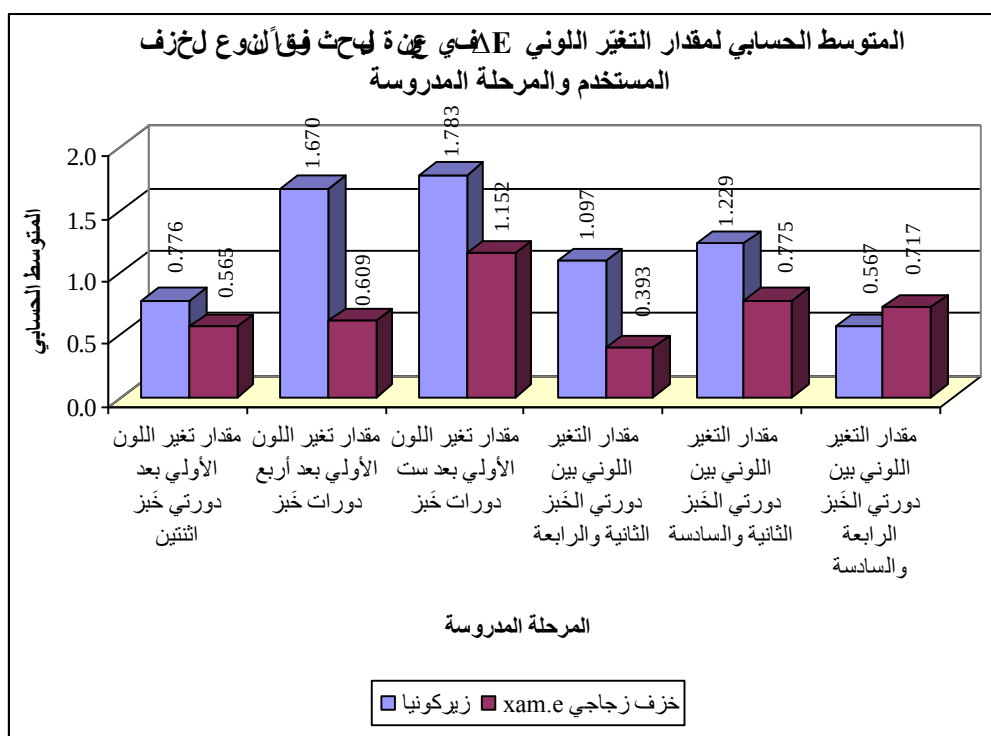
◀ دراسة تأثير نوع الخزف المستخدم في مقدار التغير اللوني ΔE وفقاً للمرحلة المدروسة:

تم إجراء اختبار T ستيودنت للعينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط التغير اللوني ΔE بين مجموعة الخزف زيركونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث، وذلك وفقاً للمرحلة المدروسة كما يلي:

- إحصاءات وصفية:

جدول 13: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى للتغير اللوني ΔE في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

المتغير المدروس = مقدار التغير اللوني ΔE							
المرحلة المدروسة	نوع الخزف المستخدم	عدد الأقراص	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى
مقدار تغير اللون الأولي بعد دورتي خبز	زيركونيا	10	0.776	0.381	0.121	0.254	1.309
	خزف زجاجي e.max	10	0.565	0.205	0.065	0.197	0.923
مقدار تغير اللون الأولي بعد 4 دورات خبز	زيركونيا	10	1.670	0.486	0.154	0.677	2.363
	خزف زجاجي e.max	10	0.609	0.300	0.095	0.137	1.145
مقدار تغير اللون الأولي بعد 6 دورات خبز	زيركونيا	10	1.783	0.495	0.157	1.153	2.532
	خزف زجاجي e.max	10	1.152	0.358	0.113	0.555	1.625
مقدار التغير اللوني بين دورتي الخبز (2-4)	زيركونيا	10	1.097	0.292	0.092	0.649	1.533
	خزف زجاجي e.max	10	0.393	0.217	0.069	0.082	0.708
مقدار التغير اللوني بين دورتي الخبز (2-6)	زيركونيا	10	1.229	0.504	0.159	0.640	2.159
	خزف زجاجي e.max	10	0.775	0.395	0.125	0.236	1.380
مقدار التغير اللوني بين دورتي الخبز (4-6)	زيركونيا	10	0.567	0.357	0.113	0.183	1.510
	خزف زجاجي e.max	10	0.717	0.287	0.091	0.306	1.135



مخطط 8: يمثل المتوسط الحسابي لمقدار التغير اللوني ΔE في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

- نتائج اختبار T ستودنت للعينات المستقلة:

جدول 14: يبين نتائج اختبار T ستودنت للعينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط التغير اللوني ΔE بين مجموعة الخزف زيركونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث، وذلك وفقاً للمرحلة المدروسة.

المتغير المدروس = مقدار التغير اللوني ΔE						المرحلة المدروسة
دلالة الفروق	قيمة مستوى الدلالة	الخطأ المعياري للفروق	الفرق بين المتوسطين	درجات الحرية	قيمة t المحسوبة	
لا توجد فروق دالة	0.141	0.137	0.211	18	1.541	مقدار تغير اللون الأولي بعد دورتي خبز
<u>توجد فروق دالة</u>	0.000	0.181	1.061	18	5.872	مقدار تغير اللون الأولي بعد 4 دورات خبز
<u>توجد فروق دالة</u>	0.004	0.193	0.631	18	3.267	مقدار تغير اللون الأولي بعد 6 دورات خبز
<u>توجد فروق دالة</u>	0.000	0.115	0.704	18	6.126	مقدار التغير اللوني بين دورتي الخبز (4-2)
<u>توجد فروق دالة</u>	0.038	0.203	0.454	18	2.240	مقدار التغير اللوني بين دورتي الخبز (6-2)
لا توجد فروق دالة	0.312	0.145	-0.151	18	-1.040	مقدار التغير اللوني بين دورتي الخبز (6-4)

يبين الجدول أعلاه أن قيمة مستوى الدلالة أكبر بكثير من القيمة 0.05 بالنسبة لكل من مقدار تغير اللون

الأولي بعد دورتي خبز ومقدار التغير اللوني بين دورتي الخبز (4-6)، أي أنه عند مستوى الثقة 95%

لا توجد فروق دالة إحصائية في متوسط كل من مقدار تغير اللون الأولي بعد دورتي خبز ومقدار التغير اللوني بين دورتي الخبز (4-6) بين مجموعة الخزف زيكونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث.

أما بالنسبة لباقي المراحل المدروسة فيلاحظ أن قيمة مستوى الدلالة أصغر من القيمة 0.05، أي أنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق دالة إحصائية في متوسط مقدار التغير اللوني ΔE بين مجموعة الخزف زيكونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في كل المراحل المعنية في عينة البحث، وبما أن الإشارة الجبرية للفروق بين المتوسطات موجبة نستنتج أن قيم كل من مقدار تغير اللون الأولي بعد 4 دورات خبز ومقدار تغير اللون الأولي بعد 6 دورات خبز ومقدار التغير اللوني بين دورتي الخبز (2-4) ومقدار التغير اللوني بين دورتي الخبز (2-6) في مجموعة الخزف زيكونيا كانت أكبر منها في مجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث.

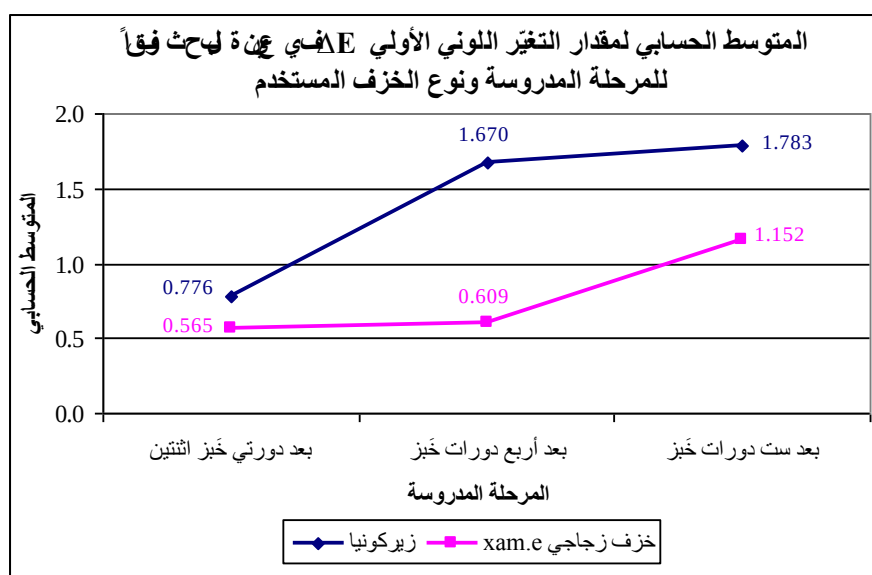
دراسة تأثير المرحلة المدروسة في قيم التغير اللوني الأولي ΔE وفقاً لنوع الخزف المستخدم:

تم إجراء اختبار T ستودنت للعينات المترابطة لدراسة دلالة الفروق الثنائية في متوسط قيم التغير اللوني الأولي ΔE بين المراحل الثلاث المدروسة (بعد دورتي خبز ، بعد 4 دورات خبز ، بعد 6 دورات خبز) في عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم كما يلي:

- إحصاءات وصفية:

جدول 15: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى لدرجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي ΔE في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم.

المتغير المدروس = مقدار التغير اللوني الأولي ΔE							
نوع الخزف المستخدم	المرحلة المدروسة	عدد الأقراص	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى
زيركونيا	بعد دورتي خبز	10	0.776	0.381	0.121	0.254	1.309
	بعد 4 دورات خبز	10	1.670	0.486	0.154	0.677	2.363
	بعد 6 دورات خبز	10	1.783	0.495	0.157	1.153	2.532
خزف زجاجي e.max	بعد دورتي خبز	10	0.565	0.205	0.065	0.197	0.923
	بعد 4 دورات خبز	10	0.609	0.300	0.095	0.137	1.145
	بعد 6 دورات خبز	10	1.152	0.358	0.113	0.555	1.625



مخطط 9: يمثل المتوسط الحسابي لمقدار التغير اللوني الأولي ΔE في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم.

- نتائج اختبار T ستبونت للعينات المترابطة:

جدول 16: يبين نتائج اختبار T ستبونت للعينات المترابطة لدراسة دلالة الفروق الثنائية في متوسط قيم التغير اللوني الأولي ΔE بين المراحل الثلاث المدروسة (بعد دورتي خَبز ، بعد 4 دورات خَبز ، بعد 6 دورات خَبز) في عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم.

المتغير المدروس = مقدار التغير اللوني الأولي ΔE					
نوع الخزف المستخدم	المقارنة في القيم بين المرحلتين:	الفرق بين المتوسطين	قيمة t المحسوبة	درجات الحرية	قيمة مستوى الدلالة
زيركونيا	(4-2) دورات خبز	0.89	6.921	9	توجد فروق دالة
	(6-2) دورات خبز	1.01	5.236	9	توجد فروق دالة
	(6-4) دورات خبز	0.11	0.642	9	لا توجد فروق دالة
خزف زجاجي e.max	(4-2) دورات خبز	0.04	0.422	9	لا توجد فروق دالة
	(6-2) دورات خبز	0.59	6.373	9	توجد فروق دالة
	(6-4) دورات خبز	0.54	5.072	9	توجد فروق دالة

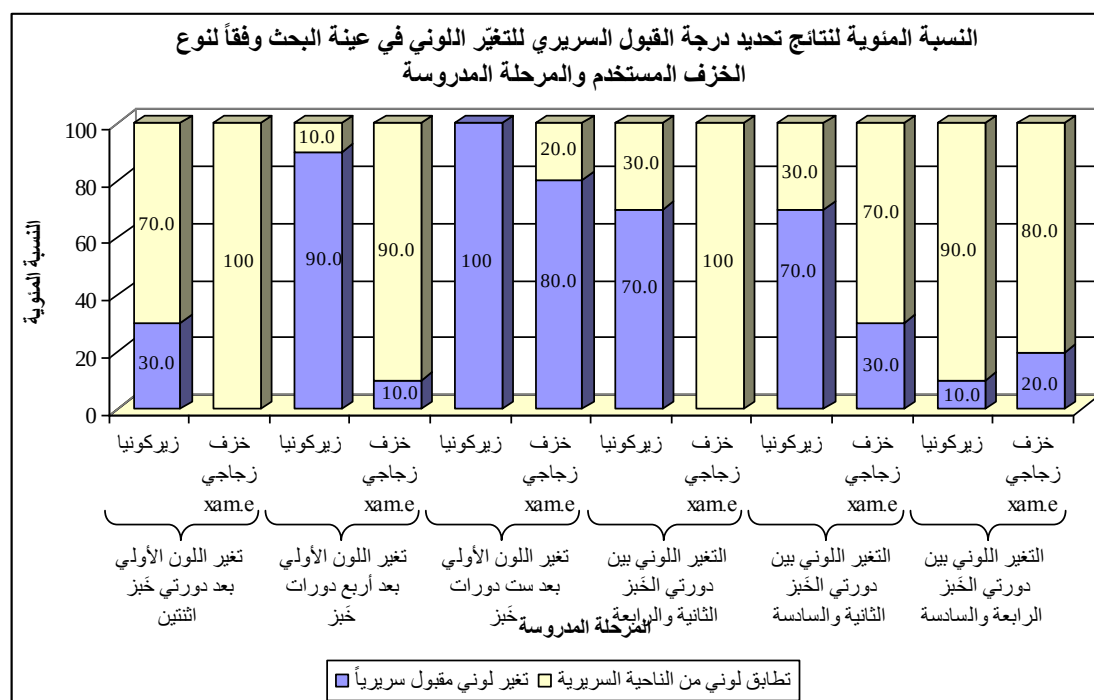
يبين الجدول أعلاه أن قيمة مستوى الدلالة أصغر من القيمة 0.05 عند المقارنة في قيم التغير اللوني الأولي ΔE بين المرحلة (بعد دورتي خَبز) وكل من المرحلتين المدروستين (بعد 4 دورات خَبز ، بعد 6 دورات خَبز) في مجموعة الخزف زيركونيا، وعند المقارنة في قيم التغير اللوني الأولي ΔE بين المرحلة (بعد 6 دورات خَبز) وكل من المرحلتين المدروستين (بعد دورتي خَبز ، بعد 4 دورات خَبز) في مجموعة الخزف الزجاجي e.max، أي أنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق دالة إحصائياً في متوسط قيم التغير اللوني الأولي ΔE بين المراحل المذكورة في عينة البحث، وبما أن الإشارة الجبرية للفروق بين المتوسطات موجبة نستنتج أن قيم التغير اللوني الأولي ΔE في كل من المرحلتين (بعد 4 دورات خَبز ، بعد 6 دورات خَبز) كانت أكبر منها في المرحلة (بعد دورتي خَبز) في مجموعة الخزف زيركونيا، ونستنتج أن قيم التغير اللوني الأولي ΔE في المرحلة (بعد 6 دورات خَبز) كانت أكبر منها في كل من المرحلتين (بعد دورتي خَبز ، بعد 4 دورات خَبز) في مجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث. أما بالنسبة لباقي المقارنات الثنائية المدروسة فيلاحظ أن قيمة مستوى الدلالة أكبر بكثير من القيمة 0.05، أي أنه عند مستوى الثقة 95% لا توجد فروق ثنائية دالة إحصائياً في متوسط التغير اللوني الأولي ΔE بين المرحلتين (بعد 4 دورات خَبز ، بعد 6 دورات خَبز) في مجموعة الخزف زيركونيا، وكذلك لا توجد فروق ثنائية دالة إحصائياً في متوسط التغير اللوني الأولي ΔE بين المرحلتين (بعد دورتي خَبز ، بعد 4 دورات خَبز) في مجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث.

دراسة درجة القبول السريري للتغير اللوني:

نتائج تحديد درجة القبول السريري للتغير اللوني وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة:

جدول 17: يبين نتائج تحديد درجة القبول السريري للتغير اللوني في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

المرحلة المدروسة	نوع الخزف المستخدم	عدد الأقراص			النسبة المئوية	
		تغير لوني مقبول سريرياً	تطابق لوني سريرياً	المجموع	تغير لوني مقبول سريرياً	تطابق لوني سريرياً
تغير اللون الأولي بعد دورتي خبز	زيركونيا	3	7	10	30.0	70.0
	خزف زجاجي e.max	0	10	10	0	100
تغير اللون الأولي بعد 4 دورات خبز	زيركونيا	9	1	10	90.0	10.0
	خزف زجاجي e.max	1	9	10	10.0	90.0
تغير اللون الأولي بعد 6 دورات خبز	زيركونيا	10	0	10	100	0
	خزف زجاجي e.max	8	2	10	80.0	20.0
التغير اللوني بين دورتي الخبز (2-4)	زيركونيا	7	3	10	70.0	30.0
	خزف زجاجي e.max	0	10	10	0	100
التغير اللوني بين دورتي الخبز (2-6)	زيركونيا	7	3	10	70.0	30.0
	خزف زجاجي e.max	3	7	10	30.0	70.0
التغير اللوني بين دورتي الخبز (4-6)	زيركونيا	1	9	10	10.0	90.0
	خزف زجاجي e.max	2	8	10	20.0	80.0



مخطط 10 : يمثل النسبة المئوية لنتائج تحديد درجة القبول السريري للتغير اللوني وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

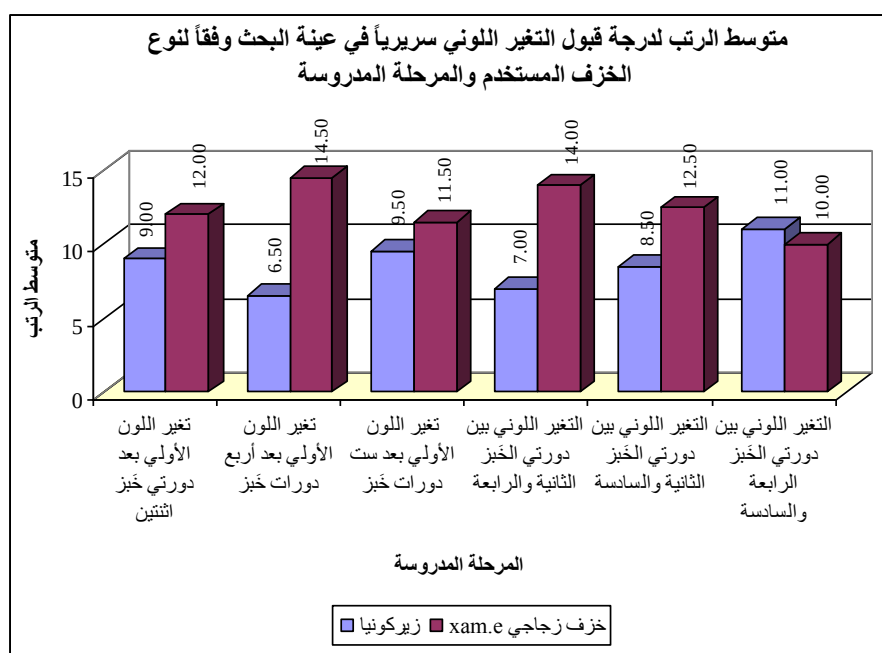
دراسة تأثير نوع الخزف المستخدم في درجة القبول السريري للتغير اللوني وفقاً للمرحلة المدروسة:

تم إجراء اختبار Mann-Whitney U لدراسة دلالة الفروق في تكرارات درجة القبول السريري للتغير اللوني بين مجموعة الزيركونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث، وذلك وفقاً للمرحلة المدروسة كما يلي:

- إحصاءات وصفية:

جدول 18: يبين متوسط الرتب لدرجة القبول السريري للتغير اللوني في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

المتغير المدروس	المرحلة المدروسة	نوع الخزف المستخدم	عدد الأقراص	متوسط الرتب
درجة القبول السريري للتغير اللوني	تغير اللون الأولي بعد دورتي خبز	زيركونيا	10	9.00
		خزف زجاجي e.max	10	12.00
	تغير اللون الأولي بعد 4 دورات خبز	زيركونيا	10	6.50
		خزف زجاجي e.max	10	14.50
	تغير اللون الأولي بعد 6 دورات خبز	زيركونيا	10	9.50
		خزف زجاجي e.max	10	11.50
	التغير اللوني بين دورتي الخبز (4-2)	زيركونيا	10	7.00
		خزف زجاجي e.max	10	14.00
	التغير اللوني بين دورتي الخبز (6-2)	زيركونيا	10	8.50
		خزف زجاجي e.max	10	12.50
	التغير اللوني بين دورتي الخبز (6-4)	زيركونيا	10	11.00
		خزف زجاجي e.max	10	10.00



مخطط 11: يمثل متوسط الرتب لدرجة القبول السريري للتغير اللوني في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

- نتائج اختبار Mann-Whitney U:

جدول 19: يبين نتائج اختبار Mann-Whitney U لدراسة دلالة الفروق في تكرارات درجة القبول السريري للتغير اللوني بين مجموعة الخزف زيكونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث، وذلك وفقاً للمرحلة المدروسة.

المتغير المدروس	المرحلة المدروسة	قيمة U	قيمة مستوى الدلالة	دلالة الفروق
درجة القبول السريري للتغير اللوني	تغير اللون الأولي بعد دورتي خبز	35.0	0.067	لا توجد فروق دالة
	تغير اللون الأولي بعد 4 دورات خبز	10.0	0.000	<u>توجد فروق دالة</u>
	تغير اللون الأولي بعد 6 دورات خبز	40.0	0.146	لا توجد فروق دالة
	التغير اللوني بين دورتي الخبز (4-2)	15.0	0.001	<u>توجد فروق دالة</u>
	التغير اللوني بين دورتي الخبز (6-2)	30.0	0.081	لا توجد فروق دالة
	التغير اللوني بين دورتي الخبز (6-4)	45.0	0.542	لا توجد فروق دالة

يبين الجدول أعلاه أن قيمة مستوى الدلالة أصغر بكثير من القيمة 0.05 بالنسبة لكل من درجة القبول السريري لتغير اللون الأولي بعد 4 دورات خبز ودرجة القبول السريري للتغير اللوني بين دورتي الخبز (4-2)، أي أنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق دالة إحصائية في تكرارات كل من درجة القبول السريري لتغير اللون الأولي بعد 4 دورات خبز ودرجة القبول السريري للتغير اللوني بين دورتي الخبز (4-2) بين مجموعة الخزف زيكونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث، وبدراسة قيم متوسطات الرتب نستنتج أن كل من درجة القبول السريري لتغير اللون الأولي بعد 4 دورات خبز ودرجة القبول السريري للتغير اللوني بين دورتي الخبز (4-2) في مجموعة الخزف زيكونيا كانت أقل منها في مجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث.

أما بالنسبة لباقي المراحل المدروسة فيلاحظ أن قيمة مستوى الدلالة أكبر من القيمة 0.05، أي أنه عند مستوى الثقة 95% لا توجد فروق دالة إحصائية في تكرارات درجة القبول السريري للتغير اللوني بين مجموعة الخزف زيكونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في كل من المراحل المعنية في عينة البحث.

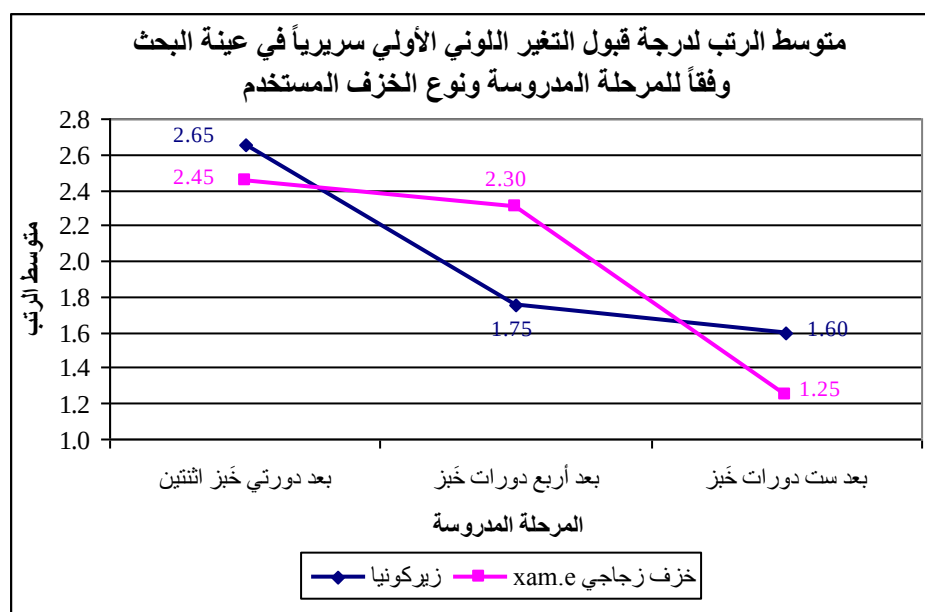
دراسة تأثير المرحلة المدروسة في درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي وفقاً لنوع الخزف المستخدم:

تم إجراء اختبار Friedman لدراسة دلالة الفروق الثنائية في تكرارات درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي بين المراحل الثلاث المدروسة (بعد دورتي خبز ، بعد 4 دورات خبز، بعد 6 دورات خبز) في عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم كما يلي:

- إحصاءات وصفية:

جدول 20: يبين متوسط الرتب لدرجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم.

المتغير المدروس	نوع الخزف المستخدم	المرحلة المدروسة	متوسط الرتب
درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي	زيركونيا	بعد دورتي خبز	2.65
		بعد 4 دورات خبز	1.75
		بعد 6 دورات خبز	1.60
	خزف زجاجي e.max	بعد دورتي خبز	2.45
		بعد 4 دورات خبز	2.30
		بعد 6 دورات خبز	1.25



مخطط 12: يمثل متوسط الرتب لدرجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم.

- نتائج اختبار Friedman:

جدول 21: يبين نتائج اختبار Friedman لدراسة دلالة الفروق في تكرارات درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي بين المراحل الثلاث المدروسة (بعد دورتي خبز اثنتين، بعد أربع دورات خبز، بعد ست دورات خبز) في عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم.

المتغير المدروس	نوع الخزف المستخدم	عدد الأقراص	قيمة كاي مربع	درجات الحرية	قيمة مستوى الدلالة	دلالة الفروق
درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي	زيركونيا	10	12.286	2	0.002	توجد فروق دالة
	خزف زجاجي e.max	10	14.250	2	0.001	توجد فروق دالة

يبين الجدول أعلاه أن قيمة مستوى الدلالة أصغر بكثير من القيمة 0.05 مهما كان نوع الخزف المستخدم (زيركونيا، خزف زجاجي e.max)، أي أنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق دالة إحصائية في تكرارات درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي بين اثنتين على الأقل من المراحل الثلاث المدروسة من عينة البحث، ولمعرفة أي المراحل تختلف عن الأخرى اختلافاً جوهرياً في درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي تم إجراء اختبار Wilcoxon للترتيب ذات الإشارة الجبرية للمقارنة بين كل زوج من الفترات الزمنية المدروسة كما يلي:

- نتائج اختبار Wilcoxon للترتيب ذات الإشارة الجبرية:

جدول 22: يبين نتائج اختبار Wilcoxon للترتيب ذات الإشارة الجبرية لدراسة دلالة الفروق في تكرارات درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي بين المراحل الثلاث المدروسة (بعد دورتي خبز اثنتين، بعد أربع دورات خبز، بعد ست دورات خبز) من عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم.

نوع الخزف المستخدم	المقارنة في درجة القبول بين المرحلتين:	قيمة Z المحسوبة	قيمة مستوى الدلالة	دلالة الفروق
زيركونيا	(4-2) دورات خبز	-2.449	0.014	توجد فروق دالة
	(6-2) دورات خبز	-2.646	0.008	توجد فروق دالة
	(6-4) دورات خبز	-1.000	0.317	لا توجد فروق دالة
خزف زجاجي e.max	(4-2) دورات خبز	-1.000	0.317	لا توجد فروق دالة
	(6-2) دورات خبز	-2.828	0.005	توجد فروق دالة
	(6-4) دورات خبز	-2.646	0.008	توجد فروق دالة

يبين الجدول أعلاه أن قيمة مستوى الدلالة أصغر من القيمة 0.05 عند المقارنة في درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي بين المرحلة (بعد دورتي خَبْر) وكل من المرحلتين المدروستين (بعد 4 دورات خَبْر، بعد 6 دورات خَبْر) في مجموعة الخزف زيكونيا، وعند المقارنة في درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي بين المرحلة (بعد 6 دورات خَبْر) وكل من المرحلتين المدروستين (بعد دورتي خَبْر ، بعد 4 دورات خَبْر) في مجموعة الخزف الزجاجي e.max، أي أنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق دالة إحصائية في تكرارات درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي بين المراحل المذكورة في عينة البحث، وبدراسة قيم متوسطات الرتب نستنتج أن درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي في كل من المرحلتين (بعد 4 دورات خَبْر، بعد 6 دورات خَبْر) كانت أقل منها في المرحلة (بعد دورتي خَبْر) في مجموعة الخزف زيكونيا، ونستنتج أن درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي في المرحلة (بعد 6 دورات خَبْر) كانت أقل منها في كل من المرحلتين (بعد دورتي خَبْر ، بعد 4 دورات خَبْر) في مجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث.

أما بالنسبة لباقي المقارنات الثنائية المدروسة فيلاحظ أن قيمة مستوى الدلالة أكبر بكثير من القيمة 0.05، أي أنه عند مستوى الثقة 95% لا توجد فروق ثنائية دالة إحصائية في متوسط التغير اللوني الأولي بين المرحلتين (4-6) دورات خَبْر، في مجموعة الخزف زيكونيا، وكذلك لا توجد فروق ثنائية دالة إحصائية في متوسط التغير اللوني الأولي بين المرحلتين (2-4) دورات خَبْر في مجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث.

الباب الرابع

المناقشة

Discussion

4-1: مناقشة فكرة البحث

تستخدم التعويضات الخزفية الكاملة الخالية من المعدن بشكل واسع في طب الأسنان الحديث بسبب خواصها البصرية والتجميلية الممتازة، إلا أن الحصول على انسجام وتوافق لوني للتعويض الخزفي مع الأسنان الطبيعية المجاورة يُعد من أهم التحديات التي تواجه طبيب الأسنان لضمان النجاح السريري (Uludag et al., 2007)، فاللون النهائي للتعويض الخزفي قد يتأثر بمجموعة من العوامل وخصوصاً خلال مراحل التصنيع المخبرية مثل عدد دورات خبز الخزف، فقد يضطر طبيب الأسنان أحياناً إلى إجراء بعض التعديلات الشكلية على التعويضات الخزفية، الأمر الذي يتطلب إجراء دورات خبز إضافية لهذه التعويضات مما قد يسبب تغيرات لونية تؤثر على الناحية الجمالية، ومن هنا كانت فكرة هذا البحث الذي يهدف إلى دراسة تأثير تكرار خبز الخزف في التغير اللوني لأنظمة الخزف الكامل المصنوعة من الخزف الزجاجي المقوى ببلورات ثنائي سيليكات الليثيوم (IPS e.max press) لشركة (Ivoclar Vivadent)، ومن الخزف متعدد البلورات المعتمد على الزركونيا (DD Bio ZW) لشركة (Dental direct).

4-2: مناقشة المواد والطرائق

- تألفت عينة البحث من 20 قرصاً خزفياً قسمت إلى مجموعتين متساويتين ($n=10$) بحسب نوع مادة الهيكل الخزفي (زيركونيا أو خزف زجاجي e.max Press)، وقد تم اختيار حجم العينة بناءً على الدراسات السابقة المشابهة مثل (Ozturk et al., 2008, Celik et al., 2008).
- تم تصنيع مفردات العينة بشكل أقراص ذات قُطرٍ وثخانةٍ منتظمةٍ حيث تستخدم العينات القرصية عادةً في أبحاث قياس نعومة السطح والتغير اللوني (Yilmaz et al., 2014) لأنها تتميز بدقة أكبر عند المقارنة مع القياسات التي تتم على العينات التي تكون بشكل الأسنان (Celik et al., 2008).

- صنعت الأقراص بقطر 8 ملم ليكون أكبر من قطر رأس الجهاز المستخدم لقياس اللون VITA Easyshade* Compact الذي يبلغ قطره حوالي 5 ملم، وذلك بهدف التقليل من الأثر السلبي لظاهرة الضياع الحفافي edge loss، والتي يقصد بها أن جزءاً من ضوء الجهاز المرسل إلى القرص الخزفي يتجه نحو أطراف القرص دون أن يتم امتصاصه مما يؤثر سلباً على دقة القياسات اللونية (Bolt et al., 1994)، ولذلك فقد اقترحت الدراسات أن تكون الأقراص بقطر أكبر من قطر رأس الجهاز (Ragain and Johnston, 2001 , Yilmaz et al., 2011).

- صنعت الأقراص بتقنية بناء الطبقات layering technique وهي الطريقة الأكثر شيوعاً في التعويضات الخزفية الكاملة وتعطي أفضل النتائج التجميلية (Barizon, 2011).
- تم تصنيع الأقراص بثخانة كلية تبلغ 1.5 ملم، وهي الثخانة الأكثر مقارنةً لأغلب الحالات السريرية، حيث ينصح عادةً بصنع التعويضات الخزفية الكاملة الخلفية بثخانة 1.5-2 ملم لمقاومة القوى الإطباقية في المنطقة الخلفية (Jiang et al., 2010)، وبشكلٍ عامٍّ فإن التعويضات الخزفية الخالية من المعدن التي تصنع بتقنية بناء الطبقات تتكون من طبقتين (Jalali et al., 2010) :

1- الهيكل الأساسي (core) الذي يكون عادةً بثخانة (0.5-1) ملم لدعم الخزف المغطي.

2- الخزف المغطي (العاجي والمينائي) يكون بثخانة (1-1.5) ملم لإعطاء السن لونه وشكله النهائي.

- تم تصنيع الهيكل الخزفي للأقراص في كلتا المجموعتين بثخانة 0.5 ملم باستخدام مادتين مختلفتين:

1- مصبوبات خزفية IPS e.max press:

إذ يمتلك هذا الخزف خصائص جمالية ممتازة وثباتاً لونياً جيداً (Turgut and Bagis, 2011) جعلته يتصدر أنواع الخزف المستخدم في صناعة الوجوه التجميلية والتيجان الخزفية الكاملة للتعويض عن الأسنان الأمامية والخلفية، كما سمحت خواصه الميكانيكية الجيدة باستخدامه في صنع الجسور الثابتة القصيرة في المنطقة الأمامية وحتى منطقة الضواحك (Stappert et al., 2006)، واستخدمت

المصبوبات ذات الظلالية المتوسطة MO1 التي تستخدم عادةً مع تقنية بناء الطبقات بسبب قدرتها على تغطية التصبغات السنية الخفيفة دون التأثير على الشفافية النهائية للتعويض (Al-Dwairi et al., 2013).

2- بلوكات زيركونيا (DD Bio ZW):

فقد ازداد الاهتمام في السنوات الأخيرة بالزيركونيا المستقرة جزئياً بالإيتريوم (3Y-TZP) كمادة تعويضية بسبب ما تمتاز به من خواص ميكانيكية عالية (Christensen and Ploeger, 2010) وتقبل حيوي جيد (Scarano et al., 2003) إضافة إلى خواصها التجميلية الممتازة مقارنةً مع التعويضات الخزفية المعدنية (Conrad et al., 2007)، وتم استخدام بلوكات زيركونيا (DD Bio ZW) غير مكتملة التلبيد، وهو النوع الأكثر استخداماً في طب الأسنان بسبب سهولة نحته، ولم يتم تلوين الأقراص الزيركونية لأن ذلك يمكن أن يسبب تناقصاً في شفافية التعويض الخزفي (Tuncel et al., 2013).

- استخدم الخزف الزجاجي IPS e.max Ceram كخزف بناءً يغطي الهيكل الأساسي للأقراص في كلتا المجموعتين، وهو خزف زجاجي قدمته شركة Ivoclar Vivadent كخزف مغطٍ تجميلي لجميع أنواع الهياكل الخزفية، فهو يمتلك خصائص بصرية ممتازة تتشابه إلى حد كبير مع الأسنان الطبيعية بفضل احتوائه على بلورات فلور الأباتيت التي تملك مؤشر انكسار ضوئي refractive index مشابه لميناء الأسنان الطبيعية.

- استخدم الخزف المغطي بلون A1 كونه من أكثر الألوان التي استخدمت في دراسات التغير اللوني السابقة (Ozturk et al., 2008 , Bachhav and Aras, 2011)، حيث تبلغ نسبة الاختيارات السريرية من الفئة اللونية A حسب دليل فيتا التقليدي حوالي 65% على الأقل (Chiche and Pinault, 1994).

- قيسَت المعاملات اللونية الثلاث L^*a^*b للأقراص بعد خبزة التزجيج التي اعتبرت النقطة المرجعية لقياس اللون الأولي، ثم أعيد خبز الأقراص لست دوراتٍ إضافية وقيست المعاملات اللونية وقيم التغير اللوني لكل قرصٍ خزفيٍّ في كلٍّ من دورات الخبز (2-4-6)، فالتعويضات الخزفية الكاملة التي تصنع بتقنية بناء الطبقات تحتاج عادةً إلى 3 دوراتٍ لخبز الخزف المغطي بعد تجهيز الهيكل الأساسي (دورةٍ لخبز الخزف العاجي، دورةٍ لخبز الخزف المينائي، دورةٍ ثالثةٍ للتزجيج) (Jalali et al., 2010). وفي الدراسات السابقة تم اعتبار دورة الخبز الثالثة أيضاً كنقطةٍ مرجعيةٍ لقياس اللون الأولي قبل تكرار الخبز لأربع دوراتٍ فقط كما في دراستي (Uludag et al., 2007)، (Al-Dwairi et al., 2013)، أو تكرار الخبز لست دوراتٍ إضافيةٍ مثل دراسات (Celik et al., 2008)، (Ozturk et al., 2008)، (Sahin et al., 2010)، (Bachhav and Aras, 2011)، ثم قيسَت المعاملات اللونية وقيم التغير اللوني في كلٍّ من دورات الخبز (5-7-9) التي تقابل دورات الخبز (2-4-6) في دراستنا.
- تم استخدام جهاز قياس اللون الإلكتروني VITA Easyshade* Compact وهو أحد أنواع مقاييس الطيف الضوئي spectrophotometers، حيث يستخدم هذا الجهاز بشكلٍ واسعٍ في الأبحاث السنية المتعلقة باللون، فهو يمتاز بسهولة استخدامه وبدقته العالية دون أن يتأثر بظروف الإضاءة المحيطة (Chu et al., 2004)، كما يمتلك القدرة على عرض نتائج القياس اللوني وفق أدلة اللون (VITAPAN classical) و (VITA 3D-MASTER) مع إمكانية عرضها وفق نظام اللون الكمي $L^*a^*b^*$ CIE.
- تم أخذ 3 قياساتٍ لونيةٍ لكل قرصٍ في كل مرحلةٍ ثم أخذ معدلها الوسطي، وهو الإجراء المتبع عادةً في الدراسات اللونية (Ozturk et al., 2008 , Bachhav and Aras, 2011)، وأعيدت معايرة رأس الجهاز بعد إجراء القياسات الثلاثة لكل قرصٍ خزفيٍّ بهدف الحصول على دقةٍ أكبر في النتائج.

- تم عرض نتائج القياس وفق نظام اللون الكمي $CIE L^*a^*b^*$ ، وهو النظام المستخدم بشكل أساسي في الأبحاث المتعلقة باللون في طب الأسنان، حيث يمتاز هذا النظام بقدرته على تمييز التغيرات اللونية حتى لو كانت ذات قيم صغيرة، وتحديد ما إذا كانت هذه التغيرات قابلة للتمييز من قبل الشخص الفاحص (Al-Dwairi et al., 2013).
- تم اعتماد القيمة 3.7 كحد أعلى لقيم التغير اللوني المقبول من الناحية السريرية، وهو المعيار الذي اتفقت عليه أغلب الدراسات اللونية السابقة، إذ أوضحت هذه الدراسات أن العين البشرية لا تستطيع تمييز التغير اللوني عندما تكون $(\Delta E > 1)$ وبالتالي يمكن اعتباره تطابقاً لونياً، بينما تستطيع تمييز التغير اللوني بنسبة 50% عندما تكون $(\Delta E > 1)$ والذي يمكن اعتباره تغيراً لونياً مقبولاً من الناحية السريرية بسبب وجود مجموعة من المتغيرات والظروف السريرية غير المضبوطة. (Celik et al., 2008, Ozturk et al., 2008, Al-Dwairi et al., 2013)

3-4: مناقشة نتائج الدراسة الإحصائية:

تدعم نتائج هذه الدراسة فرضية أن اللون النهائي للتعويضات الخزفية الخالية من المعدن يتأثر بتكرار الخبز، فقد تغيرت قيم كل من المعاملات اللونية (L^* , a^* , b^*) بازدياد عدد دورات الخبز (2-4-6) مرات في المجموعتين المدروستين (مجموعة الخزف الزجاجي e.max Press ومجموعة الزيركونيا). حيث تناقصت قيم المعامل اللوني **b** (يمثل محور اللونين الأزرق والأصفر) في عينات الخزف الزجاجي e.max Press فظهرت الأقراص بلون أقل اصفراراً ولم تتأثر بشكل جوهري في مجموعة الزيركونيا. كما تناقصت قيم المعامل اللوني **a** (يمثل محور اللونين الأخضر والأحمر) فظهرت الأقراص بلون مائل للأخضر في كلتا مجموعتي الخزف المدروستين. أما قيم المعامل اللوني **L** (يمثل درجة السطوع) فقد ازدادت تدريجياً بازدياد عدد دورات الخبز فظهرت الأقراص بلون أفتح في كلتا مجموعتي الخزف المدروستين.

وعلى الرغم من أن قيم التغير اللوني كانت ضمن الحدود المقبولة سريرياً ($\Delta E < 3.7$) في جميع المراحل، إلا أن التغيرات اللونية في مجموعة الزيركونيا كانت أسرع حدوثاً، حيث حصلت النسبة الأكبر للتغير مباشرة بعد البدء بتكرار الخبز وحتى دورة الخبز الرابعة ($\Delta E = 1.670$)، لتصل إلى قيمتها الأعلى بعد دورة الخبز السادسة ($\Delta E = 1.783$)، أما في مجموعة الخزف الزجاجي e.max Press فقد حصلت النسبة الأكبر للتغير بعد دورة الخبز الرابعة لتصل إلى قيمتها الأعلى بعد دورة الخبز السادسة ($\Delta E = 1.152$).

يمكن تفسير هذه التغيرات اللونية بعد تكرار خبز الأقراص الخزفية بأن التعرض المتكرر للحرارة قد يسبب تغيراتٍ على المستوى البلوري للمادة الخزفية، الأمر الذي يؤثر سلباً على الخواص البصرية للأقراص، حيث أن شفافية التعويضات الخزفية الكاملة الخالية من المعدن تعتمد بشكلٍ أساسي على التركيب الكيميائي وعلى نسبة وحجم وشكل البلورات في الهيكل الأساسي وفي الخزف المغطى، لأن ذلك يؤثر على نسبة مرور الضوء أو امتصاصه أو انعكاسه عن سطح التعويض الخزفي (Barath et al., 2003, Baldissara et al., 2010).

وتُعدّ شفافية الهيكل الداخلي core للتعويضات الخزفية الكاملة العامل الأكثر تأثيراً في الخواص التجميلية للتعويضات الخزفية ويجب أخذه بالحسبان عند اختيار مادة التعويض (Heffernan et al., 2002a)، فالخزف الزجاجي (IPS e.max press) الذي استخدم لصناعة الهياكل الأساسية لأقراص المجموعة الأولى يمتاز بشفافيةٍ عاليةٍ على الرغم من محتواه العالي (حوالي 70%) من بلورات ثنائي سيليكات الليثيوم ذات الشكل الإبري والتي يبلغ طولها حوالي 3-6 ميكرونات، حيث تمتلك هذه البلورات مؤشر انعكاسٍ refractive index منخفضٍ يعزز من شفافية المادة الخزفية ويحسن خصائصها البصرية (Kelly, 2008).

أما بلوكات الزركونيا المستخدمة لصناعة الهياكل الأساسية لأقراص المجموعة الثانية فهي بلوكات غير كاملة التلبيد من نوع الزركونيا المستقرة جزئياً بالإيتريوم، و تتكون من 95% أوكسيد الزركونيوم ZrO_2 ، والباقي أكسيد الإيتريوم Y_2O_3 وأكسيد الألمنيوم Al_2O_3 مع بعض الأكاسيد الأخرى، وتتأثر شفافية التعويضات الزركونية بشكل عام بعدة عوامل أهمها نوع ونسبة المواد الداخلة في التركيب الكيميائي (Casolco et al., 2008)، حرارة التلبيد sintering (Jiang et al., 2011)، وطريقة المعالجة الحرارية أثناء تصنيع البلوكات (Yang et al., 2010)، حيث تؤثر هذه العوامل بشكل مباشر على كثافة المادة ومساميتها وعلى حجم الجزيئات grain size (Janney et al., 1992)، وقد أشارت الدراسات إلى أن حجم الجزيئات الصغير يحسن شفافية الزركونيا ويحسن خواصها الميكانيكية أيضاً (Casolco et al., 2008, Yang et al., 2010).

وقد افترضت العديد من الدراسات أن تركيب مادة الهيكل الأساسي للتعويضات الخزفية الكاملة الخالية من المعدن يمكن أن يتأثر بتكرار الخبز (Kelly et al., 1996)، وبالتالي فإن التغير الذي قد يطرأ على حجم وشكل هذه البلورات نتيجة لتكرار الخبز قد يؤثر في قرينة الانكسار الضوئي لهذه البلورات فتختلف نسبة الضوء المتبعثر أو الممتص أو المنعكس عن سطح التعويض الخزفي مما يسبب اختلافاً في الشفافية (Heffernan et al., 2002a).

أما الخزف المغطي IPS e.max press فهو خزف زجاجي يحوي بلورات فلور الأباتيت fluorapatite $Ca_5(PO_4)_3$ التي تتفاوت في الحجم، وتكون عادةً أقل من 300 نانومتر طولاً و 100 نانومتر قطراً، إلا أن هذا الحجم قد يزداد بتأثير الحرارة من خلال عملية إعادة التبلور recrystallization ليصل حجمها إلى حوالي 2-5 ميكرومتر طولاً و 300 نانومتر قطراً، مما يؤثر أيضاً على شفافية وظلالية التعويض الخزفي عموماً، إذ تلعب هذه البلورات الدور الأساسي في الخواص البصرية للخزف المغطي من خلال انعكاس وتبعثر الضوء الناتج عن الحجم المتفاوت لهذه البلورات.

يضاف إلى ما سبق أن التعرض المتكرر للحرارة خلال دورات الخبز الإضافية قد يسبب تفككاً جزئياً للأكاسيد اللونية المعدنية التي تستخدم كأصبغة لونية في الخزف المغطى، الأمر الذي يمكن أن يسبب تغييراً في اللون النهائي للتعويض الخزفي، فقد أشارت العديد من الدراسات إلى أن بعض الأكاسيد اللونية المعدنية تتسم بعدم الاستقرار اللوني عند تعرضها لدورات خبز إضافية، وتُعد الأصبغة البرتقالية والصفراء الأقل استقراراً بالمقارنة مع باقي الأصبغة اللونية عند خبزها حتى لو كانت درجات الحرارة موافقة لتعليمات الشركات المنتجة (Crispin et al., 1991, Lund and Piotrowski, 1992).

كما أن التعرض المتكرر للحرارة خلال دورات الخبز الإضافية قد يؤثر على طبقة التزجيج التي تعطي التعويض نعومته وسطحه الأملس، الأمر الذي قد يؤثر بشكل مباشر على مقدار انعكاس الضوء أو امتصاصه وبالتالي على اللون النهائي للتعويض الخزفي (Barghi, 1982). فقد وُجد أن اللون النهائي للتعويض الخزفي يتأثر بنعومته السطحية (Yilmaz and Özkan, 2010)، وأن التغيرات الشكلية التي تحصل على سطح التعويض بعد تكرار الخبز تؤثر في قيم المعامل اللوني L خصوصاً، حيث تكون قيمة المعامل اللوني L في السطوح غير المزججة أكبر من قيمتها في السطوح المزججة (Kim et al., 2003).

4-4: المقارنة مع الدراسات السابقة:

- توافقت نتائج هذه الدراسة مع نتائج دراسة (Uludag et al., 2007) الذي وجد أن تكرار الخبز يسبب تغيرات لونية ضمن الحدود المقبولة سريرياً، واختلفت النتائج في اتجاه التغير الحاصل للمعاملات اللونية وقد يكون السبب في ذلك هو اختلاف أنظمة الخزف المستخدمة أو بسبب اختلاف الجهاز المستخدم لقياس اللون.
- توافقت نتائج هذه الدراسة مع نتائج دراسة (Celik et al., 2008) الذي وجد أن تكرار خبز التعويضات الزيركونية يسبب تغيرات لونية ضمن الحدود المقبولة سريرياً، واتفقت النتائج أيضاً من حيث ازدياد قيمة L

وانخفاض قيمة a ولكنها اختلفت في قيم b ، وقد يكون السبب هو أن الباحث استخدم أقراصاً بثخانة هيكل أساسي 1 ملم .

- توافقت نتائج هذه الدراسة مع نتائج دراسة (Ozturk et al., 2008) الذي استنتج حدوث تغيرات لونية مقبولة سريرياً في عينات الزيركونيا، واختلفت النتائج في عينات الخزف الزجاجي حيث وجد أن التغيرات اللونية تجاوزت حدود القبول السريري وقد يكون ذلك بسبب أن الباحث استخدم أقراصاً بثخانة هيكل أساسي 1 ملم، وبقطر 4 ملم وهو أصغر من قطر رأس الجهاز المستخدم لقياس اللون مما قد يسبب عدم دقة في نتائج القياس بسبب ظاهرة الضياع الحفافي edge-loss التي تزداد إذا كانت المادة الخزفية ذات شفافية عالية مثل الخزف الزجاجي.
- توافقت نتائج هذه الدراسة مع دراسة (Sahin et al., 2010) حيث كانت قيم التغير اللوني مقبولة سريرياً على الرغم من أن الباحث استخدم نظاماً خزفياً مختلفاً.
- توافقت نتائج هذه الدراسة مع نتائج دراسة (Bachhav and Aras, 2011) حيث كانت قيم التغير اللوني مقبولة سريرياً بعد تكرار خبز التعويضات الزيركونية.
- توافقت نتائج هذه الدراسة مع نتائج دراسة (Al-Dwairi et al., 2013) حيث كانت قيم التغير اللوني مقبولة سريرياً بعد تكرار خبز عينات الخزف الزجاجي.

4-5: محددات البحث

تتعدد العوامل التي تؤثر على لون التعويضات الخزفية الكاملة وتتداخل فيما بينها بشكل كبير، مما يجعل من الصعب تحديد السبب الأساسي للتغيرات اللونية الحاصلة بعد تكرار الخبز بشكل دقيق، فقد تم في هذا البحث المخبري دراسة مقدار التغير اللوني بعد تكرار الخبز بالاعتماد على قيم المعاملات اللونية الثلاث L^*a^*b ، ولم يتم التطرق إلى دراسة تأثير تكرار الخبز على الشفافية التي يمكن اعتبارها البعد الرابع للون وربما الأكثر أهمية في طب الأسنان، كما أن استخدام العينات القرصية بلون واحد فقط ومن

دون أن يتم إلصاقها لا ينقل الواقع السريري في فم المريض، مما يجعل من الضروري إجراء دراسات سريرية على دعامات ذات ألوان مختلفة وبعد استخدام إسمنتات الإلصاق التجريبية لمعرفة المحصلة العامة للتغير اللوني للتعويضات الخزفية الكاملة.

وعلى الرغم من دقة جهاز VITA Easyshade* Compact المستعمل لقياس اللون إلا أنه قد وجد تفاوت بسيط في القراءات اللونية الثلاث لكل قرص خزفي، ولوحظ تشتت القياسات بشكل أكبر عندما لا تتم معايرة رأس الجهاز بشكل دوري، ولذلك تم الاعتماد في هذه الدراسة على إعادة معايرة رأس الجهاز بعد الانتهاء من إجراء القياسات الثلاثة للمعاملات اللونية لكل قرص خزفي في كل مرحلة، في حين لجأت الدراسات السابقة إلى معايرة رأس الجهاز بعد الانتهاء من قياس المعاملات اللونية لكل مجموعة أقراص، كما أن تفاوت أبعاد الأقراص المستخدمة في الأبحاث السابقة واختلاف ألوان الخزف المغطي أدى إلى صعوبة في مقارنة النتائج وتصنيفها بشكل دقيق، ولذلك فقد وجدت بعض الاختلافات في مقدار واتجاه التغير في المعاملات اللونية مع هذه الدراسات على الرغم من الإجماع على أن التغيرات اللونية كانت ضمن الحدود المقبولة سريرياً.

الباب الخامس

الاستنتاجات

Conclusions

ضمن محددات هذه الدراسة يمكن أن نستنتج ما يلي:

1. يؤثر تكرار خبز الخزف في قيم المعاملات اللونية الثلاث L^*a^*b ، مما يسبب تغيراً في اللون النهائي للتعويضات الخزفية الكاملة المصنوعة من الخزف الزجاجي المقوى ببلورات ثنائي سيليكات الليثيوم (IPS e.max Press) ومن الخزف متعدد البلورات المعتمد على الزركونيا (DD Bio ZW).
2. يزداد التغير اللوني تدريجياً بزيادة عدد دورات الخبز لنوعي الخزف المستخدم، وكانت جميع قيم التغير اللوني ضمن الحدود المقبولة سريرياً ($\Delta E < 3.7$).
3. كانت قيم التغير اللوني الناتج عن تكرار الخبز للخزف المعتمد على الزركونيا (DD Bio ZW) أكبر بالمقارنة مع الخزف الزجاجي (IPS e.max Press) في جميع المراحل المدروسة بعد (2-4-6) دورات خبز.

الباب السادس

المقترحات والتوصيات

Suggestions & Recommendations

6-1: مقترحات لأبحاث مستقبلية

1. إجراء دراسةٍ مشابهةٍ باستخدام ثخاناتٍ وألوانٍ مختلفةٍ من خزف البناء المغطى.
2. إجراء دراسةٍ مشابهةٍ باستخدام ظلالياتٍ مختلفةٍ من خزف IPS e.max Press.
3. إجراء دراسةٍ لتحري تأثير تكرار الخبز في التغير اللوني للتعويضات الزيركونية بعد تلوين هيكها الأساسي بألوانٍ مختلفةٍ.
4. إجراء دراسةٍ لتحري تأثير تكرار الخبز في التغير اللوني للتعويضات الخزفية الكاملة المصنعة بتقنية التلوين staining technique.

6-2: التوصيات

1. يوصى فني الأسنان بتجنب تكرار خَبز التعويضات الخزفية الكاملة قدر الإمكان خلال مرحلة التصنيع المخبرية وخصوصاً التعويضات الزيركونية.
2. يوصى طبيب الأسنان بإجراء تجربةٍ للتعويضات الخزفية الكاملة بشكل روتيني وإجراء التعديلات الشكلية المطلوبة قبل مرحلة التزجيج بهدف التقليل من تكرار الخَبز وتأثيره الضار على اللون النهائي للتعويض.
3. يوصى طبيب الأسنان باستخدام التعويضات الخزفية الزجاجية IPS e.max press كونها تمتاز بثبات لوني أفضل من التعويضات الزيركونية.

الباب السابع

المراجع

References

- Al-Dwairi, Z. N., Al-Hamad, K. Q., Khasawneh, M. I. & Lynch, E. 2013. Influence of dentine thickness and repeated firing on the colour of IPS e.max press. *Eur J Prosthodont Restor Dent*, 21, 88-94.
- Anusavice, K. J., Shen, C. & Rawls, H. R. 2013. *Phillips' science of dental materials*, Elsevier Health Sciences.
- Bachhav, V. C. & Aras, M. A. 2011. The effect of ceramic thickness and number of firings on the color of a zirconium oxide based all ceramic system fabricated using CAD/CAM technology. *J Adv Prosthodont*, 3, 57-62.
- Baldissara, P., Llukacej, A., Ciocca, L., Valandro, F. L. & Scotti, R. 2010. Translucency of zirconia copings made with different CAD/CAM systems. *J Prosthet Dent*, 104, 6-12.
- Barath, V. S., Faber, F.-J., Westland, S. & Niedermeier, W. 2003. Spectrophotometric analysis of all-ceramic materials and their interaction with luting agents and different backgrounds. *Advances in dental research*, 17, 55-60.
- Barghi, N. 1982. Color and glaze: effects of repeated firings. *J Prosthet Dent*, 47, 393-395.
- Barizon, K. T. L. 2011. Relative translucency of ceramic systems for porcelain veneers.
- Bolt, R. A., Ten Bosch, J. J. & Coops, J. C. 1994. Influence of window size in small-window colour measurement, particularly of teeth. *Physics in Medicine and Biology*, 39, 1133.
- Casolco, S., Xu, J. & Garay, J. 2008. Transparent/translucent polycrystalline nanostructured yttria stabilized zirconia with varying colors. *Scripta Materialia*, 58, 516-519.
- Celik, G., Uludag, B., Usumez, A., Sahin, V., Ozturk, O. & Goktug, G. 2008. The effect of repeated firings on the color of an all-ceramic system with two different veneering porcelain shades. *J Prosthet Dent*, 99, 203-8.
- Chiche, G. J. & Pinault, A. 1994. *Esthetics of anterior fixed prosthodontics*, Quintessence Pub Co.
- Christel, P., Meunier, A., Heller, M., Torre, J. & Peille, C. 1989. Mechanical properties and short-term in vivo evaluation of yttrium-oxide-partially-stabilized zirconia. *J Biomed Mater Res*, 23, 45-61.
- Christensen, R. P. & Ploeger, B. J. 2010. A clinical comparison of zirconia, metal and alumina fixed-prosthesis frameworks veneered with layered or pressed ceramic: a three-year report. *The Journal of the American Dental Association*, 141, 1317-1329.
- Chu, S. J., Devigus, A. & Mieszk, A. J. 2004. *Fundamentals of color: shade matching and communication in esthetic dentistry*, Quintessence Publishing Company.
- Conrad, H. J., Seong, W.-J. & Pesun, I. J. 2007. Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: a systematic review. *J Prosthet Dent*, 98, 389-404.
- Crispin, B. J., Seghi, R. R. & Globe, H. 1991. Effect of different metal ceramic alloys on the color of opaque and dentin porcelain. *J Prosthet Dent*, 65, 351-356.

- Denry, I. & Kelly, J. R. 2008. State of the art of zirconia for dental applications. *Dent Mater*, 24, 299-307.
- Dion, I., Bordenave, L., Lefebvre, F., Bareille, R., Baquey, C., Monties, J.-R. & Havlik, P. 1994. Physico-chemistry and cytotoxicity of ceramics. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 5, 18-24.
- Douglas, R. D. & Brewer, J. D. 1998. Acceptability of shade differences in metal ceramic crowns. *J Prosthet Dent*, 79, 254-260.
- Freedman, G. A. 2011. *Contemporary esthetic dentistry*, Elsevier Health Sciences.
- Ghinea, R., Pérez, M. M., Herrera, L. J., Rivas, M. J., Yebra, A. & Paravina, R. D. 2010. Color difference thresholds in dental ceramics. *J Dent*, 38, e57-e64.
- Gonuldas, F., Yılmaz, K. & Ozturk, C. 2014. The effect of repeated firings on the color change and surface roughness of dental ceramics. *J Adv Prosthodont*, 6, 309-316.
- Gürel, G. 2003. The science and art of porcelain laminate veneers. Baden-Baden. Quintessence Books.
- Haselton, D. R., Diaz-Arnold, A. M. & Hillis, S. L. 2000. Clinical assessment of high-strength all-ceramic crowns. *J Prosthet Dent*, 83, 396-401.
- Heffernan, M. J., Aquilino, S. A., Diaz-Arnold, A. M., Haselton, D. R., Stanford, C. M. & Vargas, M. A. 2002a. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part I: core materials. *J Prosthet Dent*, 88, 4-9.
- Heffernan, M. J., Aquilino, S. A., Diaz-Arnold, A. M., Haselton, D. R., Stanford, C. M. & Vargas, M. A. 2002b. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part II: core and veneer materials. *J Prosthet Dent*, 88, 10-15.
- Helvey, G. A. 2008. Zirconia and computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM) dentistry. *Inside Dentistry*, 4, 72-79.
- Ivoclarvivadent. Available: <http://www.ivoclarvivadent.us/emaxchangeseverything/system/>.
- Ivoclarvivadent, scientific documentation. IPS e.max Press 2007.
- Jalali, H., Alizadeh, E. S., Sadighpour, L., Shabestari, G. O. & Fard, M. 2010. The effect of background and ceramic thickness on the color of an all-ceramic restorative system. *Journal of the California Dental Association*, 38, 179-186.
- Janney, M. A., Calhoun, C. L. & Kimrey, H. D. 1992. Microwave Sintering of Solid Oxide Fuel Cell Materials: I, Zirconia-8 mol% Yttria. *Journal of the American Ceramic Society*, 75, 341-346.
- Jiang, L., Liao, Y., Wan, Q. & Li, W. 2011. Effects of sintering temperature and particle size on the translucency of zirconium dioxide dental ceramic. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 22, 2429-2435.

- Jiang, W., Bo, H., Yongchun, G. & Longxing, N. 2010. Stress distribution in molars restored with inlays or onlays with or without endodontic treatment: a three-dimensional finite element analysis. *J Prosthet Dent*, 103, 6-12.
- Jorgenson, M. W. & Goodkind, R. J. 1979. Spectrophotometric study of five porcelain shades relative to the dimensions of color, porcelain thickness, and repeated firings. *J Prosthet Dent*, 42, 96-105.
- Kelly, J. R. 2008. Dental ceramics. *The Journal of the American Dental Association*, 139, S4-S7.
- Kelly, J. R. & Denry, I. 2008. Stabilized zirconia as a structural ceramic: an overview. *Dent Mater*, 24, 289-98.
- Kelly, J. R., Nishimura, I. & Campbell, S. D. 1996. Ceramics in dentistry: historical roots and current perspectives. *J Prosthet Dent*, 75, 18-32.
- Khamverdi, Z. & Moshiri, Z. 2012. Zirconia: An Up-to-date Literature Review. *Avicenna Journal of Dental Research*, 4, 1-15.
- Kim, I.-J., Lee, Y.-K., Lim, B.-S. & Kim, C.-W. 2003. Effect of surface topography on the color of dental porcelain. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 14, 405-409.
- Kina, S. & Bruguera, A. 2008. *Invisible: esthetic ceramic restorations*, Artes Medicas.
- Lund, P. S. & Piotrowski, T. J. 1992. Color changes of porcelain surface colorants resulting from firing. *International Journal of Prosthodontics*, 5.
- Manicone, P. F., Iommetti, P. R. & Raffaelli, L. 2007. An overview of zirconia ceramics: basic properties and clinical applications. *J Dent*, 35, 819-826.
- McLaren, E. A. & Cao, P. T. 2009. Ceramics in dentistry—part I: classes of materials. *Inside Dentistry*, 5, 94-103.
- Miyazaki, T., Hotta, Y., Kunii, J., Kuriyama, S. & Tamaki, Y. 2009. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dental materials journal*, 28, 44-56.
- Miyazaki, T., Nakamura, T., Matsumura, H., Ban, S. & Kobayashi, T. 2013. Current status of zirconia restoration. *Journal of prosthodontic research*, 57, 236-261.
- Munsellcoloursystem. Available: <http://www.britannica.com/science/color/images-videos/The-hue-value-and-chroma-coordinates-of-Munsells-colour-solid/1068>.
- O'brien, W. J., Kay, K.-S., Boenke, K. M. & Groh, C. 1991. Sources of color variation on firing porcelain. *Dental Materials*, 7, 170-173.
- O'brien, W. 2008. *Dental Materials and Their Selection*, Chicago, Quintessence Publishing.
- Ozturk, O., Uludag, B., Usumez, A., Sahin, V. & Celik, G. 2008. The effect of ceramic thickness and number of firings on the color of two all-ceramic systems. *J Prosthet Dent*, 100, 99-106.

- Piconi, C. & Maccauro, G. 1999. Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials*, 20, 1-25.
- Pilathadka, S., Vahalová, D. & Vosáhlo, T. 2007. The Zirconia: a new dental ceramic material. An overview. *Prague Med Rep*, 108, 5-12.
- Pires-De, F. D. C. P., Casemiro, L. A., Garcia, L. D. F. R. & Cruvinel, D. R. 2009. Color stability of dental ceramics submitted to artificial accelerated aging after repeated firings. *J Prosthet Dent*, 101, 13-18.
- Pocketdentistry. 2016. Available: <http://pocketdentistry.com/11-restorative-materials-ceramics/>.
- Powers, J. M. & Wataha, J. C. 2014. *Dental Materials-: Properties and Manipulation*, Elsevier Health Sciences.
- Ragain, J. & Johnston, W. M. 2001. Accuracy of Kubelka-Munk reflectance theory applied to human dentin and enamel. *Journal of Dental Research*, 80, 449-452.
- Ragain, J. C. & Johnston, W. M. 2000. Color acceptance of direct dental restorative materials by human observers. *Color Research & Application*, 25, 278-285.
- Raghavan, R. N. 2012. *Ceramics in Dentistry*, INTECH Open Access Publisher.
- Rimondini, L., Cerroni, L., Carrassi, A. & Torriceni, P. 2002. Bacterial colonization of zirconia ceramic surfaces: an in vitro and in vivo study. *International journal of oral & maxillofacial implants*, 17.
- Rosenstiel, L. 2006. Fujimoto. *Contemporary fixed prosthodontics*, 272-312.
- Sahin, V., Uludag, B., Usumez, A. & Ozkir, S. 2010. The effect of repeated firings on the color of an alumina ceramic system with two different veneering porcelain shades. *J Prosthet Dent*, 104, 372-378.
- Scarano, A., Di Carlo, F., Quaranta, M. & Piattelli, A. 2003. Bone response to zirconia ceramic implants: an experimental study in rabbits. *Journal of Oral Implantology*, 29, 8-12.
- Seghi, R. R., Johnston, W. M. & O'brien, W. 1986. Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems. *J Prosthet Dent*, 56, 35-40.
- Sikri, V. K. 2010. Color: Implications in dentistry. *Journal of conservative dentistry*, 13, 249.
- Spear, F. & Holloway, J. 2008. Which all-ceramic system is optimal for anterior esthetics? *The Journal of the American Dental Association*, 139, S19-S24.
- Stappert, C. F., Att, W., Gerds, T. & Strub, J. R. 2006. Fracture resistance of different partial-coverage ceramic molar restorations: An in vitro investigation. *The Journal of the American Dental Association*, 137, 514-522.
- Taira, M., Nomura, Y., Wakasa, K., Yamaki, M. & Matsui, A. 1990. Studies on fracture toughness of dental ceramics. *Journal of oral rehabilitation*, 17, 551-563.

- Tuncel, I., Eroglu, E., Sari, T. & Usumez, A. 2013. The effect of coloring liquids on the translucency of zirconia framework. *J Adv Prosthodont*, 5, 448-451.
- Tung, F. F., Goldstein, G. R., Jang, S. & Hittelman, E. 2002. The repeatability of an intraoral dental colorimeter. *J Prosthet Dent*, 88, 585-590.
- Turgut, S. & Bagis, B. 2011. Colour stability of laminate veneers: an in vitro study. *J Dent*, 39, e57-e64.
- Uludag, B., Usumez, A., Sahin, V., Eser, K. & Ercoban, E. 2007. The effect of ceramic thickness and number of firings on the color of ceramic systems: an in vitro study. *J Prosthet Dent*, 97, 25-31.
- Vichi, A., Corciolani, G., Davidson, C. L. & Ferrari, M. 2007. Color and opacity variations in three different resin-based composite products after UV aging. *International Dentistry South Africa*, 9, 58-66.
- Yang, D., Raj, R. & Conrad, H. 2010. Enhanced Sintering Rate of Zirconia (3Y-TZP) Through the Effect of a Weak dc Electric Field on Grain Growth. *Journal of the American Ceramic Society*, 93, 2935-2937.
- Yilmaz, K. & Özkan, P. 2010. Profilometer evaluation of the effect of various polishing methods on the surface roughness in dental ceramics of different structures subjected to repeated firings. *Quintessence International*, 41.

قائمة المحتويات

8	المقدمة
11	هدف البحث
12	الباب الأول: المراجعة النظرية
13	1-1: الخزف السني
13	1-1-1: التركيب الكيميائي للخزف السني
14	2-1-1: تصنيف الخزف السني
14	1-2-1-1: تصنيف الخزف وفق درجة الانصهار
15	2-2-1-1: تصنيف الخزف حسب البنية المجهرية
17	3-2-1-1: تصنيف الخزف بالاعتماد على تقنية التصنيع
20	3-1-1: التعريف بنظام IPS-e.max
22	4-1-1: التعريف بالزيركونيا Zirconia
23	1-4-1-1: الخصائص البنيوية للزيركونيا
25	2-4-1-1: أنواع الزيركونيا المستخدمة في طب الأسنان
26	3-4-1-1: خواص الزيركونيا المستقرة جزئياً بالإيتريوم
28	4-4-1-1: أصناف قوالب الزيركونيا المعدة للنحت الآلي
29	2-1: الضوء واللون
31	1-2-1: اللون في طب الأسنان
36	2-2-1: وصف اللون/أبعاد اللون
36	أولاً : نظام مونسيل اللوني
38	ثانياً: نظام اللون الكمي CIE L*a*b*
40	3-2-1: اختيار اللون في طب الأسنان
46	الدراسات السابقة
49	الباب الثاني: مواد وطرائق البحث
50	1-2: وصف عينة البحث
50	2-2: مواد البحث
50	1-2-2: المواد المستخدمة في البحث
54	2-2-2: الأجهزة والأدوات المستخدمة في البحث
59	3-2 طرائق البحث
59	2-3-1-1: مرحلة صنع الأقراص الخزفية
59	أولاً: خطوات صناعة الأقراص الخزفية الزجاجية
65	ثانياً: خطوات صناعة الأقراص الخزفية الزيركونية
68	2-3-2: مرحلة تكرار خبز الأقراص الخزفية وتسجيل القراءات اللونية

70.....	الباب الثالث: النتائج
71.....	الدراسة الإحصائية
71.....	1-3: وصف العينة
71.....	2-3: الدراسة الإحصائية التحليلية
72.....	1-2-3: دراسة قيم المعاملات اللونية في عينة البحث
84.....	2-2-3: دراسة مقدار التغير اللوني ΔE
95.....	الباب الرابع: المناقشة
96.....	1-4: مناقشة فكرة البحث
96.....	2-4: مناقشة المواد والطرائق
100.....	3-4: مناقشة نتائج الدراسة الإحصائية
103.....	4-4: المقارنة مع الدراسات السابقة
104.....	5-4: محددات البحث
106.....	الباب الخامس: الاستنتاجات
108.....	الباب السادس: المقترحات والتوصيات
109.....	1-6: مقترحات لأبحاث مستقبلية
110.....	2-6: التوصيات
111.....	الباب السابع: المراجع
117.....	الملخص
118.....	Abstract

قائمة بالجداول

- جدول 1: يبين توزيع عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم. 71
- جدول 2: يبين الدرجات المعتمدة للقبول السريري للتغير اللوني في عينة البحث والقيم الموافقة المعطاة لكل درجة. 72
- جدول 3: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى لقيم المعامل اللوني L^* في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة. 73
- جدول 4: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى لقيم المعامل اللوني a^* في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة. 74
- جدول 5: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى لقيم المعامل اللوني b^* في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة. 75
- جدول 6: يبين نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قيم كل من المعاملات اللونية (L^* ، a^* ، b^*) بين مجموعة الخزف زيروكونيا ومجموعة الخزف الزجاجي $e.max$ في عينة البحث، وذلك وفقاً للمرحلة المدروسة. 76
- جدول 7: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى لقيم المعامل اللوني L^* في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم. 77
- جدول 8: يبين نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المترابطة لدراسة دلالة الفروق الثنائية في متوسط قيم المعامل اللوني L^* بين المراحل الأربع المدروسة (قبل الخبز، بعد دورتي خبز اثنتين، بعد أربع دورات خبز، بعد ست دورات خبز) في عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم. 78
- جدول 9: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى لقيم المعامل اللوني a^* في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم. 80
- جدول 10: يبين نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المترابطة لدراسة دلالة الفروق الثنائية في متوسط قيم المعامل اللوني a^* بين المراحل الأربع المدروسة (قبل الخبز، بعد دورتي خبز اثنتين، بعد أربع دورات خبز، بعد ست دورات خبز) في عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم. 81
- جدول 11: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى لقيم المعامل اللوني b^* في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم. 82
- جدول 12: يبين نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المترابطة لدراسة دلالة الفروق الثنائية في متوسط قيم المعامل اللوني b^* بين المراحل الأربع المدروسة (قبل الخبز، بعد دورتي خبز اثنتين، بعد أربع دورات خبز، بعد ست دورات خبز) وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم. 83
- جدول 13: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى للتغير اللوني ΔE في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة. 84
- جدول 14: يبين نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط التغير اللوني ΔE بين مجموعة الخزف زيروكونيا ومجموعة الخزف الزجاجي $e.max$ في عينة البحث، وذلك وفقاً للمرحلة المدروسة. 85
- جدول 15: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى لدرجة القبول السريري للتغير اللوني ΔE في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم. 87
- جدول 16: يبين نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المترابطة لدراسة دلالة الفروق الثنائية في متوسط قيم التغير اللوني ΔE بين المراحل الثلاث المدروسة (بعد دورتي خبز، بعد 4 دورات خبز، بعد 6 دورات خبز) في عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم. 88
- جدول 17: يبين نتائج تحديد درجة القبول السريري للتغير اللوني في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة. 89
- جدول 18: يبين متوسط الرتب لدرجة القبول السريري للتغير اللوني في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة. 90

- جدول 19: يبين نتائج اختبار Mann-Whitney U لدراسة دلالة الفروق في تكرارات درجة القبول السريري للتغير اللوني بين مجموعة الخزف زيكونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث، وذلك وفقاً للمرحلة المدروسة. 91
- جدول 20: يبين متوسط الرتب لدرجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم. 92
- جدول 21: يبين نتائج اختبار Friedman لدراسة دلالة الفروق في تكرارات درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي بين المراحل الثلاث المدروسة (بعد دورتي خَبْر اثنتين، بعد أربع دورات خَبْر، بعد ست دورات خَبْر) في عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم. 93
- جدول 22: يبين نتائج اختبار Wilcoxon للرتب ذات الإشارة الجبرية لدراسة دلالة الفروق في تكرارات درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي بين المراحل الثلاث المدروسة (بعد دورتي خَبْر اثنتين، بعد أربع دورات خَبْر، بعد ست دورات خَبْر) من عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم. 93

قائمة بالأشكال

- شكل 1: يوضح البنية المجهرية والشكل التجاري لخزف IPS e.max Press 20
- شكل 2: يوضح الشكل التجاري لخزف IPS e.max ZirPress 20
- شكل 3: يوضح البنية المجهرية والشكل التجاري لخزف IPS-e.max CAD 20
- شكل 4: يوضح البنية المجهرية والشكل التجاري لخزف IPS-e.max ZirCAD 21
- شكل 5: يوضح البنية المجهرية والشكل التجاري لخزف IPS-e.max Ceram 21
- شكل 6: يوضح البنية البلورية للزيركونيا باختلاف درجات الحرارة 23
- شكل 7: يوضح آلية متانة التحول في الزيركونيا 26
- شكل 8: يوضح موقع الطيف الضوئي المرئي بالنسبة للطيف الإشعاعي الكهربائي 29
- شكل 9: يوضح ألوان الطيف الناتجة عن مرور الضوء عبر مؤشر زجاجي 29
- شكل 10: يوضح الألوان الأولية 31
- شكل 11: يوضح الألوان الثانوية (المتمة) 31
- شكل 12: يوضح الألوان المتتامة 32
- شكل 13: يوضح كيفية تعديل قيمة الإشراق اللوني باستخدام الألوان المتتامة 32
- شكل 14: يوضح علاقة لون الجسم بانعكاس الضوء أو امتصاصه 34
- شكل 15: يوضح أبعاد اللون الثلاثة بنظام مونسيل 37
- شكل 16: يوضح المعاملات اللونية بنظام اللون الكمي CIE L*a*b* 38
- شكل 17: دليل الألوان التقليدي VITAPAN classical 40
- شكل 18: دليل ألوان CHROMASCOP مع المجموعة الإضافية 41
- شكل 19: دليل الألوان ثلاثي الأبعاد 3D Master 42
- شكل 20: يوضح جهاز X-Rite وآلية عمله 45
- شكل 21: بلوك الزيركونيا المستخدم 50
- شكل 22: شمع الصب المستخدم لتشميع أقراص المجموعة الأولى 51
- شكل 23: المسحوق الكاسي مع السائل 51
- شكل 24: المصبوبات الخزفية المستخدمة 52
- شكل 25: (1) الدافع الألوميني، (2) الدافع الألوميني في علبة المادة العازلة 52
- شكل 26: السائل الحمضي invex 53
- شكل 27: خزف البناء المغطي (العاجي والمينائي) مع خزف الغليز 53
- شكل 28: مكونات جهاز CAD/CAM: (1) جهاز الكمبيوتر مع برنامج التصميم (2) آلة النحت 54
- شكل 29: فرن تقسية الزيركونيا 54
- شكل 30: فرن الحقن الحراري EP3000 55
- شكل 31: فرن خبز الخزف P300 55
- شكل 32: المرملة المستخدمة 56
- شكل 33: جهاز قياس اللون الالكتروني المستخدم 56
- شكل 34: مقياس الثخانة المستخدم 57
- شكل 35: أجزاء البوتقة 57

شكل 36:	الميكروتنور الصناعي مع القبضة	58
شكل 37:	(1) القرص الفاصل، (2) رأس الإنهاء المطاطي	58
شكل 38	تشميع الأقراص وإكساؤها	60
شكل 39 :	أسطوانة الكاسي في فرن الإحماء	60
شكل 40	الحقن الحراري للمضغوطة الخزفية	61
شكل 41	تنظيف الأقراص المحقونة من المسحوق الكاسي	62
شكل 42	تجهيز الأقراص لبناء الخزف المغطي	63
شكل 43:	طريقة تطبيق خزف البناء المغطي	64
شكل 44:	تصميم ونحت الأسطوانة الزيركونية	65
شكل 45	تصنيع هياكل أقراص الزيركونيا	65
شكل 46:	تلييد الهياكل الزيركونية في فرن الإحماء المخصص	66
شكل 47	تغطية هياكل الزيركونيا بالخزف المغطي وخبزها	66
شكل 48:	أقراص الخزف الزجاجي وأقراص الزيركونيا داخل حجرات العلبة البلاستيكية الحافظة للعينات	67
شكل 49:	يوضح ترقيم حجرات الحافظة البلاستيكية	67
شكل 50:	طريقة قياس اللون باستخدام جهاز VITA Easyshade* Compact	69

قائمة بالمخططات البيانية

- مخطط 1: يمثل النسبة المئوية لتوزيع عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم. 71
- مخطط 2: يمثل المتوسط الحسابي لقيم المعامل اللوني L^* في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة. 73
- مخطط 3: يمثل المتوسط الحسابي لقيم المعامل اللوني a^* في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة. 74
- مخطط 4: يمثل المتوسط الحسابي لقيم المعامل اللوني b^* في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة. 75
- مخطط 5: يمثل المتوسط الحسابي لقيم المعامل اللوني L في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم. 78
- مخطط 6: يمثل المتوسط الحسابي لقيم المعامل اللوني a في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم. 80
- مخطط 7: يمثل المتوسط الحسابي لقيم المعامل اللوني b في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم. 82
- مخطط 8: يمثل المتوسط الحسابي لمقدار التغير اللوني ΔE في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة. 85
- مخطط 9: يمثل المتوسط الحسابي لمقدار التغير اللوني الأولي ΔE في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم. 87
- مخطط 10: يمثل النسبة المئوية لنتائج تحديد درجة القبول السريري للتغير اللوني وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة. 89
- مخطط 11: يمثل متوسط الرتب لدرجة القبول السريري للتغير اللوني في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة. 90
- مخطط 12: يمثل متوسط الرتب لدرجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم. 92

المقدمة

Introduction

يمتاز الخزف السني بمواصفاتٍ تجميليةٍ عاليةٍ جعلته من أكثر المواد استخداماً في تعويضات الأسنان الثابتة على الرغم من ضعف خواصه الميكانيكية (Miyazaki et al., 2009)، ومع التطور الكبير الذي يشهده طب الأسنان عموماً والمواد السنية خصوصاً فقد حظيت الترميمات الخزفية الخالية من المعدن بمكانةٍ عاليةٍ في طب الأسنان التجميلي بفضل ما تقدمه هذه المواد من خواصٍ بصريةٍ ممتازةٍ تتشابه إلى حدٍ كبيرٍ مع الأسنان الطبيعية عدا عن التحسن الكبير الذي طرأ على خواصها الميكانيكية (Powers and Wataha, 2014)، حيث يعدّ الانسجام اللوني بين التعويض الخزفي والأسنان المجاورة من أهم متطلبات النجاح السريري (Ozturk et al., 2008).

يعتمد النجاح طويل الأمد للتعويضات الخزفية على عدّة عوامل، من أهمها ثباتها اللوني وانسجامها مع الأسنان المجاورة، حيث يُعدّ سوء الانسجام اللوني بين التعويض الخزفي والأسنان الطبيعية المجاورة من أبرز المشاكل السريرية الشائعة التي قد تضطرّ طبيب الأسنان إلى تغيير التعويضات الخزفية القديمة واستبدالها بأخرى جديدة (Pires-de et al., 2009).

تلعب الخواص البصرية للمادة الخزفية دوراً هاماً للحصول على الانسجام اللوني المطلوب بين التعويض الخزفي والأسنان الطبيعية المجاورة، ويعتمد اللون النهائي للتعويضات الخزفية الخالية من المعدن على ثلاثة عواملٍ أساسيةٍ هي لون الدعامات بعد التحضير، ولون إسمنت الإلصاق المستخدم، بالإضافة إلى لون وظلاية المادة الخزفية المستخدمة (O'Brien et al., 1991).

ويتأثر اللون النهائي للتعويض الخزفي بالعديد من العوامل خلال مراحل التصنيع، من أهمها نوع الخزف المستخدم (Seghi et al., 1986) وثخانتته (Jorgenson and Goodkind, 1979)، نعومة السطح (Yilmaz and Özkan, 2010)، درجة الحرارة المستخدمة للخبز (O'Brien et al., 1991)، وعدد دورات الخبز (Uludag et al., 2007 , Ozturk et al., 2008, Al-Dwairi et al., 2013).

لم تتناول الكثير من الدراسات كيفية تأثير إجراءات التصنيع المخبرية مثل عدد مرّات الحَبز في اللون النهائي للترميمات الخزفية الخالية من المعدن كالخزف المعتمد على الزيركونيا والخزف الزجاجي المقوى ببلورات ثنائي سيليكات الليثيوم IPS e.max press، ولذلك كان لا بدّ من الاستفاضة والبحث حول هذا الموضوع ومن هنا كانت فكرة هذه الدراسة.

هدف البحث Aim of study

يهدف هذا البحث إلى :

1. دراسة تأثير عدد دورات الخبز (2-4-6 مرّات) في تغيّر اللون النهائي للتّعويضات الخزفية الخالية من المعدن المصنّعة بتقنية الحقن الحراريّ باستخدام خزف IPS e.max press ذو الظلالية المتوسطة (MO1) والمغطى بخزف IPS e.max Ceram .
2. دراسة تأثير عدد دورات الخبز (2-4-6 مرّات) في تغيّر اللون النهائي للتّعويضات الخزفية الخالية من المعدن والمصنّعة بتقنية التصميم والتصنيع الحاسوبي CAD/CAM باستخدام بلوكات الزيركونيا (DD Bio ZW) من شركة (Dental Direct) والمغطاة بخزف IPS e.max Ceram.
3. مقارنة التّغيرات اللونية التي قد تحصل بعد تكرار الخبز لنظاميّ الخزف المستخدمين.

الباب الأول

المراجعة النظرية

Literature Review

1-1: الخزف السني Dental Ceramic

يُعرّف الخزف بأنه مركب يتكون من عنصر معدنيّ أو أكثر مع عنصر غير معدنيّ هو الأكسجين عادةً. ويتألف الخزف من مواد قاسية قصفة، مستقرة كيميائياً وحيوياً، وغير ناقلة للحرارة والكهرباء. أما الخزف السني فهو مركب غير عضويّ، يتألف من الأكسجين مع عناصر معدنية مثل الألمنيوم والكالسيوم والليثيوم والمغنيزيوم والزيرونيوم وغيرها، أو عناصر نصف معدنية مثل السيليسيوم.

(Powers and Wataha, 2014)

1-1-1: التركيب الكيميائي للخزف السني Chemical Composition of Dental Ceramic

يتألف الخزف السني التقليدي من مسحوق وسائل: (Anusavice et al., 2013)

❖ **المسحوق:** يتكون من المركبات الطبيعية أو الصناعية الرئيسية التالية:

1. **الفلدسبار:** وهو سيليكات الألمنيوم البوتاسي ($K_2O.6Al_2O_3.6SiO_2$) ويعتبر المكون الأساسي للخزف السني حيث تبلغ نسبته (70-80%). يبدأ الفلدسبار بالانصهار عند درجة حرارة تبلغ 1150°م متحولاً إلى بلورات اللوسيت ($K_2O.Al_2O_3.4SiO_2$)، وغالباً ما تضاف بلورات اللوسيت للخزف السني لتكسبه المقاومة والمتانة.

2. **الكوارتز (السليكا):** وهو أكسيد السيليسيوم (SiO_2) ويشكل حوالي (10-20%) من تركيب الخزف السني، يملك مدى انصهار مرتفع (1400-1600°م) ولذلك يبقى ثابتاً خلال الخبز محافظاً على شكله البلوري مما يكسب الخزف المقاومة والقساوة أثناء خبزه.

3. **مادة الصلصال (الكاؤولين):** وهي سيليكات الألمنيوم ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$) وتشكل نسبة (1-10%) من تركيب الخزف السني، وتعطي الخزف ظلالته كما تقوم بدور المادة الرابطة بين ذرات المسحوق،

فعند مزجها بالماء نحصل على خليط متماسك قابل للتشكيل، إلا أن أغلب المنتجات الحديثة للخزف السني تخلو من الكاؤولين وتستخدم النشاء والسكر ليقوما بدور المادة الرابطة.

4. **معدلات الزجاج (المسيلات أو المواد الصاهرة):** مثل فوسفات البوتاسيوم K_3PO_4 أو كربونات البوتاسيوم

K_2CO_3 أو كربونات الصوديوم Na_2CO_3 ، تشكل نسبة (10-20 %) وتعمل على خفض درجة حرارة الانصهار وزيادة عامل التمدد الحراري.

5. **الألومينا:** تتوزع ضمن الشبكة الزجاجية وهي تعطي الخزف المقاومة والظلالية كما أنها تعدل درجة الانصهار وتزيد من لزوجة الخزف أثناء خبزه.

ويضاف للمجموع ملونات تتكون من أكاسيد معدنية للحصول على ألوان خاصة للخزف.

❖ **السائل:** هو ماء مقطر يضاف إليه قليل من المواد العضوية كالنشاء أو الغليسرين ليسهل تشكيل وتكثيف المادة الخزفية وذلك بإضافة قوام شبه عجيني للمسحوق.

2-1-1: تصنيف الخزف السني Classification of Dental Ceramic

يمكن تصنيف الخزف وفق معايير متعددة أهمها:

1-2-1-1: تصنيف الخزف وفق درجة الانصهار: (Kina and Bruguera, 2008)

1. خزف ذو درجة انصهار عالية high melting ($1290^{\circ}C - 1370^{\circ}C$).
2. خزف ذو درجة انصهار متوسطة medium melting ($1090^{\circ}C - 1260^{\circ}C$).
3. خزف ذو درجة انصهار منخفضة low melting ($870^{\circ}C - 1070^{\circ}C$).
4. خزف ذو درجة انصهار منخفضة جداً ultra-low melting ($650^{\circ}C - 850^{\circ}C$).

1-1-2-2: تصنيف الخزف حسب البنية المجهرية:

يمكن تصنيف الخزف حسب البنية المجهرية بالاعتماد على نسبة التركيب الزجاجي- البلوري إلى أربع فئاتٍ أساسية: (McLaren and Cao, 2009)

الفئة الأولى: أنظمة الخزف الزجاجي (السليكا بصورة أساسية):

تتكون بشكلٍ أساسي من أكسيد السيليسيوم (SiO_2) المعروف باسم السيليكا أو الكوارتز، ويحوي كمياتٍ متفاوتة من الألومينا. استخدمت بدايةً لصناعة أسنان الأجهزة المتحركة، ثم استخدمت كخزفٍ مغطٍ لأنظمة (In-Ceram)، كما تم تصنيعها بشكل بلوكاتٍ خزفيةٍ لتستخدم بتقنية التصميم والتصنيع الحاسوبي CAD/CAM مثل بلوكات (Vident) vitablocks mark II التي تستخدم مع نظام CEREC (Sirona Dental Systems, Charlotte, NC).

الفئة الثانية: أنظمة الخزف الزجاجي (السليكا بصورة أساسية) مع مواد مائئة بلورية:

تتكون بشكلٍ أساسي من السيليكا أو الكوارتز مع مواد مائئة بلورية (بلورات اللوسيت أو بلورات ثنائي سيليكات الليثيوم)، ويمكن تقسيم هذا النمط من الخزف إلى 3 مجموعاتٍ فرعيةٍ أخرى بحسب حجم ونوع الطور البلوري:

1. خزف زجاجي فلدسباري ذو محتوى منخفضٍ إلى متوسطٍ من بلورات اللوسيت:

وهو الخزف المعروف اصطلاحاً باسم الخزف الفلدسباري.

2. خزف زجاجي عالي المحتوى من بلورات اللوسيت (تقريباً 50% حجماً)

مثل خزف (IPS Empress1) الذي يصنع بتقنية الحقن الحراري heat-pressing.

3. خزف زجاجي مقوى ببلورات ثنائي سيليكات الليثيوم:

ويصنع بتقنية الحقن الحراري مثل خزف (IPS Empress2) وخزف (IPS e.max press)، أو بتقنية التصميم والتصنيع الحاسوبي CAD/CAM مثل خزف (IPS e.max CAD).

الفئة الثالثة: أنظمة الخزف البلوري (عادة الألومينا) مع مواد مائنة زجاجية :

أو أنظمة السيراميك المرتشح بالزجاج Glass-infiltrated ceramic وتعرف باسم (In-Ceram)، وهي 3 أنظمة خزفية قدمتها شركة VITA كبديل عن التعويضات الخزفية المعدنية التقليدية وقد لاقت نجاحاً سريراً كبيراً، ويتم تصنيعها مخبرياً إما بتقنية المعلق slip casting ، أو بتقنية التصميم والتصنيع الحاسوبي CAD/CAM. تمتلك أنظمة (In-Ceram) بنيةً مجهريةً متعددة الأطوار ذات هيكل بلوريٍّ مساميٍّ ضعيفٍ يتم تشريبه بزجاج اللانثانيوم السائل في درجات حرارةٍ عاليةٍ لتنتج بنيةً صلبةً ومتينةً :

1. نظام In-Ceram Alumina :

يتكون الهيكل من مسحوق أوكسيد الألومنيوم Al_2O_3 بنسبة 70%، يتم تشريبه بزجاج اللانثانيوم المصهور بنسبة 30%، ويؤدي نتائج تجميلية وميكانيكية جيدة مما يمكن استخدامه كتيجان وجسور ثلاثية الوحدات للتعويض عن الأسنان الأمامية والخلفية (Haselton et al., 2000).

2. نظام In-Ceram Spinell :

يتكون الهيكل من الألومينا والمغنيزيوم ($Mg.AL_2O_3$) ويمتاز بشفافية عالية جداً بفضل احتوائه على المغنيزيوم، حيث تبلغ شفافية هذا النظام ضعفي شفافية الجيل الأول (Heffernan et al., 2002b)، ولكن خواصه الميكانيكية الضعيفة حددت استطبائاته بالتيجان المفردة الأمامية فقط.

3. نظام In-Ceram Zirconia :

يتكون الهيكل من الألومينا بنسبة 67% والزيروكونيا بنسبة 33%، ويمتاز بمتانة ومقاومة عالية إلا أنه ذو ظلالية عالية جداً فتحدت استطبائاته بالتيجان والجسور ثلاثية الوحدات في المنطقة الخلفية فقط.

الفئة الرابعة: أنظمة الخزف الصلب متعددة البلورات (الألومينا والزيروكونيا):

تتكون من قالب بلوريٍّ من الزيروكونيا النقية مثل نظام DC-Zircon، أو من الألومينا النقية مثل نظام Procera (Nobel Biocare) وبدون طور زجاجيٍّ.

1-1-2-3: تصنيف الخزف بالاعتماد على تقنية التصنيع (Rosenstiel, 2006):

يمكن صناعة أنظمة الخزف الكامل بطرقٍ متنوعةٍ يمكن تصنيفها كما يلي:

1. تقنية مسحوق / سائل:

وتتم باستخدام الفرشاة إما بطريقة التكتيف التقليدية condensation المستخدمة لتغطية الهياكل المعدنية أو الخزفية، أو بطريقة المعلق slip casting المستخدمة مع أنظمة In-Ceram والتي تعتمد على تطبيق المزيج الخزفي على مثالٍ مقاومٍ للحرارة refractory die ثم يتم التلييد Sintering بدرجة حرارة تبلغ 1120° م لمدة 10 ساعات، فينتج هيكلٌ بلوريٌّ مساميٌّ يتم تشريبه بزجاج اللانثانيوم السائل بدرجة حرارة تبلغ 1100° م لمدة 4 ساعات.

2. تقنية التصميم والتصنيع الحاسوبي CAD/CAM:

وهي اختصارٌ لمصطلح (Computer-Aided Design/ Computer-Aided Manufacturing)

أي (التصميم بمساعدة الحاسوب/التصنيع بمساعدة الحاسوب)، وتعتمد هذه التقنية على ثلاث مراحل:

- مرحلة المسح: لإجراء نسخة رقمية ثلاثية الأبعاد للأسنان المحضرة ليتم تصميم التعويض عليها.
- مرحلة التصميم CAD: لتصميم التعويض باستخدام برنامج التصميم الحاسوبي المرفق بالنظام.
- مرحلة التصنيع CAM: لصنع التعويض المطلوب باستخدام جهازٍ خاصٍ متعدد المحاور.

3. تقنية الحقن الحراري heat –pressing :

تتم باستخدام تقنية الشمع الضائع lost-wax technique، حيث يستخدم فرنٌ خاصٌ يعمل على تليين المصبوبة الخزفية ingot بدرجة حرارةٍ معينةٍ (حسب النظام الخزفي المستخدم) ثم حقنها داخل الفراغ المتشكل عن تبخر النموذج الشمعي في أسطوانة المسحوق الكاسي، وقد تم تطوير هذه التقنية للحد من المسامات المجهرية التي تحدث أثناء عملية تلييد المواد الخزفية الكاملة، حيث أن هذه المسامات تمهد لحدوث التشوهات التي تسبب فشل التعويض الخزفي.

ويمكن استخدام تقنية الحقن الحراري لصناعة الترميمات بثلاث طرق:

1- **طريقة التلوين staining technique**: وفيها يتم حقن الترميم بشكله التشريحي النهائي ومن ثم

يتم تلوينه وترجيجه.

2- **طريقة القطع التراجعي cut-back**: وتعني تطبيق الخزف المغطي المينائي فقط بعد اقتطاع جزء

من التلث القاطع للسن المحقون بشكله التشريحي الكامل.

3- **طريقة بناء الطبقات layering technique**: يتم بناء طبقات الخزف المغطي العاجي والمينائي

فوق الهيكل الأساسي المحقون core.

ومن أشهر الأنظمة الخزفية التي تصنع بتقنية الحقن الحراري (Spear and Holloway, 2008):

• **IPS Empress 1 لشركة Ivoclar Vivadent**:

تم تطوير هذا النظام الخزفي في جامعة زيورخ في سويسرا في عام 1983، وتم تسويقه تجارياً من قبل

شركة Ivoclar Vivadent في عام 1990 م. وهو خزف زجاجي مقوى ببلورات اللوسيت يكون بشكل

مصبوبات (مضغوطات) خزفية ingots قابلة للحقن الحراري ومتوافرة بخيارات لونية عديدة.

• **IPS Empress 2 لشركة Ivoclar Vivadent**:

وهو خزف زجاجي مقوى ببلورات ثنائي سيليكات الليثيوم يكون بشكل مصبوبات خزفية قابلة للحقن

الحراري متوافرة بخيارات لونية عديدة، تم تطويره من نظام IPS Empress 1 في عام 1998 م من

خلال زيادة المحتوى البلوري في تركيبه إلى 60% مما أدى إلى تحسن الخواص الميكانيكية.

• **IPS e.max Press لشركة Ivoclar Vivadent**:

وهو خزف زجاجي مقوى ببلورات ثنائي سيليكات الليثيوم تم تطويره من نظام IPS Empress 2 ويفوق

سابقه بالخواص التجميلية والميكانيكية (Stappert et al., 2006)، يكون بشكل مصبوبات خزفية قابلة

للحقن الحراري، ويتوافر بدرجاتٍ مختلفةٍ من الظلالية والشفافية كي تلائم كافة الاستخدامات (Ivoclar Vivadent,2007):

✓ المصبوبات ذات الشفافية العالية HT (High Translucency) :

تتوفر هذه المصبوبات بـ 16 لوناً بحسب دليل الألوان التقليدي (A1←D4) إضافة لأربع ألوانٍ للأسنان بعد التبييض (Bleach (BL). تستخدم لصنع الترميمات الخزفية ذات التحضير الأصغري كالحشوات الضمنية inlays والحشوات المغطاة onlays والوجوه الخزفية veneers مع الأسنان غير المتلونة. تمتاز بتكيفها وانسجامها الاستثنائي مع بنية السن الطبيعية بسبب شفوفيتها المماثلة لشفافية ميناء الأسنان الطبيعية، ويستطب استخدامها بشكلٍ خاصٍ مع تقنية التلوين.

✓ المصبوبات ذات الشفافية المنخفضة LT (Low Translucency) :

تتوفر هذه المصبوبات أيضاً بـ 16 لوناً بحسب دليل الألوان التقليدي (A1←D4) إضافة لأربع ألوانٍ للأسنان بعد التبييض (Bleach (BL). يستطب استخدامها بشكلٍ رئيسيٍّ في صناعة التعويضات الكبيرة (كالتيجان الخلفية مثلاً).

✓ المصبوبات ذات الظلالية المتوسطة MO (Medium Opacity) :

تتوفر بخمس مجموعاتٍ لونيةٍ (MO0←MO4)، وتتناسب بشكلٍ رئيسيٍّ لتصنيع الهياكل المحقونة بشكلٍ قبعاتٍ فقط على دعائم ذات تصبغٍ خفيفٍ، أما بقية الشكل التشريحي فيتم بناؤه بطريقة الطبقات.

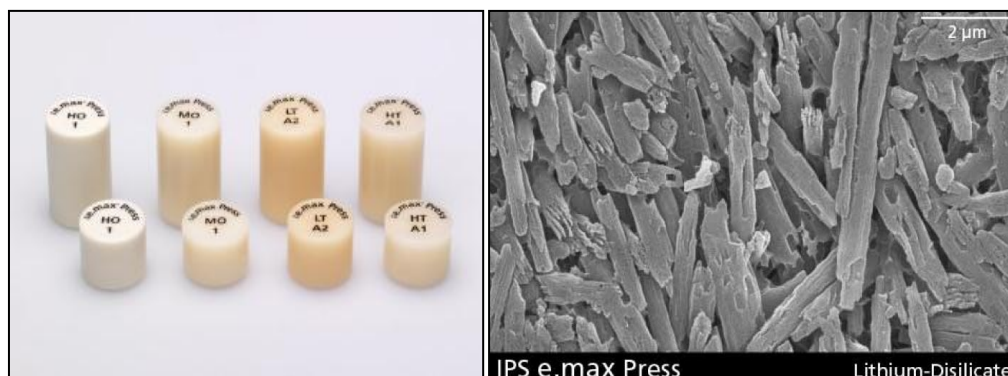
✓ المصبوبات ذات الظلالية العالية HO (High Opacity) :

تتوفر بثلاث درجاتٍ لونيةٍ (HO0-HO1-HO2) ونظراً لظلاليتها العالية فهي تتناسب بشكلٍ أساسيٍّ لتصنيع الهياكل المحقونة بشكلٍ قبعاتٍ فقط على دعائم شديدة التصبغ (كالأسنان المعالجة لبياً) ويتم بناء بقية الشكل التشريحي بطريقة الطبقات.

1-1-3: التعريف بنظام IPS-e.max :

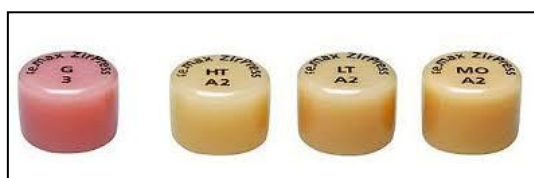
وهو نظام خزفٍ كاملٍ خالٍ من المعدن قدمته شركة Ivoclar Vivadent ليناسب كافة الاستطبانات، ويتضمن 5 مواد خزفية مختلفة هي:

1. خزف IPS e.max Press: وهو خزف زجاجي مقوى ببلورات ثنائي سيليكات الليثيوم، يكون بشكل مصبوبات قابلة للحقن الحراري، الشكل (1).



شكل 1: يوضح البنية المجهرية والشكل التجاري لخزف IPS e.max Press (IvoclarVivadent)

2. خزف IPS e.max ZirPress: وهو خزف زجاجي مقوى ببلورات فلور الأباتيت، يكون بشكل مصبوبات قابلة للحقن الحراري ويستخدم كخزف مغط فوق الهياكل الزيركونية، الشكل (2).



شكل 2: يوضح الشكل التجاري لخزف IPS e.max ZirPress (IvoclarVivadent)

3. خزف IPS-e.max CAD: وهو خزف زجاجي مقوى ببلورات ثنائي سيليكات الليثيوم يكون بشكل بلوكاتٍ لتستخدم بتقنية CAD/CAM، الشكل (3).



شكل 3: يوضح البنية المجهرية والشكل التجاري لخزف IPS-e.max CAD (IvoclarVivadent)

4. خزف IPS-e.max ZirCAD: بلوكات زيركونية تستخدم بتقنية CAD/CAM، الشكل (4).



شكل 4: يوضح البنية المجهرية والشكل التجاري لخزف IPS-e.max ZirCAD (IvoclarVivadent)

5. خزف IPS-e.max Ceram: وهو خزف زجاجي ذو درجة انصهار منخفضة، مقوى ببلورات فلور الأباتيت، ويستخدم كخزف بناء مغط ويمتاز بخصائص بصرية وتجميلية ممتازة نتيجة لوجود بلورات فلور الأباتيت الصغيرة (1-2 ميكرون طولاً) وبلورات فلور الأباتيت المتناهية في الصغر (100-300 نانومتر طولاً).

يتركب بشكل أساسي من السيليكا SiO_2 بنسبة تتجاوز 60%، مع مجموعة من الأكاسيد المتنوعة (أكسيد البوتاسيوم K_2O ، وأكسيد الزركونيوم Zr_2O_3 ، وأكسيد الزنك Zn_2O ، وأكسيد الكالسيوم Ca_2O ، وأكسيد الصوديوم Na_2O ، وأكسيد الألمنيوم Al_2O_3 ، وخامس أكسيد الفوسفور P_2O_5) إضافة إلى الفلور F وبعض الأصبغة.



شكل 5: يوضح البنية المجهرية والشكل التجاري لخزف IPS-e.max Ceram (IvoclarVivadent)

1-1-4: التعريف بالزيركونيا Zirconia:

• الزيركونيوم Zr :

هو عنصر معدني انتقالي من فصيلة التيتانيوم، رقمه الذري 40 ، كثافته 6.49 غ/سم³، ودرجة انصهاره حوالي 1857 °م ، يمتاز بمظهره اللامع وبنيتة البلورية السداسية (Taira et al., 1990).

• الزيركونيا (أكسيد الزيركونيوم) ZrO₂ :

وهو فلز طبيعي غير عضوي، يوجد على شكل بلورات تتكون من سيليكات الزيركونيا ZrO₂SiO₂ التي يتم إرجاعها للحصول على أكسيد الزيركونيوم النقي ذو اللون الأبيض (Helvey, 2008).

لا توجد هذه المواد بشكل نقي في الطبيعة وإنما تكون مشوبة بعناصر معدنية تشبه لونها، وبالتالي لا يمكن استخدامها في طب الأسنان دون إجراء سلسلة من العمليات الكيميائية المعقدة، واكتشفت الزيركونيا لأول مرة في عام 1789 م عن طريق الكيميائي الألماني Martin Klaproth، وتم فصل الزيركونيوم الحر من قبل الكيميائي السويدي Jons Berzelius في عام 1824 م (Kelly and Denry, 2008). وفي أواخر ستينيات القرن الماضي أجريت العديد من الأبحاث لتطوير الزيركونيا وتحسين خواصها بهدف استخدامها للأغراض الحيوية، ودخلت الزيركونيا الاستخدامات الطبية لأول مرة في عام 1969 م في مجال الجراحة العظمية حيث استخدمت بشكل رأس كروي لاستبدال المفصل الفخذي (Manicone et al., 2007).

ونظراً للخواص الميكانيكية والتجميلية الجيدة التي تمتاز بها الزيركونيا بالمقارنة مع المعدن، فقد بدأ استخدامها في طب الأسنان في بدايات عام 1990 م، حيث استخدمت بدايةً في صناعة القلوب والأوتاد الجذرية، ثم الزرعات السنية ودعاماتها والحاصرات التقويمية، ثم استخدمت كبديل عن المعدن لصناعة الهيكل الداخلي للتعويضات الثابتة (Piconi and Maccauro, 1999).

1-4-1- الخصائص البنيوية للزيركونيا (Pilathadka et al., 2007):

تصنف الزيركونيا كخزفٍ أوكسيديٍّ متعدد البلورات بدون طورٍ زجاجيٍّ، ويمكن أن تنتظم بلورات الزيركونيا ضمن الشبكة البلورية في ثلاثة نماذجٍ مختلفةٍ تبعاً لدرجة الحرارة :

1. النموذج أحادي الميلان (Monoclinic (M):

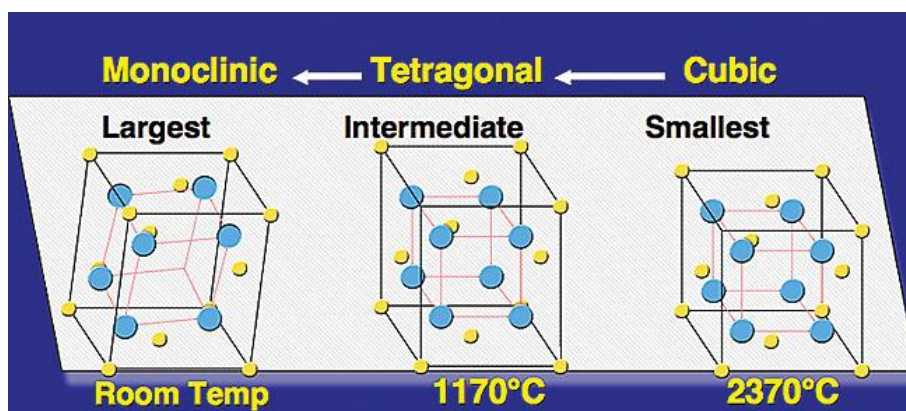
- يوجد في درجات الحرارة العادية وحتى الدرجة 1170 °م حيث يتحول للنموذج رباعي الزوايا.
- وهو الشكل الأكبر حجماً ولكنه الأضعف بالخواص الميكانيكية.

2. النموذج رباعي الأضلاع (Tetragonal (T):

- يوجد في درجات حرارةٍ من 1170 °م حتى 2370 °م حيث يتحول للنموذج المكعب.
- وهو ذو حجمٍ متوسطٍ ومواصفاتٍ ميكانيكيةٍ ممتازةٍ.

3. النموذج المكعب (Cubic (C):

- يوجد في درجات حرارةٍ أعلى من 2370 °م وحتى درجة الانصهار 2680 °م.
- وهو الشكل الأصغر حجماً ويمتلك مواصفاتٍ ميكانيكيةٍ متوسطةٍ.



شكل 6: يوضح البنية البلورية للزيركونيا باختلاف درجات الحرارة (Raghavan, 2012)

يحتاج تشكيل الزيركونيا إلى معالجة حرارية بدرجة حرارة تبلغ 1500 °م ، الأمر الذي يسبب تحولاً في البنية البلورية من النموذج رباعي الزوايا (T) إلى النموذج أحادي الميلان (M) عند تبريدها للوصول إلى درجة حرارة الوسط المحيط، وتترافق هذه التحولات البلورية بتغيرات في الحجم، حيث أن انخفاض درجة الحرارة يسبب زيادةً في حجم البلورات بمقدار (2.31%) عند الانتقال من النموذج (C) إلى النموذج (T)، وبمقدار (4.5%) عند الانتقال من النموذج (T) إلى النموذج (M)، وتؤدي هذه الزيادة الحاصلة في الحجم إلى تصدع الزيركونيا وانخفاض خواصها الميكانيكية لدى وصولها إلى درجة حرارة الغرفة (Manicone et al., 2007).

وللتغلب على هذه المشكلة يتم تثبيت البنية المجهرية للزيركونيا في درجة الحرارة العادية من خلال إضافة أكاسيد معينة مثل أكسيد الكالسيوم CaO، أكسيد المغنيزيوم MgO، أكسيد السيريوم CeO₂ ، أكسيد الإيتريوم Y₂O₃، مما يمنع تلك التحولات البنيوية ويسمح للزيركونيا بالوصول إلى درجة حرارة الوسط المحيط بشكل كتلة سليمة ذات ذرات مرصوفة في بنية بلورية مكعبة (C) أو رباعية الزوايا (T)، حيث يمكن الحصول على الزيركونيا المستقر كلياً في النموذج المكعب (C) بإضافة حوالي 16% mol من أكسيد الكالسيوم مع 8% mol من أكسيد الإيتريوم، بينما يمكن الحصول على الزيركونيا المستقرة جزئياً partially stabilized zirconia (PSZ) في النموذج رباعي الزوايا (T) بإضافة 3% mol من أكسيد الإيتريوم لبنية الزيركونيا، ويطلق على الزيركونيا الناتجة اسم الزيركونيا رباعية الزوايا المستقرة بالإيتريوم Ytria-stabilized Tetragonal Zirconia Polycrystal (3Y-TZP) التي تمتاز بخواص ميكانيكية ممتازة وهو النوع الأكثر استخداماً في التطبيقات السنية (Piconi and Maccauro, 1999).

1-1-4-2: أنواع الزيركونيا المستخدمة في طب الأسنان (Khamverdi and Moshiri, 2012):

توجد العديد من المواد الخزفية الزيركونية ولكن هنالك ثلاثة أنواع فقط تستخدم في طب الأسنان وهي:

1. الألومينا المقواة بالزيركونيا (ZTA) *Zirconia toughened alumina*

ويقصد بها نظام (In-Ceram Zirconia) الذي يحتوي في تركيبه 67% من أكسيد الألمنيوم مع 33% من أكسيد الزيركونيوم المثبت جزئياً بالسيريوم 12% mol. يتم تصنيعها إما بتقنية المعلق slip casting أو بطريقة آلية (soft machining). تكون التعويضات المصنعة من (ZTA) أكثر مسامية وأضعف بالخواص الميكانيكية (تبلغ مقاومة الانحناء 400-800 MPa) مقارنةً مع الزيركونيا 3Y-TZP. ولا يستطع استخدامها للتعويض عن الأسنان الأمامية بسبب ظلاليتها الشديدة.

2. الزيركونيا المثبتة جزئياً بالمغنيزيوم (Mg-PSZ) *Magnesium partially stabilized zirconia*

تتكون من بلورات زيركونيا رباعية الزوايا (T) موزعة ضمن شبكة من البلورات المكعبة (C)، ويتم تثبيت الجزئي للبنية البلورية بإضافة (8% mol) من أكسيد المغنيزيوم. لم يستخدم هذا النوع بشكل واسع وذلك بسبب المسامية المرتفعة الناتجة عن الحجم الكبير للجزيئات (30-60 µm) مما يجعل المادة أقل ثباتاً وأضعف بالخواص الميكانيكية وأكثر عرضة للاهتراء (Denry and Kelly, 2008).

3. الزيركونيا المستقرة جزئياً بالإيتريوم (3Y-TZP) *Yttria-stabilized tetragonal polycrystals*

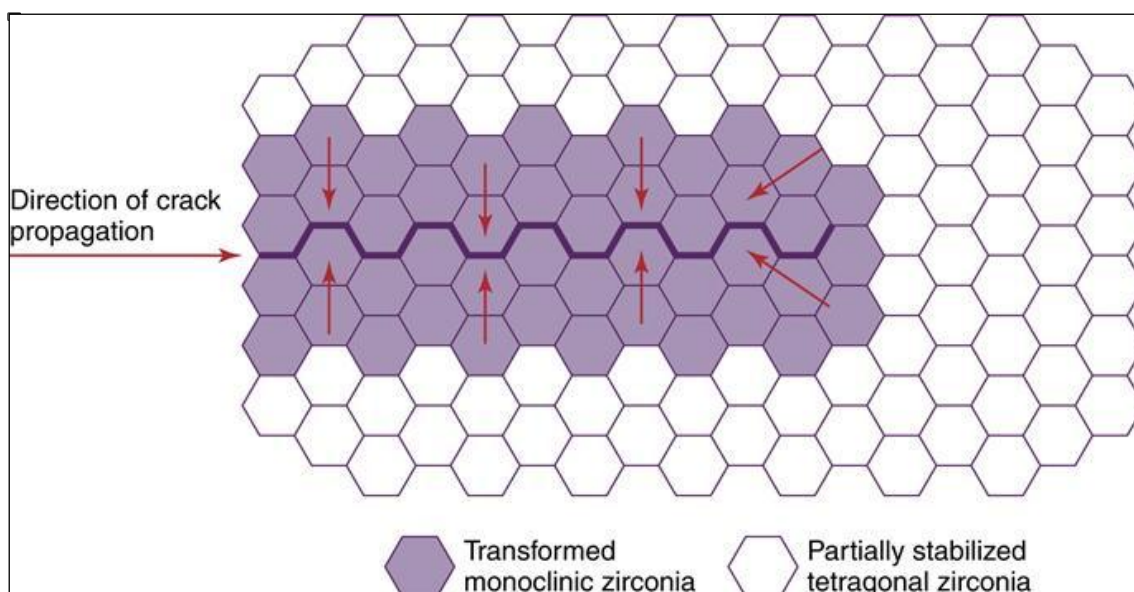
يتكون تركيبها المجهرى من بلورات رباعية الزوايا (T)، يتم تثبيتها بـ 3% mol من أكسيد الإيتريوم. تكون الجزيئات صغيرة ومتساوية في الحجم تقريباً (2-5 µm) ومرصوفة بشكل نموذجي، مما يجعل المادة أكثر كثافة وقوة حيث تفوق الخواص الميكانيكية لـ 3Y-TZP كل المواد الخزفية السنية الكاملة الموجودة (تبلغ مقاومة الانحناء 800 - 1000 MPa).

1-1-4-3: خواص الزيركونيا المستقرة جزئياً بالإيتريوم (3Y-TZP)

ازداد الاهتمام بالزيركونيا (3Y-TZP) كمادة تعويضية بسبب خواصها الممتازة:

• مقاومة الانكسار (Christel et al., 1989):

تمتلك الزيركونيا (3Y-TZP) مقاومة انكسار عالية بسبب امتيازها بخاصية فيزيائية تدعى متانة التحول Transformation Toughening أو التحول المحرض بالجهد Stress-Induced Transformation، ويقصد بها أن تعرض الزيركونيا للإجهادات قد يسبب صدوعاً مجهرية مما يحرض على تحول البلورات في المنطقة حول الصدع من النموذج رباعي الزوايا (T) إلى النموذج أحادي الميلان (M)، وبترافق هذا التحول بزيادة موضعية في حجم البلورات بنسبة 3-5% مع بقاء حجم القالب ثابتاً، مما يؤدي إلى تشكل قوى ضغط حول الصدع تؤدي إلى إغلاقه وتعمل على تقوية وزيادة صلابة المادة.



شكل 7: يوضح آلية متانة التحول في الزيركونيا، نقلاً عن (pocketdentistry, 2016)

- **التقبل الحيوي :**

تُعد الزيركونيا من المواد الخاملة كيميائياً ولا تسبب أي رد فعلٍ معاكسٍ من الجسم الحي (Dion et al., 1994) وقد بينت العديد من الدراسات حصول اندماجٍ عظميٍّ طويل الأمد حول الزرعات الزيركونية بشكلٍ مشابهٍ لزرعات التيتانيوم، كما لوحظ أن الغزو الجرثومي لسطوح الزيركونيا يكون أقل مما هو عليه لسطح التيتانيوم (Rimondini et al., 2002).

- **الخواص البصرية:**

تمتلك الزيركونيا لوناً أبيضاً وتبدي ظلاليةً كافيةً مما يمكن الاستفادة منها في التطبيقات السنية السريرية كاستخدامها في تنويع الأسنان شديدة التلون وإخفاء القلوب المعدنية تحتها، وذلك بسبب كثافتها العالية وتجانسها حتى بالثخانات المحدودة للهيكل الزيركوني 0.5 ملم، وتبدي الزيركونيا شفافيةً أفضل بالمقارنة مع الخلائط المعدنية (Heffernan et al., 2002a).

ويمكن تلوين الهيكل الداخلي للتعويضات الزيركونية باستخدام سوائل تلوينٍ خاصةٍ بهدف تحسين الناحية التجميلية والحصول على انسجامٍ لونيٍّ أفضل مقارنةً مع الزيركونيا البيضاء، ولكن ذلك يمكن أن يسبب تناقصاً في شفافية المادة ويجب أخذ ذلك بالحسبان أثناء مراحل تصنيع التعويضات الزيركونية (Tuncel et al., 2013).

1-4-4-1- أصناف قوالب الزيركونيا المعدة للنحت الآلي (Miyazaki et al., 2013):

يتم تصنيع التعويضات الزيركونية بطريقة النحت الآلي من خلال تقنية التصميم والتصنيع الحاسوبي CAD/CAM أو بتقنية التصميم والتصنيع اليدوي MAD/MAM وتكون قوالب (بلوكات) الزيركونيا المستخدمة إما ناقصة التليد (ملبدة جزئياً) presintered أو كاملة التليد densely sintered :

1- النحت الآلي للبلوكات كاملة التليد (Hard machining):

تصل هذه البلوكات إلى كثافتها العظمى بعد المعالجة الحرارية الكاملة في المصنع بدرجة حرارة تبلغ 1500 °م لمدة ساعتين. تمتاز هذه البلوكات بقساوة عالية جداً مما يجعل نحتها أصعب وأكثر استهلاكاً للوقت، كما أن القساوة العالية تجعل السنابل أكثر عرضة للاهتراء ويستوجب استبدالها مما يزيد التكلفة المادية. تكون التعويضات المصنعة من هذه البلوكات أكثر دقةً وتحافظ على أبعادها دون تقلصٍ لعدم الحاجة لأي معالجة حرارية لاحقة في المخبر.

يوجد نظامان وهما Denzir (Cadesthetics AB) ، DC-Zirconia (DCS Dental AG) (Miyazaki et al., 2009).

2- النحت الآلي للبلوكات الملبدة جزئياً (Soft machining):

تخضع هذه البلوكات لمعالجة حرارية جزئية في المصنع فلا تصل لمرحلة القساوة الكاملة مما يسهل عملية نحت الترميمات في المخبر، ولكن القطعة التعويضية تحتاج بعد نحتها إلى معالجة حرارية متممة للوصول إلى الكثافة والقساوة الكاملة مما يعرضها لتقلصٍ حجميٍّ يبلغ حوالي 20%، وتتم معاوضة هذا التقلص من خلال تصميم التعويض ونحته بحجم أكبر يتناسب مع نسبة التقلص اللاحقة.

من الأنظمة المتوفرة التي تستخدم هذه القوالب :

IPS e.max® ZirCAD (Ivoclar Vivadent)

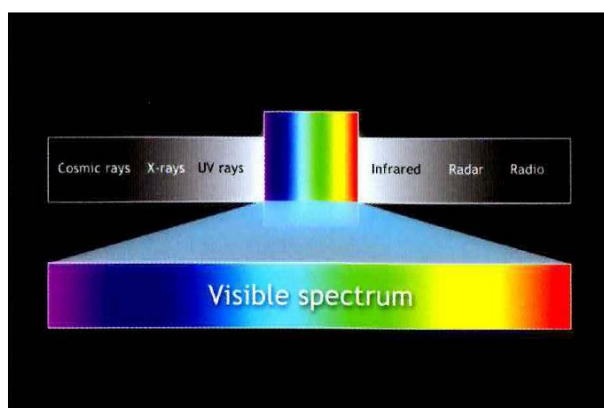
Lava (3M ESPE) ، DD Bio ZW (Implant Direct)

1-2: الضوء واللون:

إن فهم طبيعة الضوء وكيف تتلقاه العين البشرية ليتم إدراك الألوان في الدماغ هو أمرٌ ضروريٌّ لاختيار لون جسمٍ ما بشكلٍ دقيقٍ وخاصةً عندما يتعلق ذلك بألوان الترميمات الخزفية (Sikri, 2010).

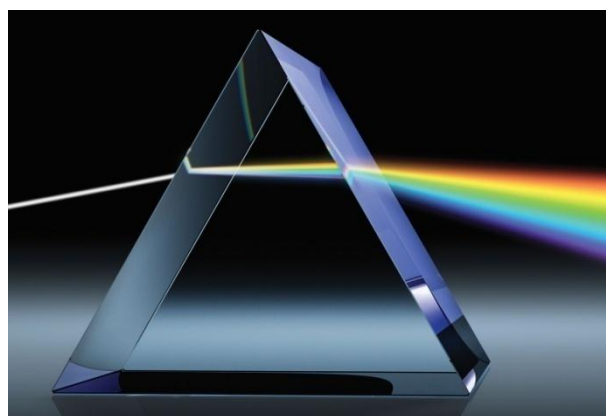
يعتبر الضوء المصدر الأساسي لكل الألوان، وهو عبارة عن طاقةٍ كهرومغناطيسيةٍ تقاس أطوال موجاتها بالنانومتر ($1\text{nm} = 10^{-6}\text{ mm}$) وتمثل حيزاً ضيقاً وهو الجزء المرئي من الطيف الإشعاعي الكهرطيسي

(Chu et al., 2004) Electromagnetic spectrum.



شكل 8: يوضح موقع الطيف الضوئي المرئي بالنسبة للطيف الإشعاعي الكهرطيسي (Chu et al., 2004)

وقد كان إسحق نيوتن في عام 1665 م أول من أوضح أن الضوء الأبيض (ضوء الشمس) يمكن أن ينقسم إلى عدة ألوانٍ عند مروره عبر منشورٍ زجاجيٍّ، وأطلق على سلسلة الألوان الناتجة اسم الطيف الضوئي المرئي الذي تقع أطواله الموجية في المجال (380 – 760) نانومتر (Chu et al., 2004).



شكل 9: يوضح ألوان الطيف الناتجة عن مرور الضوء عبر منشور زجاجي (Chu et al., 2004)

يتكون الطيف الضوئي المرئي من 7 ألوان متسلسلة هي:

(الأحمر، البرتقالي، الأصفر، الأخضر، الأزرق، النيلي، البنفسجي)، ويتم التعرف على كل لون بدقة من

خلال طول موجته كما يلي:

- اللون الأحمر: طول موجته (800-650) نانومتر.
- اللون البرتقالي: طول موجته (649-590) نانومتر.
- اللون الأصفر: طول موجته (589-550) نانومتر.
- اللون الأخضر: طول موجته (539-490) نانومتر.
- اللون الأزرق: طول موجته (489-460) نانومتر.
- اللون النيلي: طول موجته (459-440) نانومتر.
- اللون البنفسجي: طول موجته (439-390) نانومتر.

فاللون المميز لأي جسم ينجم عن امتصاصه لكل الأمواج الضوئية الواردة إليه بينما يعكس الأمواج

الضوئية الممثلة للونه فقط (Gürel, 2003). ويتم استقبال هذه الأطوال الموجية في العين البشرية من

قبل المخاريط cones، حيث تحتوي شبكة العين على 3 أنواع من المخاريط (مخاريط الأحمر، مخاريط

الأخضر، مخاريط الأزرق) وبالتالي فإن للعين البشرية يمكنها أن تستقبل بشكل أساسي الأطوال الموجية

الحمراء والخضراء والزرقاء فقط (Chu et al., 2004).

1-2-1: اللون في طب الأسنان:

للحصول على الانسجام اللوني المطلوب وتحقيق أفضل النتائج التجميلية ينبغي على طبيب ومخبري

الأسنان معرفة مجموعة من المفاهيم اللونية الأساسية للتغلب على المشاكل في صعوبة اختيار اللون:

- الألوان الأولية **primary colours** (Chu et al., 2004) :

وهي ثلاثة ألوان (الأحمر والأصفر والأزرق)، لا يمكن الحصول عليها من مزج ألوان أخرى، بينما يمكن

من خلال مزجها مع بعضها تشكيل بقية الألوان.



شكل 10: يوضح الألوان الأولية (Chu et al., 2004)

- الألوان الثانوية (المتمة) **secondary colours** (Chu et al., 2004) :

وهي ثلاثة ألوان ينتج كل منها عن مزج لونين من الألوان الأساسية :

- البرتقالي ينتج عن مزج اللونين الأحمر والأصفر.
- الأخضر ينتج عن مزج اللونين الأصفر والأزرق.
- البنفسجي ينتج عن مزج اللونين الأزرق والأحمر.



شكل 11: يوضح الألوان الثانوية (المتمة) (Chu et al., 2004)

• الألوان المتتامة (Chu et al., 2004) **complementary colours** :

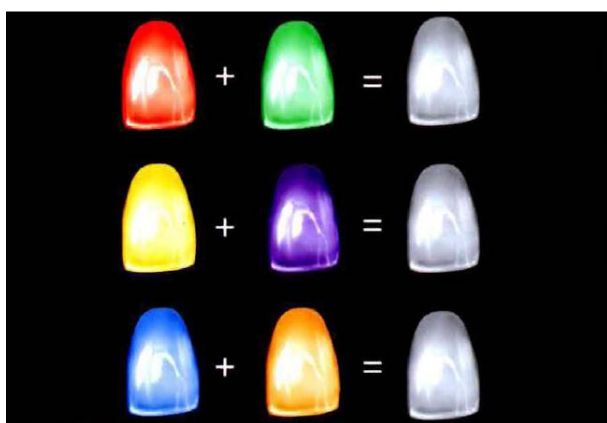
وهي مجموعة من الأزواج اللونية التي تعدل بعضها عندما تمزج بكمياتٍ متساويةٍ فتعطي لوناً رمادياً باهتاً يعكس أو ينقل كل الأطوال الموجية بالتساوي.

أزواج الألوان المتتامة هي (الأحمر والأخضر)، (الأصفر والبنفسجي) ، (الأزرق والبرتقالي).



شكل 12: يوضح الألوان المتتامة (Chu et al., 2004)

واعتماداً على مبدأ الألوان المتتامة يمكن تعديل قيمة الإشراق اللوني value للترميم بإضافة اللون المتمم ليصبح اللون أكثر ميلاناً للرمادي وبالتالي أقل إشراقاً. مثلاً: اللون A3 يحوي لوناً برتقالياً، لذلك فإن إضافة صبغة زرقاء يقلل من درجة السطوع (Kina and Bruguera, 2008).



شكل 13: يوضح كيفية تعديل قيمة الإشراق اللوني باستخدام الألوان المتتامة (Chu et al., 2004)

❖ ويمكن وصف الآلية الأساسية لاستقبال اللون كما يلي:

يصل الضوء للعين مباشرةً من المنبع الضوئي، أو يمكن أثناء مروره أن يصطدم بجسم ما ويتفاعل معه، وبالتالي فإن إدراك لون معين يعتمد على ثلاثة عوامل أساسية هي (Chu et al., 2004):

1- طبيعة المصدر الضوئي:

تلعب مواصفات المصدر الضوئي دوراً حاسماً في تقييم اللون، فالمصدر الضوئي المثالي يجب أن يعطي ضوءاً منتشراً وغير مُركّز، وأن يكون ذو شدة معتدلة مما يسمح بانتقاء اللون بدقة وراحة دون أن يسبب إجهاداً للعين ولذلك تفضل المصادر الضوئية القريبة من ضوء النهار (Rosenstiel, 2006).

وتعد الخدامية **Metamerism** من أهم الظواهر المتعلقة بالمصدر الضوئي والتي تؤثر على دقة اختيار اللون، وهي ظاهرة تبدو فيها مادتان بلون واحد تحت ظروف إضاءة معينة وتبدوان بلونين مختلفين عند تغير الإضاءة، وتؤثر هذه الظاهرة سريراً بشكل سلبي عندما يتم اختيار لون الترميمات (باستخدام أدلة اللون التقليدية) تحت تأثير ضوء العيادة فقط، مما يجعلها قد تبدو بلون مختلف في ضوء النهار أو في ظروف إضاءة أخرى (Kina and Bruguera, 2008).

2- الشخص الفاحص:

تختلف استجابة العين للألوان من شخص لآخر تبعاً لعوامل عديدة أهمها:

- عمر الشخص: حيث تتناقص حدة الرؤية ويصعب تقييم الألوان بشكل دقيق مع التقدم بالعمر.
- الصحة العامة والأدوية المتناولة: قد تترافق العديد من الأدوية بتأثيرات جانبية على الشبكية أو القرنية مسببةً ضعف المطابقة اللونية.
- الإرهاق والحالة البدنية العامة: فالتعب الضوئي المتواصل يسبب إجهاداً لونياً colour fatigue يؤدي إلى انخفاض استجابة العين للألوان فيبدو اللون الأصلي أقل تركيزاً (O'Brien, 2008).

3- طبيعة المادة الفيزيائية للجسم:

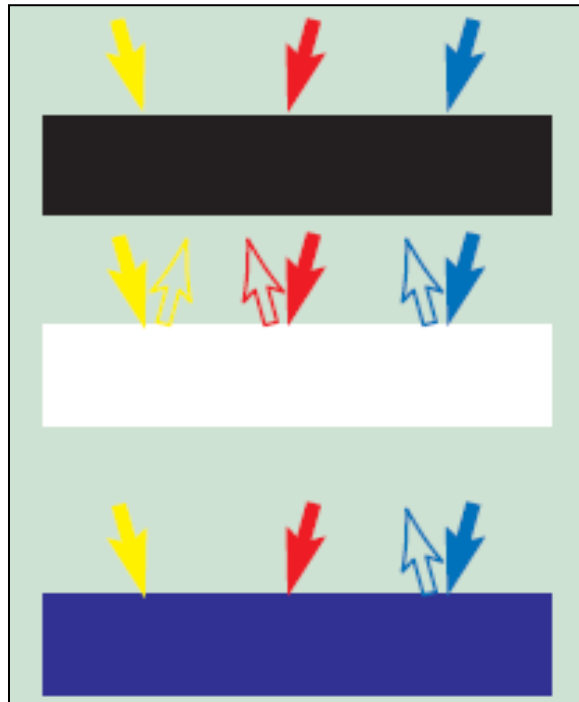
إن الخواص اللونية الطبيعية لأي مادة تنتج عن عملية تفاعل الضوء الوارد من المصدر الضوئي مع هذه المادة، فعندما يسقط الضوء على جسم ما يمكن أن يتفاعل معه بعدة أشكالٍ (Chu et al., 2004):

• العبور (الانتقال) :Transmission:

يحدث عندما يمر الضوء من خلال مادةٍ شفافةٍ transparent (مثل لوح زجاج نقي) أو من خلال مادةٍ شافةٍ translucent (مثل ميناء الأسنان).

• الانعكاس والامتصاص :Reflection and absortion:

يمتص الجسم عادة بعض الأمواج الضوئية الواردة إليه ويعكس بعضها الآخر، ويحدث الانعكاس عندما يصطدم الضوء بجسم ما ثم يرتد عنه، ويتم إدراك اللون بحسب الأطوال الموجية المنعكسة، فالجسم الأزرق مثلاً يعكس فقط الأمواج الزرقاء ويمتص باقي الأمواج الضوئية الواردة إليه، أما الجسم الأبيض فيعكس كل الأطوال الموجية الواردة إليه على عكس الجسم الأسود الذي يمتص كل الأمواج الضوئية الواردة إليه (Freedman, 2011).



شكل 14: يوضح علاقة لون الجسم بالانعكاس والامتصاص (Freedman, 2011)

وللحصول على ترميماتٍ تحقق أفضل النتائج التجميلية وخصوصاً في مجال التعويضات الخزفية لا بد من فهم الخصائص البصرية التالية التي يمكن للجسم أن يتمتع بها وتؤثر على لونه بشكلٍ كبيرٍ:

• اللمعان Gloss:

هي الخاصية البصرية التي تشير إلى كمية الأمواج الضوئية المتوازية المنعكسة عن الجسم، ولهذه الخاصية أهمية كبيرة في طب الأسنان، فكلما كان سطح السن أملساً يزداد اللمعان والإشراق اللوني وينخفض الإحساس باختلاف اللون، كما أن اختلاف اللمعان بين ترميماتٍ متطابقة في اللون يجعلها تبدو مختلفةً (Kina and Bruguera, 2008).

• البريق Opalescence:

هي الخاصية البصرية التي تعبر عن ظهور الجسم بلون معينٍ عندما يعبر الضوء من خلاله وبلون آخر عندما ينعكس الضوء عنه، وتتجلى هذه الخاصية في ميناء الأسنان الطبيعية بشكلٍ خاصٍ، فالأطوال الموجية الأقصر (اللون الأزرق مثلاً) تميل للانعكاس عن الميناء والعاج بينما تعبر الأمواج الضوئية الأطول (الأحمر والبرتقالي) أو يتم امتصاصها مما يعطي للميناء لوناً أبيضاً مائلاً للأزرق فتبدو الأسنان أكثر إشراقاً ويمنحها عمقاً لونياً وحيويةً أكبر (Kina and Bruguera, 2008).

• التوهج (التألق) Fluorescence:

هي الخاصية البصرية التي تعبر عن امتصاص الجسم للضوء الوارد إليه ثم إعادة إصداره ولكن بأطوالٍ موجيةٍ أكبر. ويتضح هذا المفهوم في عاج الأسنان الطبيعية ذات المحتوى المرتفع من المواد العضوية مما يسبب زيادة التوهج وانخفاض التركيز اللوني للسن (Kina and Bruguera, 2008).

1-2-2: وصف اللون/أبعاد اللون :

دعت الحاجة الماسة لوصف اللون بشكلٍ دقيقٍ إلى وجود أنظمةٍ لونيةٍ تسمح باختيار ومطابقة اللون بشكلٍ سهلٍ، ومن أشهر الأنظمة اللونية المستخدمة في طب الأسنان:

أولاً : نظام مونسيل اللوني **Munsell colour system** (Chu et al., 2004):

لاحظ الفنان ألبيرت مونسيل Albert Munsell في بداية القرن العشرين أن جميع الألوان ترتبط بعلاقةٍ وثيقةٍ فيما بينها، وقام بتأسيس نظامٍ منهجيٍّ ثلاثي الأبعاد لوصف اللون بصرياً بشكلٍ دقيقٍ يعتمد على ثلاثة أبعادٍ أساسيةٍ للون هي:

1- الصبغة اللونية Hue:

ويقصد بها الصبغة الأساسية للون التي تسمح لنا بتمييز لونٍ عن آخر (مثلاً أحمر أو أزرق أو أخضر)، وتُحدد من خلال الأطوال الموجية للضوء المنعكس. وقام مونسيل بوضع عشر درجاتٍ لونيةٍ هي:

أحمر / أحمر مُصَفَّر / أصفر / أصفر مُخَضَّر / أخضر / أخضر مُزَرَق / أزرق / أزرق بنفسجي / بنفسجي / بنفسجي مُحَمَّر.

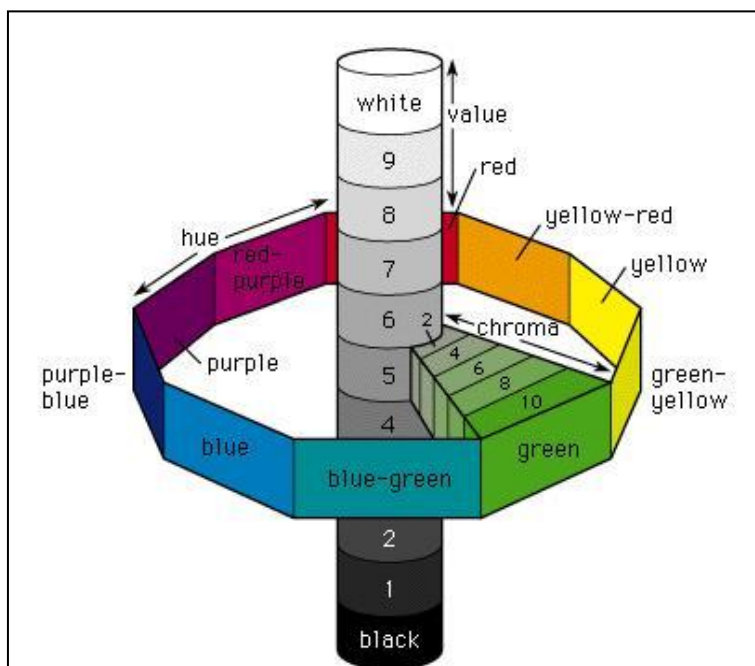
وقام بتقسيم كل درجةٍ لونيةٍ إلى عشرة أجزاءٍ مرقمةٍ من 1 - 10 تمثل الكثافة اللونية.

2- الكثافة اللونية Chroma :

ويقصد بها مقدار إشباع وتركيز اللون الأساسي، أي الصفة التي تسمح لنا بتمييز الألوان الضعيفة عن الألوان القوية.

3- الإشراق اللوني Value:

ويقصد به مقدار السطوع اللوني brightness، أي الصفة التي تسمح بالتمييز بين الألوان الفاتحة والألوان الغامقة، وهو العامل الأهم في عملية التطابق اللوني. فمن الممكن أن تختلف الدرجة والكثافة اللونية من سنٍّ لآخر ولكن الإشراق اللوني يمكن أن يجعل الأسنان تبدو كمجموعةٍ متشابهةٍ.



شكل 15: يوضح أبعاد اللون الثلاثة بنظام مونسيل، نقلا عن (Munsell colour system)

يفتقر نظام مونسيل اللوني إلى وجود معيارٍ لتحديد مستوى الشفافية translucency التي يقصد بها مقدار مرور الضوء عبر الجسم، والتي يمكن اعتبارها البعد الرابع للون وربما الأكثر أهميةً في طب الأسنان التجميلي، فالحدود القاطعة للأسنان الأمامية مثلاً تمتلك شفافيةً عالية تجعل من الضروري محاكاتها في التعويضات الخزفية للحصول على أفضل النتائج التجميلية (Rosenstiel, 2006).

ويمكن أن نميز ثلاث درجاتٍ مختلفةٍ من الشفافية (chu 2004):

- **الأجسام الظليلة opaque**: تمنع مرور الضوء عبرها، فهو إما أن ينعكس أو يتم امتصاصه.
- **الأجسام الشفافة transperant**: تسمح بمرور كامل الضوء عبرها.
- **الأجسام الشافة translucent**: تسمح بمرور جزئي للضوء عبرها.

وعموماً تعتمد شفافية المواد الخزفية بشكلٍ أساسيٍّ على نسبة وحجم وشكل البلورات الداخلة في تركيبها الكيميائي (Heffernan et al., 2002b).

ثانياً: نظام اللون الكمي CIE L*a*b* color system (Rosenstiel, 2006):

تم اعتماد هذا النظام لأول مرة في عام 1976 م من قبل المفوضية الدولية للأبحاث المتعلقة بشؤون الإنارة "Commision Internationale de l'Eclairage (CIE)" ، ويستخدم حالياً بشكل واسع في الأبحاث المتعلقة بالألوان في مختلف المجالات العلمية، ويمتاز بقدرته على حساب التغير اللوني ΔE بشكل دقيق وتفسيره تبعاً للمسافة عبر فضاء اللون.

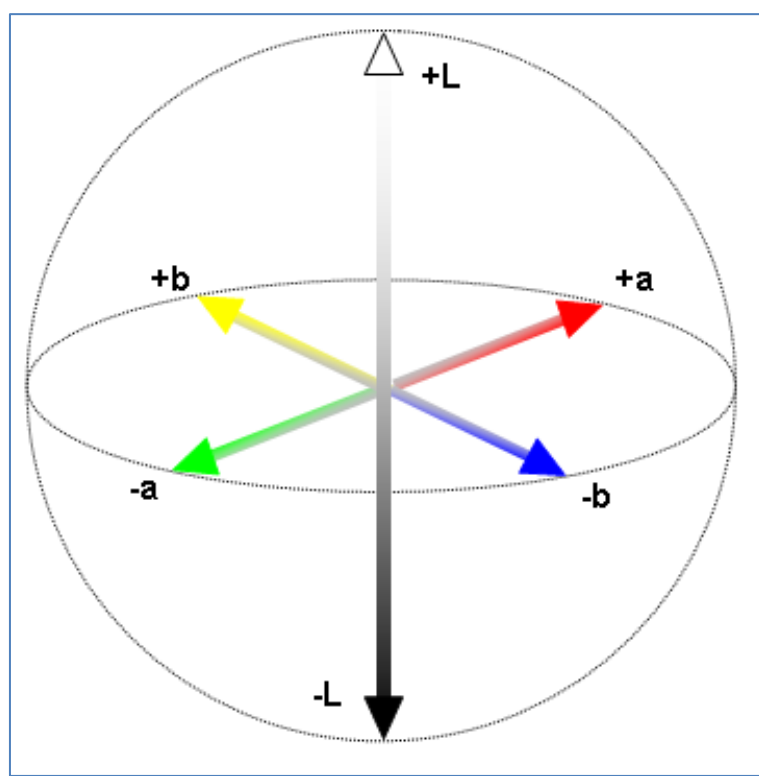
يعتمد نظام اللون الكمي على 3 إحداثيات لتعريف اللون هي (Gonuldas et al., 2014):

(L^*): يماثل إشراق اللون value (درجة السطوع) الموجود في نظام Munsell، وتعبر عن خواص الأبيض والأسود للون، وتتراوح بين ($L=0$) أسود ، و ($L=100$) أبيض.

الأحداثيات a^* و b^* تماثل الصبغة اللونية Hue والكثافة Chroma في نظام Munsell كما يلي :

(a^*): تمثل درجة اللون الأحمر عندما تكون ($a > 0$)، أو اللون الأخضر عندما تكون ($a < 0$).

(b^*): تمثل درجة اللون الأصفر عندما تكون ($b > 0$)، أو اللون الأزرق عندما تكون ($b < 0$).



شكل 16: يوضح المعاملات اللونية بنظام اللون الكمي CIE Lab (Gonuldas et al., 2014)

ويعبر المصطلح ΔE عن التغير اللوني بين نقطتين في فضاء الألوان ثلاثي الأبعاد.

ويحسب التغير اللوني من العلاقة التالية:

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

حيث ΔL^* , Δa^* , Δb^* تُمثل التغيرات في إحداثيات اللون:

$$\Delta a^* = a1^* - a2^*$$

$$\Delta b^* = b1^* - b2^*$$

$$\Delta L^* = L1^* - L2^*$$

وعلى الرغم من وجود جدل واختلاف كبير بخصوص مقدار التغير اللوني المقبول سريرياً (Ghinea et

al., 2010) فقد أجمعت أغلب الدراسات على أن التغير اللوني المقبول به في الترميمات السنية يجب

ألا يتجاوز القيمة (3.7) (Douglas and Brewer, 1998, Ragain and Johnston, 2000).

وفي دراسة (Vichi et al., 2007) تم تصنيف التغير اللوني ومقدار القبول السريري حسب قيمة ΔE

كما يلي:

- $(1 \geq \Delta E)$: تغير مقبول سريرياً، وغير مميز بالنسبة للعين البشرية.
- $(3.3 \geq \Delta E > 1)$: تغير مقبول سريرياً، ولكن يمكن تمييزه من قبل متخصص ماهر.
- $(3.3 < \Delta E)$: تغير غير مقبول سريرياً، ويمكن تمييزه من قبل الأشخاص العاديين.

1-2-3: اختيار اللون في طب الأسنان :

يتم اختيار اللون إما بالطريقة التقليدية باستخدام دليل الألوان السني shade guide أو باستخدام الأجهزة الالكترونية المعتمدة على التكنولوجيا (Rosenstiel, 2006):

أولاً: الطريقة البصرية التقليدية **conventional shade matching**:

وتتم باستخدام أدلة الألوان، وهي الطريقة الأكثر شيوعاً والأسهل استخداماً ولكنها تتأثر بعوامل عديدة أهمها العامل الشخصي كخبرة الفاحص وعمره وتقديره الشخصي للون، إضافةً إلى ظروف الإضاءة المحيطة والإجهاد البصري. ومن أكثر أدلة ألوان الأسنان استخداماً:

1- دليل الألوان التقليدي **VITAPAN® classical** من شركة **VITA** (Chu et al., 2004):

وهو الأكثر استخداماً ويحتوي 16 خياراً لونياً، تكون مرمزةً بحروف وأرقام متسلسلة كما يلي:

• A1/A2/A3/A3.5/A4 : للألوان البرتقالية.

• B1/B2/B3/B4 : للألوان الصفراء.

• C1/C2/C3/C4 : للألوان الصفراء/الرمادية.

• D2/D3/D4 : للألوان البرتقالية/الرمادية (البنية).

تشير الحروف A-B-C-D إلى الصبغة اللونية hue، بينما تشير الأرقام إلى الكثافة اللونية chroma

ودرجة السطوع value، بحيث تتدرج من الرقم 1 (الذي يدل على اللون الأقل إشباعاً والأكثر سطوعاً)

إلى الرقم 4 (الذي يدل على اللون الأكثر إشباعاً والأقل سطوعاً).



شكل 17: دليل الألوان التقليدي **VITAPAN classical** (Chu et al., 2004)

2- دليل CHROMASCOP® من شركة Ivoclar Vivadent (Chu et al., 2004) :

يحتوي 20 خياراً لونياً موزعة في 5 مجموعاتٍ بالتساوي، ويستخدم نظام ترميزٍ عدديٍّ يتكون من 3 أرقامٍ كما يلي:

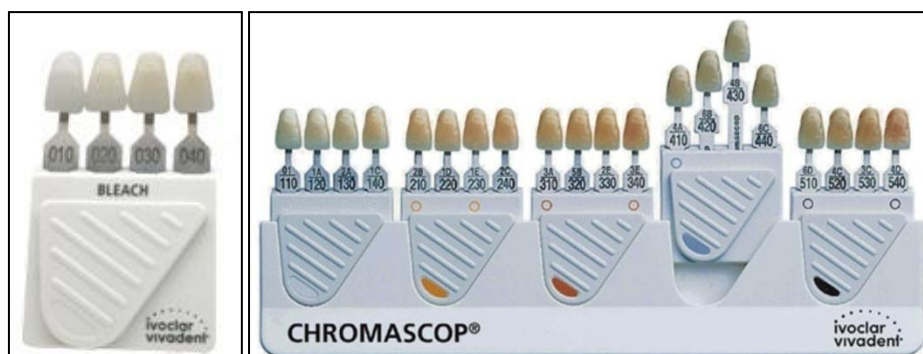
- المجموعة الأولى 100 : وتحتوي 4 خياراتٍ (110 / 120 / 130 / 140) للألوان البيضاء.
- المجموعة الثانية 200 : وتحتوي 4 خياراتٍ (210 / 220 / 230 / 240) للألوان الصفراء.
- المجموعة الثالثة 300 : وتحتوي 4 خياراتٍ (310 / 320 / 330 / 340) للألوان البرتقالية.
- المجموعة الرابعة 400 : وتحتوي 4 خياراتٍ (410 / 420 / 430 / 440) للألوان الرمادية.
- المجموعة الخامسة 500 : وتحتوي 4 خياراتٍ (510 / 520 / 530 / 540) للألوان البنية.

وتعبر الأرقام (10 - 20 - 30 - 40) عن درجات الكثافة اللونية والسطوع بحيث :

- 10 : الأقل إشباعاً والأكثر سطوعاً.
- 40 : الأكثر إشباعاً والأقل سطوعاً.

ويحتوي هذا الدليل على مجموعةٍ إضافيةٍ تحوي 4 خياراتٍ لونيةٍ (010 / 020 / 030 / 040) للأسنان

بعد التبييض (Kina and Bruguera, 2008).



شكل 18: دليل ألوان CHROMASCOP مع المجموعة الإضافية (Chu et al., 2004)

3- الدليل ثلاثي الأبعاد VITA Toothguide 3D-MASTER® (Chu et al., 2004) :

تم تقديمه عام 1998 م ويحتوي 29 خياراً لونياً تم تقسيمها أولاً بحسب درجات السطوع value

إلى 6 مجموعات مرمزة بأرقام متسلسلة (0-1-2-3-4-5) ومرتبّة من اليسار لليمين كما يلي:

- المجموعة 0 : تحوي 3 خيارات لونية للأسنان بعد التبييض وهي المجموعة الأكثر سطوعاً.
 - المجموعة 1 : تحوي خيارين لونيين فقط.
 - المجموعات (2 - 3 - 4) : تحوي كل منها 7 خيارات لونية.
 - المجموعة 5 : تحوي 3 خيارات لونية وهي الأقل سطوعاً.
- في المجموعات (2 - 3 - 4) تكون الألوان موزعة في 3 أعمدة مرمزة بأحرف (L-M-R) تعبر عن الصبغة اللونية Hue كما يلي:

• L (left) : لونٌ مائلٌ للأصفر Yellowish.

• R (right) : لونٌ مائلٌ للأحمر Reddish.

• M (middle) : لونٌ متوسطٌ بين الأحمر والأصفر Middle hue.

أما المجموعات المتبقية (0 - 1 - 5) فتحتوي فقط الدرجة اللونية المتوسطة M.

وتم تقسيم درجات الكثافة اللونية chroma في كل مجموعة سطوعٍ إلى مستوياتٍ مرمزة بأرقام

(1 - 2 - 3) مرتبة من الأسفل للأعلى (1 = الأقل إشباعاً / 3 = الأكثر إشباعاً).



شكل 19: دليل الألوان ثلاثي الأبعاد 3D Master (Chu et al., 2004)

❖ مبادئ عامة لاختيار اللون بالطريقة البصرية التقليدية (Rosenstiel, 2006) :

1. أن تكون أسنان المريض بنفس مستوى نظر الطبيب وعلى بعد حوالي 25 سم.
2. اختيار اللون تحت مصادر ضوئية مختلفة لتجنب ظاهرة الخدامية.
3. تنظيف الأسنان جيداً قبل أخذ لونها وذلك بإزالة التصبغات والقلح.
4. اختيار اللون في بداية جلسة المعالجة قبل إجهاد عين الطبيب وقبل أن يتعرض السن للتجفاف فالأسنان الجافة تبدو أكثر إشراقاً.
5. تجنب كل ما قد يؤثر على عملية انتقاء اللون كأحمر الشفاه والملابس ذات الألوان الفاقعة.
6. تجنب التحديق بالسن لفترة طويلة (5 ثوانٍ على الأكثر) مع ضرورة إراحة العين بين المشاهدات بالنظر إلى سطح رماديّ قبل أخذ اللون مباشرة بهدف موازنة مستقبلات اللون الموجودة في الشبكية.
7. عند عدم التمكن من تحديد اللون بدقة يتم اختيار اللون الأقل كثافةً والأفتح، حيث يكون من الممكن تعديل اللون باستخدام ملوناتٍ خارجية لزيادة الكثافة اللونية وتقليل الإشراق (Chu et al., 2004).

❖ الخصائص الواجب توافرها في دليل الألوان المثالي (Tung et al., 2002) :

1. وجود تعدد كافٍ من الألوان بما يتناسب مع التنوع الموجود في الأسنان الطبيعية.
2. أن يتم ترتيب الألوان بشكل علمي يسهل اختيار اللون بدقة.
3. قابلية المقارنة مع المواد السنية المختلفة مثل الخزف والكومبوزيت وأسنان الأجهزة الصناعية.
4. الانسجام مع أدلة الألوان الأخرى.

ثانياً: الطريقة المعتمدة على التكنولوجيا Technology-based shade matching

لا تتأثر وسائل قياس اللون الالكترونية بظروف الإضاءة المحيطة أو بالعامل الشخصي ولذلك فهي تمتاز بدقة عالية وموثوقية أكبر في النتائج عند المقارنة مع الطريقة البصرية التقليدية (Freedman, 2011)، ولهذه الأجهزة أنواع عديدة أهمها:

1- أجهزة قياس الطيف الضوئي Spectrophotometers:

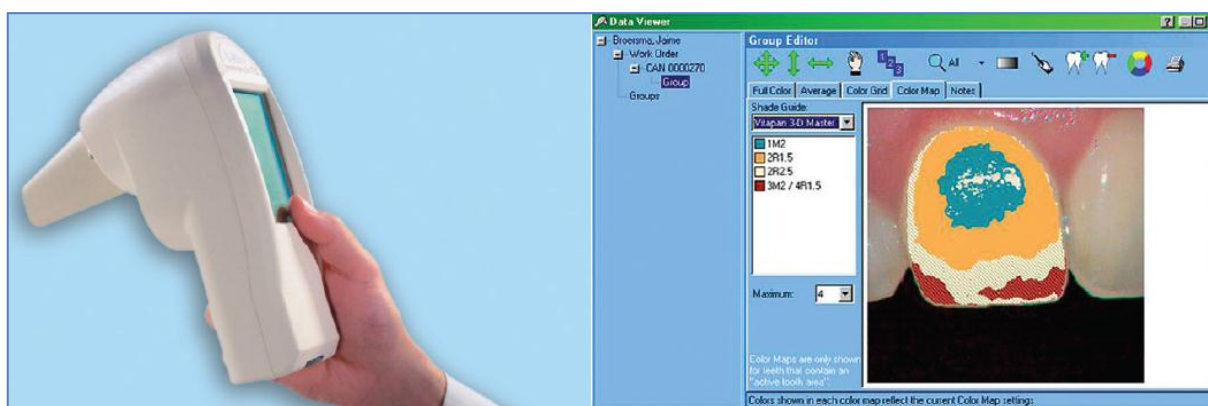
تمتاز هذه الأجهزة بدقتها العالية وبسهولة استخدامها سرياً، وتعتمد على إصدار ضوءٍ قياسيٍّ ثم تحليل الأمواج الضوئية المنعكسة عن سطح جسم ما في عدة نقاطٍ (تقريباً كل 10 نانوميتر) على طول الطيف الضوئي المنعكس، حيث يقوم بقياس كمية الطاقة الضوئية المرئية لكل صبغة لونية hue مع قياس الكثافة chroma والإشراق اللوني value في كامل الطيف المرئي، وتنتج عن هذه القياسات مجموعة من البيانات المعقدة والتي يتم تحويلها إلى قيمٍ لونيةٍ دقيقةٍ (Chu et al., 2004).

يعد جهاز Vita Easyshade* Compact من أكثر مقاييس الطيف الضوئي استخداماً، ويمتاز هذا الجهاز بما يلي (Freedman, 2011):

1. مزودٌ بقبضةٍ لاسلكيةٍ سهلة الاستخدام.
2. ذو رأسٍ صغيرٍ (قطره حوالي 5 ملم) يسهل توضع واستناده على سطح السن المراد أخذ لونه.
3. ذو شاشةٍ واضحةٍ لإظهار نتائج القياسات اللونية.
4. مزودٌ بمخرج USB بهدف وصله بالحاسوب لتوثيق النتائج.
5. يقيس 16 لوناً حسب دليل فيتا التقليدي VITAPAN classical ، و 29 لوناً حسب دليل فيتا ثلاثي الأبعاد 3D-MASTER، مع إمكانية عرض نتائج القياسات اللونية وفق نظام اللون الكمي CIE Lab.
6. إمكانية قياس لون السن كاملاً أو قياس لون مناطق محددة (ثلث عنقي، ثلث متوسط، ثلث قاطع).

2- أجهزة القياس اللوني Colorimeters (Chu et al., 2004) :

تعتمد على مبدأ انعكاس الضوء من الجسم ثم تحديد اللون مباشرة من خلال 3 فلاتر لونية (أحمر، أخضر، أزرق) بما يشبه تقريباً مبدأ عمل المستقبلات اللونية في العين، ويمكن عرض النتائج وفق نظام اللون الكمي CIE Lab ، ومن أشهر هذه الأجهزة (X-Rite, Grand Rapids, Michigan).



شكل 20: يوضح جهاز X-Rite وآلية عمله (Freedman, 2011)

3- الكاميرات الرقمية وأنظمة التصوير (Freedman, 2011) :

وهي إحدى الوسائل الالكترونية التي قد تكون فعالة وسهلة الاستخدام لتحديد اللون في طب الأسنان، ولكنها تحتاج من الممارس إلى معرفة أساسية بعلوم الحاسوب والتصوير للحصول على أفضل النتائج. تعتمد هذه التقنية على التقاط صورة رقمية للجسم المراد أخذ لونه ثم يتم معالجة هذه الصورة ببرامج حاسوبية خاصة (مثل برنامج معالجة الصور Adobe Photoshop) وتقوم بتحويلها إلى معطيات لونية دقيقة.

الدراسات السابقة :

درس تأثير عدد دورات الخبز في التغير اللوني لتعويضات الخزف المرتبط بالمعدن بشكل كبير، ومع التقدم الذي شهده علم المواد السنية في السنوات الأخيرة وانتشار استخدام التعويضات الخزفية الكاملة الخالية من المعدن ظهرت بعض الدراسات التي ناقشت نفس الموضوع باستخدام أنظمة مختلفة من الخزف الكامل وكانت النتائج متفاوتة فيما بينها:

• دراسة (Uludag et al., 2007)

درس تأثير تكرار الخبز (3-5-7) مرات في اللون النهائي لنوعين من أنظمة الخزف الكامل (IPS Empress) و (VITA In-ceram alumina) باستخدام جهاز القياس اللوني colorimeter من نوع (XL-20 Colorimeter; Gardner Instruments Laboratory Inc, Bethesda, Md)، وتألفت عينة البحث من 21 قرصاً خزفياً بلون A2 لكل من النظامين (بقطر 10 ملم وبثخانة هيكل أساسي 0.6 ملم)، قسمت لثلاث مجموعات (n=7) بحسب ثخانة الخزف المغطي (0.5 - 1 - 1.5) ملم، واستنتج أن تكرار خبز الخزف يؤثر على قيم المعاملات اللونية الثلاث a , b , L (تناقصت قيم L فظهرت العينات أغمق، بينما ازدادت قيم a, b فظهرت العينات بلون أكثر احمراراً ومائلاً للأصفر) وكانت التغيرات اللونية محدودة ولا يمكن تمييزها سريراً.

• دراسة (Celik et al., 2008)

درس تأثير تكرار الخبز (3-5-7-9) مرات في اللون النهائي لنظام الخزف (DC-zirkon) باستخدام مقياس الطيف الضوئي (VITA Easyshade; Vita Zahnfabrik; Germany)، وتألفت عينة البحث من 20 قرصاً خزفياً (بقطر 4 ملم وبثخانة هيكل أساسي 1 ملم)، قسمت لمجموعتين (n=10) بحسب لون الخزف المغطي (A1-A3) والذي طبق طبقاً بثخانة 1 ملم، واستنتج أن تكرار الخبز (3-5-7-9) مرات

يؤثر على اللون النهائي حيث ازدادت قيم المعامل اللوني L في كلتا المجموعتين فظهرت العينات بلونٍ أفتحٍ. وانخفضت قيم المعامل اللوني a فأصبحت العينات أكثر اخضراراً، أما قيم b فلم تتغير في عينات A1 وازدادت في عينات A3 التي أصبحت أكثر اصفراراً، وكانت جميع التغيرات اللونية الحاصلة ضمن الحدود المقبولة سريرياً.

• دراسة (Ozturk et al., 2008) :

درس تأثير عدد دورات الخبز (3-5-7-9) مرات في اللون النهائي لنوعين من أنظمة الخزف الكامل (DC-zirkon) و (IPS e.max Press) باستخدام مقياس الطيف الضوئي (VITA Easyshade; Vita Zahnfabrik; Germany)، وتألفت عينة البحث من 30 قرصاً خزفياً بلون A1 لكل من النظامين (بقطر 4 ملم وبثخانة هيكلٍ أساسيٍّ 1 ملم) ، قسمت لثلاث مجموعاتٍ (n=10) بحسب ثخانة الخزف المغطي (0.5 - 1 - 1.5) ملم، واستنتج أن تكرار الخبز (3-5-7-9) مرات يؤثر على اللون النهائي لنظامي الخزف المستخدم، حيث كان المعدل الوسطي لقيم التغيرات اللونية ضمن الحدود المقبولة سريرياً في مجموعة الزيركونيا ($\Delta E < 3$)، وتجاوز حدود القبول السريري في مجموعة الخزف الزجاجي IPS e.max Press ($\Delta E > 3.7$).

• دراسة (Sahin et al., 2010) :

درس تأثير تكرار الخبز (3-5-7-9) مرات في اللون النهائي للتعويضات المصنعة بنظام الخزف الألوميني [Turkom-Cera™ (Turkom-Ceramic (M) Sdn. Bhd.) باستخدام مقياس الطيف الضوئي (VITA Easyshade; Vita Zahnfabrik; Germany) وتألفت عينة البحث من 20 قرصاً خزفياً بقطر 10 ملم وبثخانة هيكلٍ أساسيٍّ 1 ملم ، قسمت لمجموعتين (n=10) بحسب لون الخزف المغطي (A1-A3) واستنتج أن تكرار الخبز (3-5-7-9) مرات يؤثر على اللون النهائي، حيث انخفضت قيم المعامل اللوني a (فأصبحت العينات أقل احمراراً) وانخفضت قيم المعامل اللوني b

(فأصبحت العينات أقل اصفراراً) بينما لم تتغير قيم L في عينات A1 ، وازدادت في عينات A3 (فظهرت بلونٍ أفتح) وكانت قيم التغير اللوني مقبولةً سريرياً.

• دراسة (Bachhav and Aras, 2011):

درس تأثير تكرار الخبز (3-5-7-9) مرات في اللون النهائي للتعويضات الزيركونية المصنعة بتقنية CAD/CAM بنظام (Lava ,3M ESPE, st Paul, MN, USA)، باستخدام مقياس الطيف الضوئي (VITA Easyshade; Vita Zahnfabrik; Germany) وتألفت عينة البحث من 30 قرصاً خزفياً بقطر 12 ملم وبثخانة هيكلٍ أساسيٍّ 1 ملم، قسمت لثلاث مجموعاتٍ (n=10) بحسب ثخانة الخزف المغطي (0.5 - 1 - 1.5) ملم، واستنتج حدوث تغيراتٍ لونيةٍ محدودةٍ بزيادة عدد دورات الخبز ولكن التغيرات اللونية كانت ضمن الحدود المقبولة سريرياً في جميع المراحل (أقل من 3.7).

• دراسة (Al-Dwairi et al., 2013):

درس تأثير تكرار الخبز (3-5-7) مرات في تغير اللون النهائي لخزف IPS e.max Press وتألفت عينة البحث من 60 قرصاً خزفياً بقطر 11 ملم وبثخانة هيكلٍ أساسيٍّ 1 ملم، قسمت إلى 6 مجموعات (n=10) بحسب لون خزف البناء المغطي (A2 , C2) وثخانته (0.5 - 1 - 1.5) ملم واستنتج أن زيادة عدد دورات الخبز يسبب تغيراتٍ لونيةٍ محدودةٍ للخزف المستخدم بثخاناته وألوانه المختلفة ولكن التغيرات اللونية كانت ضمن الحدود المقبولة سريرياً في جميع المراحل (أقل من 3.7).

الباب الثاني

مواد وطرائق البحث

Materials and Methods

2-1: وصف عينة البحث Sample:

تألفت عينة البحث من 20 قرصاً خزفياً بقطر 8 ملم وبثخانة 1.5 ملم، بحيث تكون ثخانة الهيكل الخزفي الداخلي (core) 0.5 ملم وثخانة خزف البناء المغطي 1 ملم.

قسمت العينة إلى مجموعتين ($n=10$) تبعاً لنوع الخزف المستخدم لصناعة الهيكل الخزفي الداخلي:

- ◀ مجموعة أقراص الخزف الزجاجي المقوى ببلورات ثنائي سيليكات الليثيوم IPS e.max press ذات الظلالية المتوسطة (MO 1) وتتم تغطيتها بخزف البناء IPS e.max Ceram.
- ◀ مجموعة الأقراص الزيركونية: يصنع الهيكل الخزفي بتقنية CAD/CAM باستخدام مكعبات الزيركونيا من نوع (DD Bio ZW) من شركة Dental Direct وتتم تغطيتها بخزف البناء IPS e.max Ceram.

2-2: مواد البحث Materials :

2-2-1: المواد المستخدمة في البحث :

- بلوك زيركونيا من نوع (DD Bio ZW) من شركة (Dental Direct, Germany)، الشكل (21).



شكل 21: بلوك الزيركونيا المستخدم

- شمع صب من شركة (Renfert , Germany)، الشكل(22).



شكل 22: شمع الصب المستخدم لتشميع أقراص المجموعة الأولى

- مسحوق كاسي ذو رابطة فوسفاتية maruvest مع السائل الخاص من شركة (megadental GmbH, Germany)، الشكل(23).



شكل 23: المسحوق الكاسي مع السائل

- مصبوباتٌ خزفيةٌ IPS e.max press(Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) بظلاليةٍ متوسطةٍ (MO1)، الشكل(24).



شكل 24: المصبوبات الخزفية المستخدمة

- الدافع أو المكبس الألوميني Alox Plunger مع المادة العازلة Alox Plunger Separator (تعزل بين الدافع والمصبوبة الخزفية أثناء الحقن الحراري) من شركة IvoclarVivadent، الشكل(25).



2



1

شكل 25: (1) الدافع الألوميني، (2) الدافع الألوميني في علبة المادة العازلة

- السائل الحمضي (Press Invex) من شركة Ivoclar Vivadent، الشكل (26).



شكل 26: السائل الحمضي invex

- خزف البناء (العاجي والمينائي) IPS e.max Ceram بلون A1 وخزف التزجيج Glaze من شركة

Ivoclar Vivadent ، الشكل (27).



شكل 27: خزف البناء المغطي (العاجي والمينائي) مع خزف التزجيج

2-2-2: الأجهزة والأدوات المستخدمة في البحث:

- جهاز CAD/CAM المكون من آلة النحت (Roland DWX-50, Japan) مع الكمبيوتر وبرنامج التصميم المرفق (ZirkonZahn, Italy)، الشكل (28).



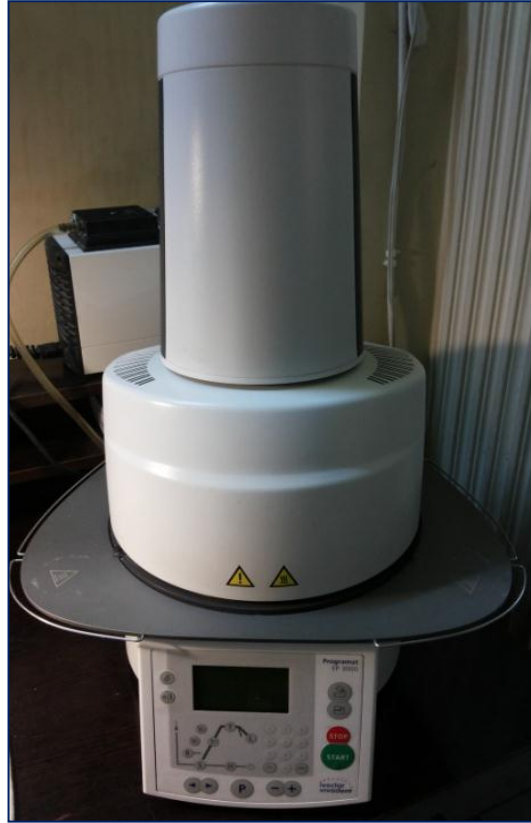
شكل 28: مكونات جهاز CAD/CAM: (1) جهاز الكمبيوتر مع برنامج التصميم (2) آلة النحت

- الفرن الخاص بتقسية الزركونيا من شركة ZirkonZahn، الشكل (29).



شكل 29: فرن تقسية الزركونيا

- فرن الحقن الحراري EP3000 المخصص لنظام IPSe.max pres من شركة IvoclarVivadent الشكل (30).



شكل 30: فرن الحقن الحراري EP3000

- فرن الخزف P300 من شركة IvoclarVivadent المخصص لخبز الخزف البناء يتواجد في مخبر الأسنان المختص، الشكل (31).



شكل 31: فرن خبز الخزف P300

- مرملة لتنظيف الأقراص الخزفية من شركة Renfert، الشكل (32).



شكل 32: المرملة المستخدمة

- جهاز قياس اللون الالكتروني (VITA Easyshade* Compact, VITA Zahnfabrik, California) يوجد في قسم المداواة في كلية طب الأسنان بجامعة دمشق، الشكل (33).



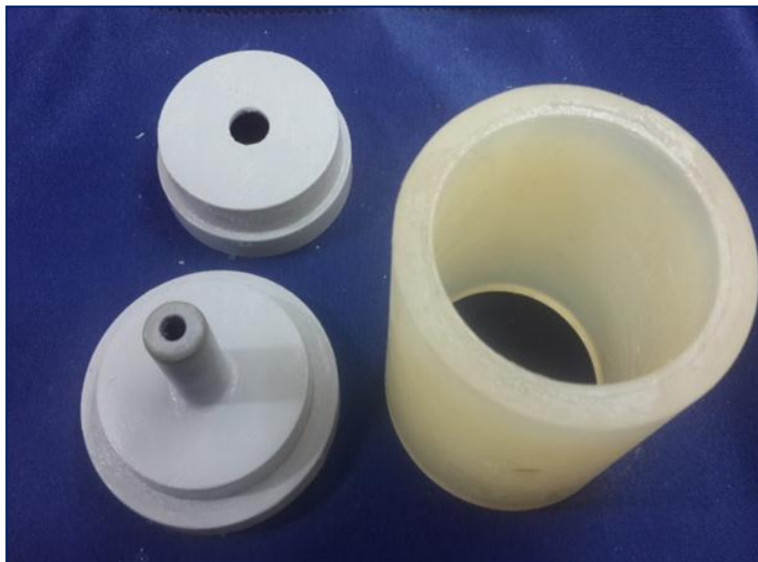
شكل 33: جهاز قياس اللون الالكتروني المستخدم

- مقياس ثخانة ميلليمي، الشكل (34).



شكل 34: مقياس الثخانة المستخدم

- البوتقة المطاطية المخصصة لنظام IPS e.max press تتكون من قاعدة وغطاء وجدار سيليكوني، الشكل (35).



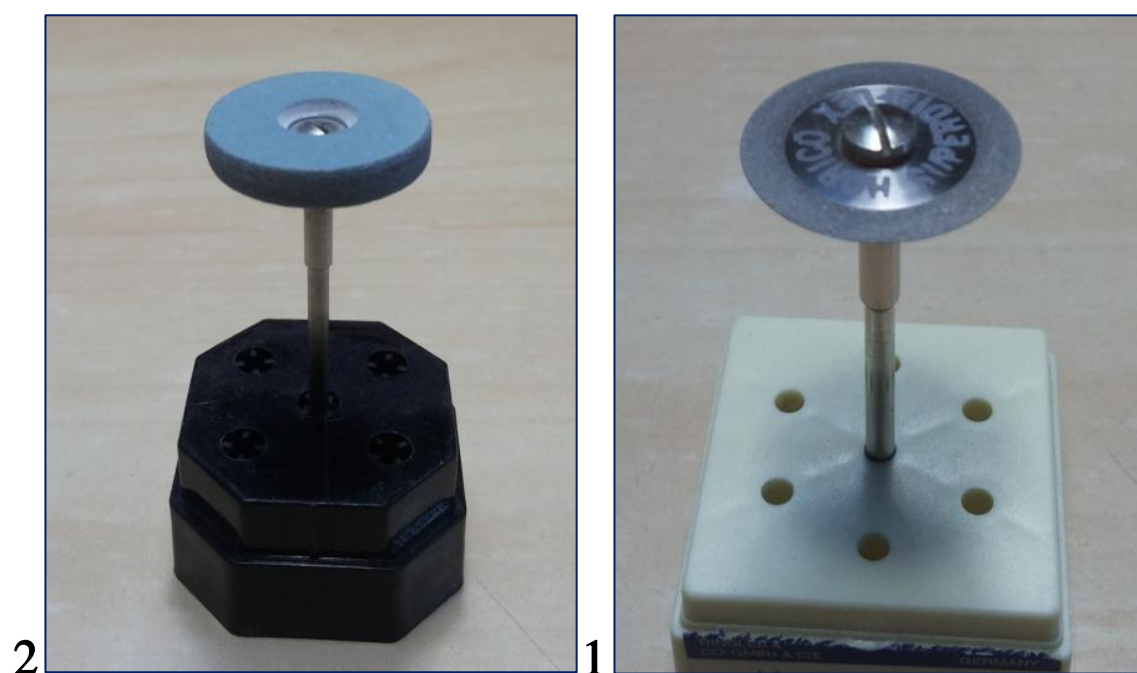
شكل 35: أجزاء البوتقة

- ميكرو توتر صناعي (Strong, Korea) ، الشكل (36).



شكل 36: الميكرو توتر الصناعي مع القبضة

- قرص فاصل ألماسي ورأس إنهاء مطاطي (SunEye, Korea) ، الشكل (37).



شكل 37: (1) القرص الفاصل، (2) رأس الإنهاء المطاطي

2-3 طرائق البحث :Methods

- صنع الأقراص الخزفية (الزجاجية والسيراميكية)

المرحلة الأولى

- تكرار خبز الأقراص وتسجيل القراءات اللونية

المرحلة الثانية

2-3-1 - مرحلة صنع الأقراص الخزفية:

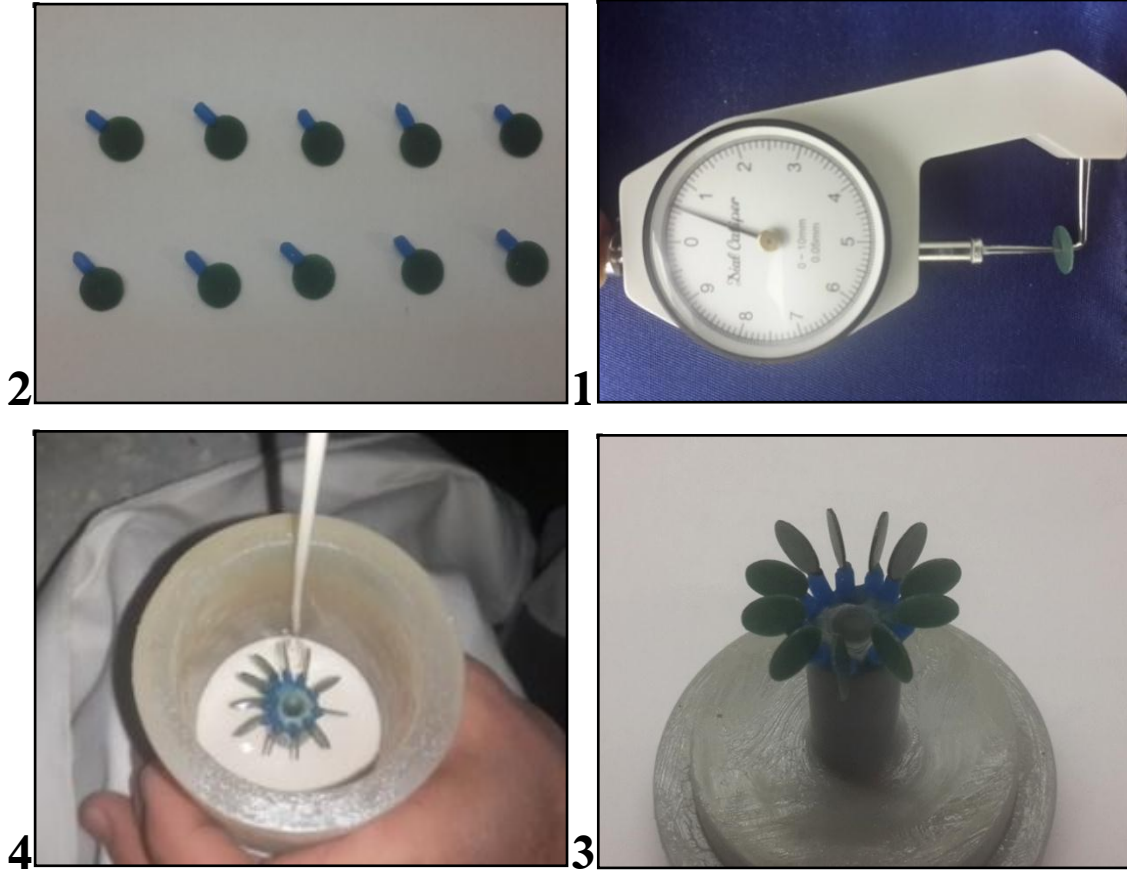
تم تصنيع 20 قرصاً خزفياً بقطر 8 ملم وبثخانة 1.5 ملم، بحيث تكون ثخانة الهيكل الخزفي (core) 0.5 ملم وثخانة خزف البناء المغطي 1 ملم، وتمت هذه الخطوات بالإستعانة بالتقني المتخصص كما يلي:

أولاً: خطوات صناعة الأقراص الخزفية الزجاجية:

- تصنيع الهيكل الأساسي core :

تم تصنيع الهيكل الأساسي بتقنية الشمع الضائع باستخدام خزف IPS e.max Press كما يلي:

- شمعت الأقراص بقطر 8 ملم وبثخانة 0.6 ملم وذلك باستخدام قالب بلاستيكي خاص بنفس الأبعاد (ستصبح الثخانة 0.5 ملم بعد إجراء الحقن الحراري وترميل الأقراص وتشذيبها)، ثم وُتِدَت الأقراص باستخدام أوتاد شمعية جاهزة (طول الوتد حوالي 3 ملم وقطره 2.5 ملم) وتم تثبيتها في قاعدة البوتقة (بحيث تكون المسافة بين الأقراص 3 ملم على الأقل، والمسافة عن جدران البوتقة 10 ملم على الأقل)، ثم كسيت بالمسحوق الكاسي في بوتقة مناسبة وفق تعليمات الشركة المصنعة (100 غ بودرة تمزج مع 23 ملم من السائل المُرْفَق)، الشكل (38).



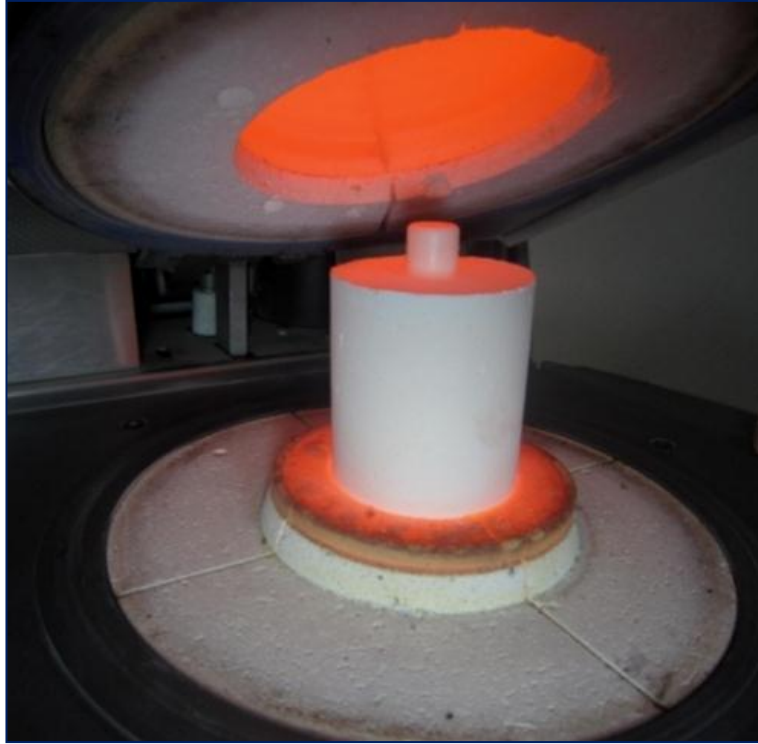
شكل 38 تشميع الأقراص وإكساؤها : (1) التأكد من ثخانة القرص الشمعي، (2) الأقراص بعد تشميعها وتوتيدها، (3) تثبيت الأقراص في قاعدة البوتقة المطاطية، (4) مرحلة الكسو.

- بعد تصلب المسحوق الكاسي أزيلت أجزاء البوتقة (القاعدة والغطاء والجدار السيليكوني) وأدخلت أسطوانة الكاسي في فرن الإحماء المخصص بدرجة حرارة تبلغ (950 °م) لمدة 60 دقيقة حتى يتبخر المثال الشمعي، الشكل(39).



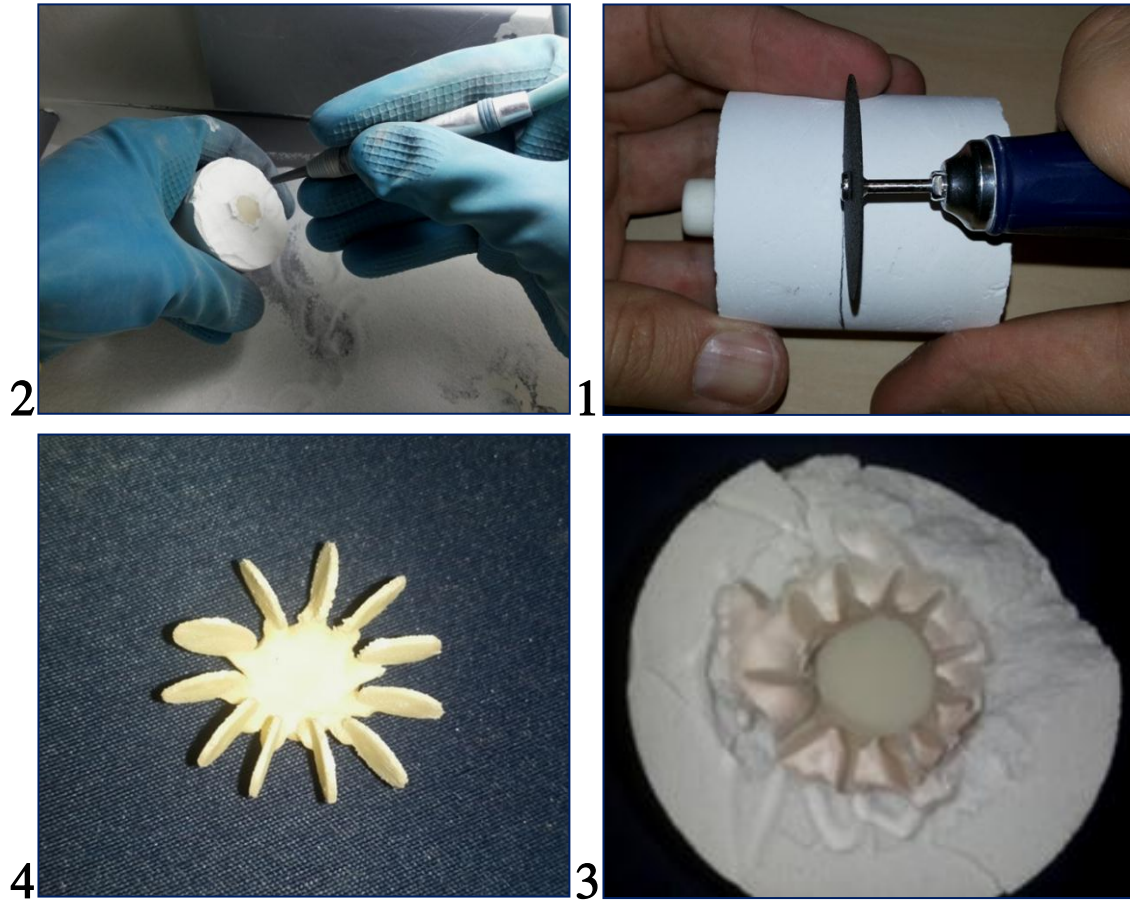
شكل 39 : أسطوانة الكاسي في فرن الإحماء

- وضعت المصبوبة الخزفية بلون MO1 (بحيث يكون الوجه المطبوع عليه نحو الأعلى) وفوقها الدافع الألوميني بوجهه المعزول باتجاه المضغوطة في مجرى الصب داخل أسطوانة الكاسي الساخنة، ونقلت مباشرةً إلى فرن الحقن الحراري ليتم حقنها ضمن الفراغ المتشكل عن احتراق النموذج الشمعي (الحقن الحراري يتم بدرجة حرارة تبلغ 925 °م)، الشكل (40).



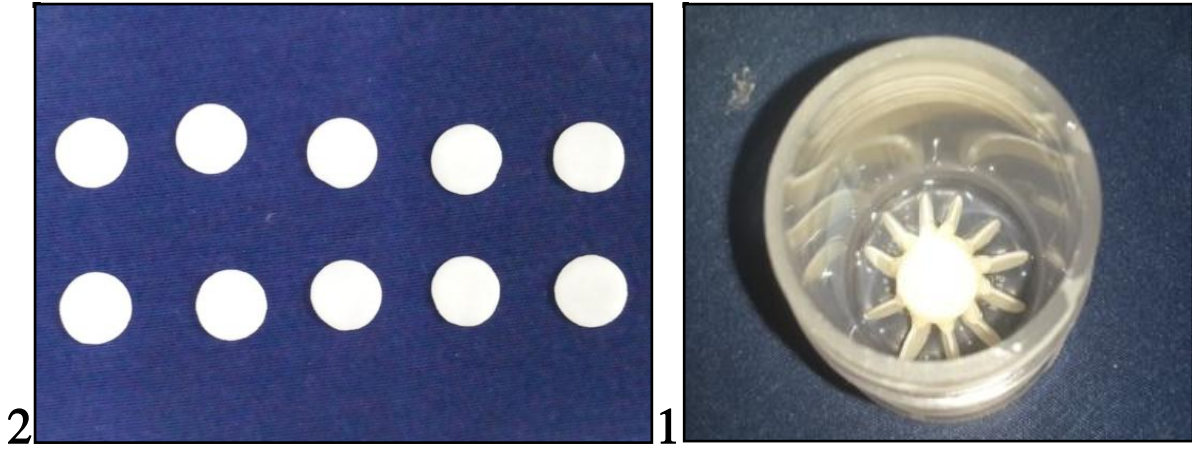
شكل 40: الحقن الحراري للمضغوطة الخزفية

- بعد أن بردت البوتقة إلى درجة حرارة الغرفة (بعد 60 دقيقة تقريباً) أزيل الدافع الألوميني بعد قص المسحوق الكاسي المحيط به حتى تتكشف كتلة الخزف المحقون، ثم تم الترميل باستخدام رملٍ من نوع polishing beads على ضغط مرملة 4 بار أولاً (الترميل الخشن) ثم على ضغط 2 بار (الترميل الناعم) مع الانتباه إلى اتجاه زاوية الترميل والمحافظة على بعدٍ مناسبٍ (حوالي 2 سم) لرأس قلم الترميل عن القطع الخزفية لتجنب تشطي الحواف، الشكل (41).



شكل 41: تنظيف الأقراص المحقونة من المسحوق الكاسي: (1) قص أسطوانة الكاسي لإزالة الدافع الألوميني، (2) مرحلة الترميل الخشن، (3) كتلة الأقراص قبل مرحلة الترميل الناعم، (4) كتلة الأقراص بعد تنظيفها من المسحوق الكاسي

- بعد تنظيف الأقراص من المسحوق الكاسي تم نقعها في السائل الحمضي Press Invex لمدة لم تتجاوز 30 دقيقة، ثم أخرجت من السائل وغسلت بالماء وجففت وتم ترميلها باستخدام رمل أكسيد الألمنيوم 100 ميكرون بضغط 1-2 بار لإزالة الطبقة المتأكسدة الناتجة عن الحقن الحراري، الشكل (1-42).
- فصلت الأقراص الخزفية باستخدام قرص فاصل ألماسي رقيق، وتم تشذيبها وتنعيمها باستخدام رأس إنهاء مطاطي خاص بحيث تكون الشخانة النهائية لكل قرص خزفي (0.05 ± 0.5) ملم، ثم أجريت خبزة التأسيس الأولية (wash firing) حسب تعليمات الشركة المنتجة لتكون الأقراص جاهزة لاستقبال خبز البناء المغطي IPS e.max Ceram بلون A1، الشكل (2-42).

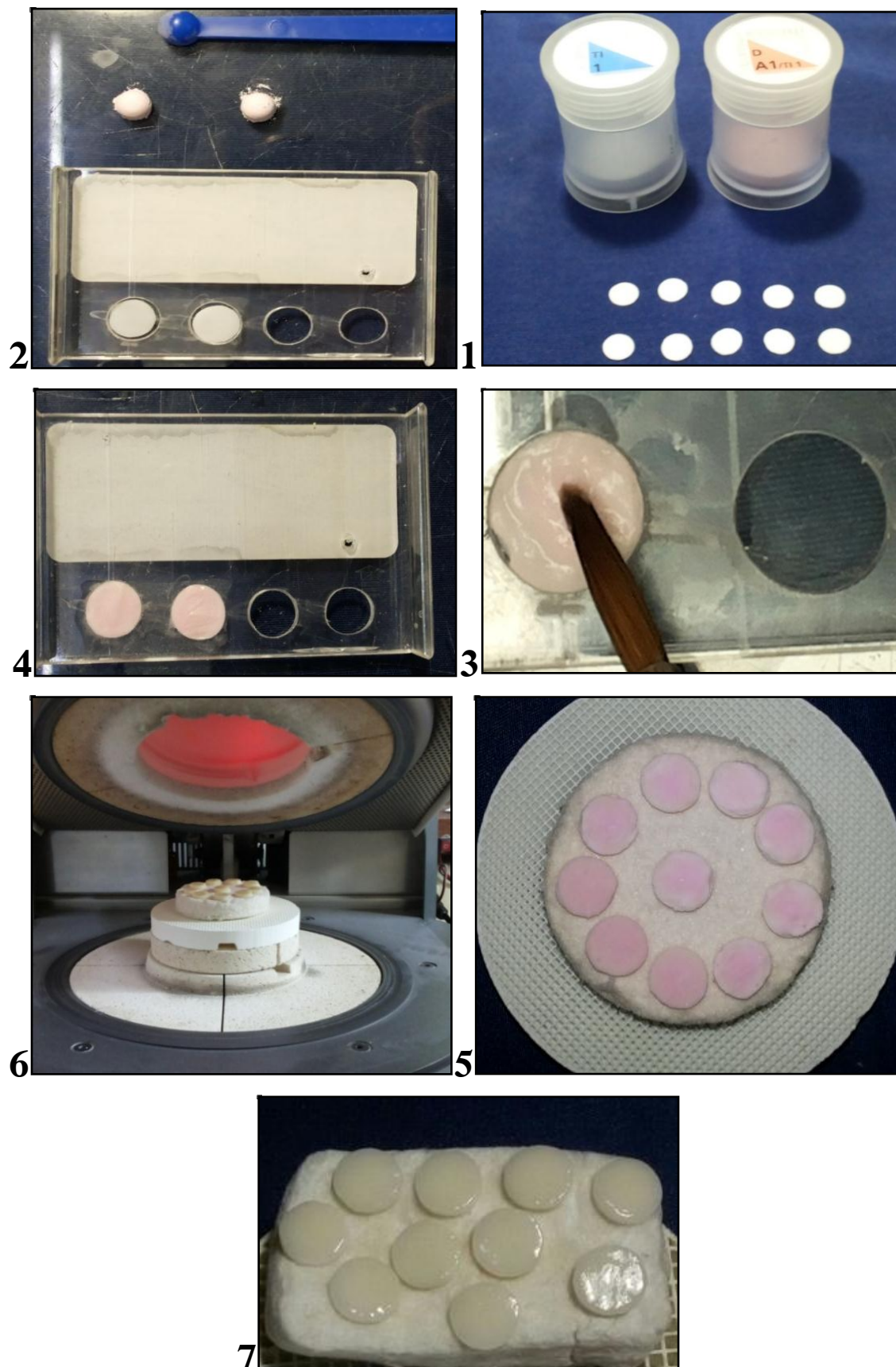


شكل 42: تجهيز الأقراص لبناء الخزف المغطي: (1) كتلة أقراص خزف (e.max press) في السائل الحمضي، (2) الأقراص بعد تشذيبها.

• تطبيق خزف البناء المغطي IPS e.max Ceram، الشكل (2-43):

بعد إجراء خبزة التأسيس الأولية (wash firing) تم تطبيق الخزف المغطي بالطريقة التقليدية باستخدام الفرشاة على 3 مراحل كما يلي:

- مزج الخزف العاجي أولاً وتم تطبيقه بالفرشاة ثم تكثيفه بمنديلٍ ورقيٍّ فوق الأقراص، وذلك بعد وضع كل قرصٍ ضمن قالبٍ بلاستيكيٍّ خاصٍّ بقطر 8 ملم وبثخانة 1.5 ملم، تم تصنيعه خصيصاً لضمان الحصول على ثخانةٍ موحدةٍ للخزف المغطي. ثم خبزت الأقراص في الفرن المخصص وفق تعليمات الشركة المنتجة (درجة حرارة الخبز 750 °م مع تخلية هوائية)، وتم إنهاء الثخانة بحيث تترك مسافة حوالي 0.3 ملم للخزف المينائي ولطبقة التزجيج الأخيرة.
- طبق الخزف المينائي بنفس الطريقة السابقة باستخدام نفس القالب البلاستيكي وخبزت الأقراص مرةً أخرى وتم إنهاؤها وتنعيمها بحيث تكون الثخانة النهائية للقرص 1.5 ملم.
- أخيراً تم تزجيج الأقراص بدرجة حرارة تبلغ 725 °م لتكون جاهزةً لأخذ اللون الأولي قبل البدء بمرحلة تكرار الخبز.

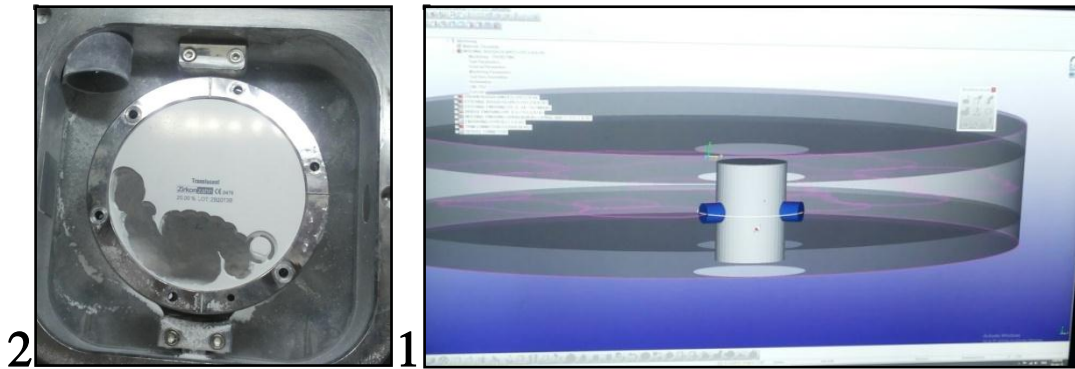


شكل 43: طريقة تطبيق خزف البناء المغطي: (1) أقراص الخزف المحقون جاهزة لتطبيق خزف البناء ، (2,3,4) تطبيق الخزف المغطي باستخدام الفرشاة ضمن القالب البلاستيكي، (5) الأقراص بعد تغطيتها جاهزة للخبز، (6) الأقراص بعد خبز الخزف العاجي، (7) أقراص الخزف الزجاجي جاهزة لأخذ اللون بعد ترجيحها.

ثانياً: خطوات صناعة الأقراص الزيركونية:

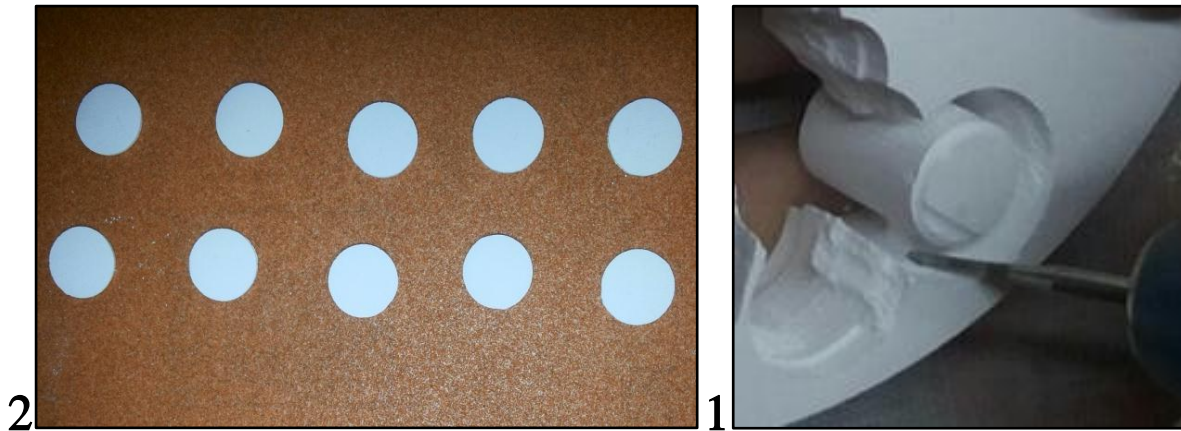
صنعت هذه الأقراص بتقنية التصميم والنحت الحاسوبي CAD/CAM كما يلي:

- 1- جرى أولاً تصميم أسطوانة باستخدام جهاز الحاسوب المرفق، الشكل (1-44) بما يتناسب مع الأبعاد النهائية المطلوبة للأقراص (مع حساب نسبة التقلص اللاحق الذي ستعرض له الأقراص خلال عملية التلبيد)، ثم أعطي أمر النحت، (2-44).



شكل 44: تصميم ونحت الأسطوانة الزيركونية: (1) تصميم الأسطوانة الزيركونية، (2) الأسطوانة الزيركونية بعد نحتها .

- 2- فصلت الأسطوانة بعد انتهاء نحتها عن بلوك الزيركونيا باستخدام سنبل ماسية مخروطية (يبلغ ارتفاع بلوك الزيركونيا المستخدم 14 ملم)، الشكل (1-45). ثم قسمت باستخدام قرص فاصل ألماسي رقيق لتعطي 10 أقراص زيركونية، الشكل (1-45). وتم إنهاء الأقراص وتشذيبها باستخدام ورق زجاج ناعم للحصول على النخانة المطلوبة مع أخذ نسبة التقلص (حوالي 20%) نتيجة التعرض اللاحق للحرارة بالحسبان.



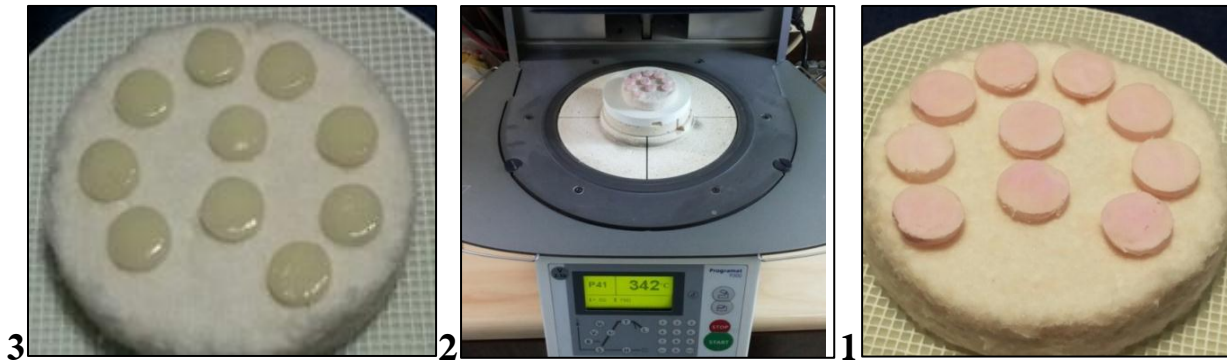
شكل 45 : تصنيع هياكل أقراص الزيركونيا: (1) فصل الأسطوانة عن بلوك الزيركونيا، (2) الأقراص الزيركونية بعد تقطيع الأسطوانة

3- وضعت الأقراص في فرن الإحماء المخصص، الشكل (46)، لتليدها وتقسيته بشكلٍ كاملٍ لمدة 7 ساعات وفقاً لتعليمات الشركة المنتجة.



شكل 46: تليد الهياكل الزيركونية في فرن الإحماء المخصص

4- أخرجت الأقراص من الفرن ونظفت وتم التأكد من الثخانات باستخدام مقياس الثخانة لتكون جاهزة لاستقبال الخزف المغطي (العاجي والمينائي) IPS e.max Ceram بلون A1 بنفس الطريقة التي استخدمت سابقاً لتغطية أقراص الخزف الزجاجي المحقون، الشكل (47).



شكل 47: تغطية هياكل الزيركونيا بالخزف المغطي وخبزها: (1-2) الأقراص الزيركونية بعد تغطيتها بالخزف العاجي قبل الخبز (3) الأقراص الزيركونية بعد خبزها وتزجيجها جاهزة لأخذ اللون

- وضعت جميع أقراص العينة ضمن علبة بلاستيكية خاصة تحوي حبرات متعددة، الشكل (48)، ورقمت حبرات الأقراص الزيركونية بأرقام (من z1 حتى z10) وأقراص الخزف الزجاجي بأرقام (من e1 حتى e10)، الشكل (49)، وذلك للحفاظ على كل قرص في مكانه خلال مراحل أخذ القياسات اللونية.



شكل 48: أقراص الخزف الزجاجي وأقراص الزيركونيا داخل حبرات العلبة البلاستيكية الحافظة للعينات

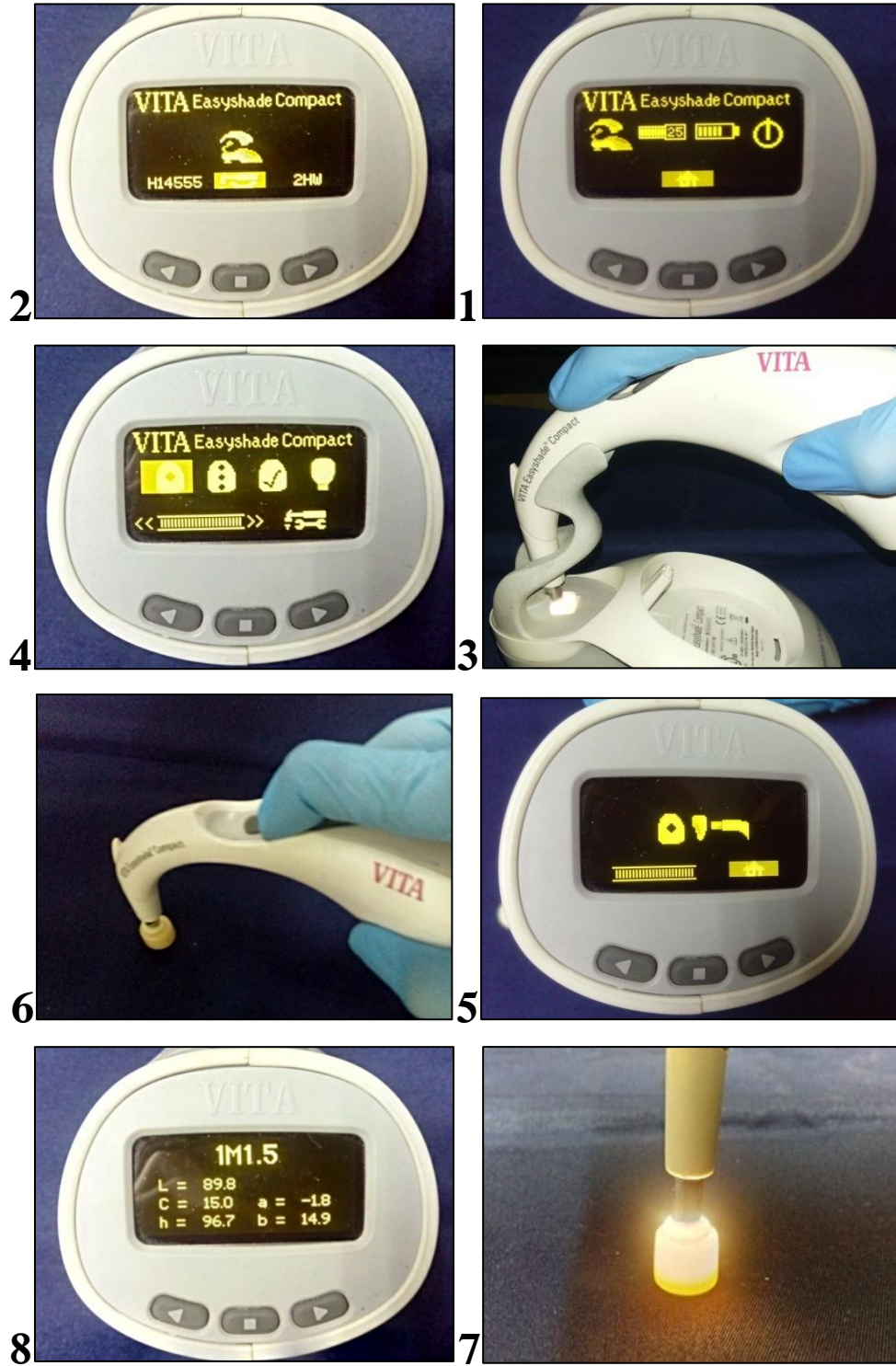


شكل 49: يوضح ترقيم حبرات الحافظة البلاستيكية

2-3-2: مرحلة تكرار الخبز وتسجيل القراءات اللونية :

تم قياس اللون لجميع أقراص العينة من طرفها المزجج في نفس ظروف الإضاءة باستخدام جهاز قياس اللون الإلكتروني VITA Easyshade* Compact كما يلي، الشكل (50):

- بعد تشغيل الجهاز تم اختيار أيقونة المعايرة من شاشة الخيارات الرئيسية للجهاز، ثم ضُغَطَ رأس الجهاز بشكل خفيف ولمدة 5 ثوان تقريباً على بلوك المعايرة الموجود في قاعدة الجهاز حتى سماع صوت الطنين الذي يدل على انتهاء المعايرة.
- ضبطت الخيارات المناسبة وذلك باختيار أيقونة قياس اللون المفرد.
- نظفت الأقراص أولاً باستخدام سائلٍ مطهرٍ كحوليٍّ، وتم وضع كل قرصٍ أثناء أخذ اللون على مضغوطةٍ خزفيةٍ بلون A3 بغرض توحيد لون الخلفية لجميع العينات.
- يوضع رأس الجهاز بشكلٍ عموديٍّ ملاصقاً لسطح القرص من طرفه المزجج وفي مركزه، ثم يتم الضغط المستمر على الزر الموجود في أعلى قبضة الجهاز حتى سماع صوت الطنين الذي يدل على انتهاء أخذ اللون.
- تم أخذ 3 قياساتٍ لونيةٍ لكل قرصٍ خزفيٍّ ثم أخذ المتوسط الحسابي للقيم الناتجة، وبنفس الطريقة تم قياس إحداثيات اللون في كل مرحلة بعد تكرار الخبز (2-4-6 مرات) وسجلت النتائج ضمن جداول ليتم حساب قيم التغير اللوني لكل قرصٍ ومن ثم إجراء الدراسات الإحصائية المناسبة.



شكل 50: طريقة قياس اللون باستخدام جهاز VITA Easyshade Compact: (1) شاشة الخيارات الرئيسية للجهاز، (2) اختيار أيقونة المعايرة، (3) معايرة رأس الجهاز، (4) اختيار أيقونة قياس اللون النقطي، (5) الجهاز جاهز لقياس اللون، (6) يوضح قياس اللون لأحد الأقراص، (7) رأس الجهاز أثناء قياس اللون لأحد الأقراص بعد وضعه على المضغوة الخزفية، (8) نتائج قياس اللون لأحد الأقراص.

الباب الثالث

النتائج

Results

الدراسة الإحصائية:

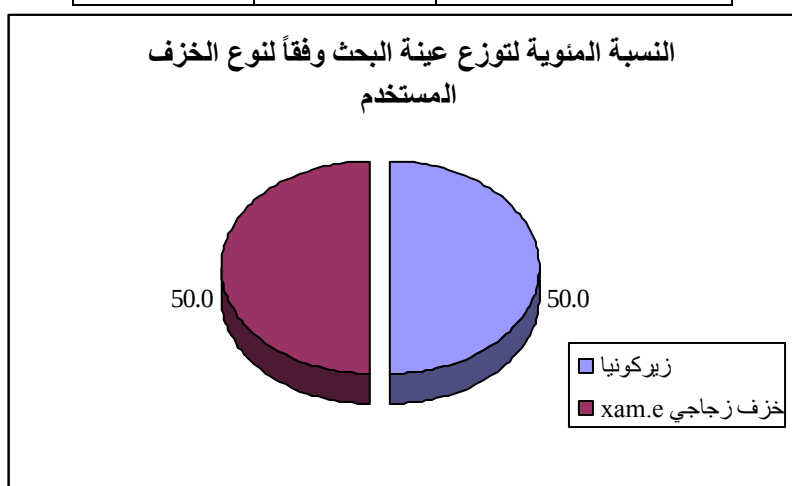
3-1: وصف العينة:

تألفت عينة البحث من 20 قرصاً خزفياً كانت مقسمةً إلى مجموعتين رئيسيتين متساويتين وفقاً لنوع الخزف المستخدم (زيركونيا، خزف زجاجي e.max)، وكان توزيع عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم كما يلي:

توزيع عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم:

جدول 1: يبين توزيع عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم.

نوع الخزف المستخدم	عدد الأقراص	النسبة المئوية
زيركونيا	10	50.0
خزف زجاجي e.max	10	50.0
المجموع	20	100



مخطط 1: يمثل النسبة المئوية لتوزيع عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم.

3-2: الدراسة الإحصائية التحليلية:

تم قياس المعاملات اللونية (L^* ، a^* ، b^*) في أربع مراحل مختلفة (قبل تكرار الخبز، بعد دورتي خبز اثنتين، بعد 4 دورات خبز، بعد 6 دورات خبز) لكل قرص خزفي من الأقراص المدروسة في عينة البحث ثم تم حساب مقدار التغير اللوني ΔE بين كل زوج من المراحل المدروسة (تغير اللون الأولي بعد دورتي خبز اثنتين، تغير اللون الأولي بعد 4 دورات خبز، تغير اللون الأولي بعد 6 دورات خبز، التغير اللوني بين دورتي الخبز 2-4،

التغير اللوني بين دورتي الحَبْز 2-6 ، التغير اللوني بين دورتي الحَبْز 4-6 (لكل قرص خزفي من الأقراص المدروسة في عينة البحث وفقاً للمعادلات التالية:

$$\begin{aligned} \text{مقدار التغير اللوني الأولي } \Delta E \text{ بعد دورتي حَبْز اثنتين لكل قرص خزفي} &= [\text{مقدار التغير في قيمة المعامل } L^* \text{ بعد دورتي حَبْز اثنتين}]^2 + (\text{مقدار التغير في قيمة المعامل } a^* \text{ بعد دورتي حَبْز اثنتين})^2 + (\text{مقدار التغير في قيمة المعامل } b^* \text{ بعد دورتي حَبْز اثنتين})^{0.5} \text{ للقرص الخزفي نفسه} \\ \text{مقدار التغير اللوني الأولي } \Delta E \text{ بعد أربع دورات حَبْز لكل قرص خزفي} &= [\text{مقدار التغير في قيمة المعامل } L^* \text{ بعد أربع دورات حَبْز}]^2 + (\text{مقدار التغير في قيمة المعامل } a^* \text{ بعد أربع دورات حَبْز})^2 + (\text{مقدار التغير في قيمة المعامل } b^* \text{ بعد أربع دورات حَبْز})^{0.5} \text{ للقرص الخزفي نفسه} \\ \text{مقدار التغير اللوني الأولي } \Delta E \text{ بعد ست دورات حَبْز لكل قرص خزفي} &= [\text{مقدار التغير في قيمة المعامل } L^* \text{ بعد ست دورات حَبْز}]^2 + (\text{مقدار التغير في قيمة المعامل } a^* \text{ بعد ست دورات حَبْز})^2 + (\text{مقدار التغير في قيمة المعامل } b^* \text{ بعد ست دورات حَبْز})^{0.5} \text{ للقرص الخزفي نفسه} \end{aligned}$$

ثم تم تحديد درجة القبول السريري للتغير اللوني بين كل زوج من المراحل السابقة المدروسة لكل قرص خزفي في عينة البحث، وقد تم إعطاء كل درجة من درجات القبول السريري للتغير اللوني قيمة متزايدة تصاعدياً وفقاً لقيم مقدار التغير اللوني ΔE كما في الجدول التالي:

جدول 2: يبين الدرجات المعتمدة للقبول السريري للتغير اللوني في عينة البحث والقيم الموافقة المعطاة لكل درجة.

القيمة الموافقة المعطاة	درجة القبول السريري للتغير اللوني	قيمة مقدار التغير اللوني ΔE في كل مرحلة مدروسة
1	تغير لوني غير مقبول سريرياً	أكبر من 3.7
2	تغير لوني مقبول سريرياً	أكبر من 1 وأصغر أو تساوي 3.7
3	تطابق لوني من الناحية السريرية	أصغر أو تساوي 1

ثم تمت دراسة تأثير نوع الخزف المستخدم (زيركونيا، خزف زجاجي e.max) في كل من المتغيرات المدروسة في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة، كما تمت دراسة تأثير المرحلة المدروسة في قيم كل من المتغيرات المدروسة وفقاً لنوع الخزف المستخدم وكانت نتائج التحليل كما يلي:

3-2-1: دراسة قيم المعاملات اللونية في عينة البحث:

« دراسة تأثير نوع الخزف المستخدم في قيم المعاملات اللونية (L^* ، a^* ، b^*) وفقاً للمرحلة المدروسة:

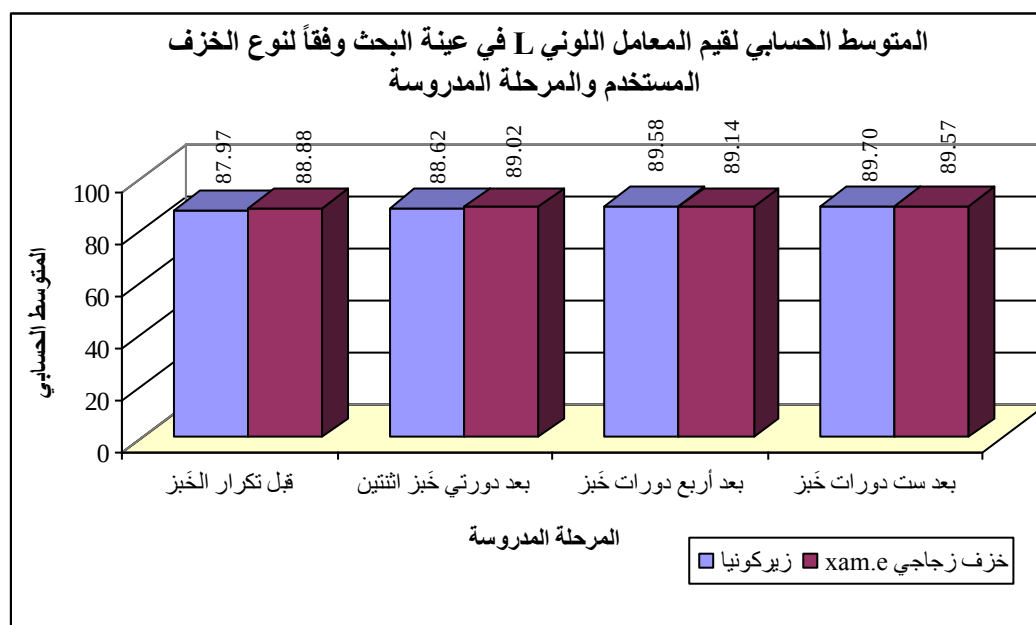
تم إجراء اختبار T ستيودنت للعينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قيم كل من المعاملات اللونية (L^* ، a^* ، b^*) بين مجموعة الخزف زيركونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث، وذلك وفقاً للمرحلة المدروسة كما يلي:

- إحصاءات وصفية:

أ - بالنسبة لقيم المعامل L^* :

جدول 3: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى لقيم المعامل اللوني L^* في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

المتغير المدروس = قيم المعامل L^*							
المرحلة المدروسة	نوع الخزف المستخدم	عدد الأقراص	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى
قبل تكرار الخبز	زيركونيا	10	87.97	0.77	0.24	86.77	88.83
	خزف زجاجي e.max	10	88.88	0.45	0.14	88.30	89.70
بعد دورتي خبز	زيركونيا	10	88.62	0.71	0.23	87.47	89.50
	خزف زجاجي e.max	10	89.02	0.59	0.19	88.23	90.17
بعد 4 دورات خبز	زيركونيا	10	89.58	0.79	0.25	88.10	90.67
	خزف زجاجي e.max	10	89.14	0.59	0.19	88.13	90.00
بعد 6 دورات خبز	زيركونيا	10	89.70	0.68	0.21	88.67	91.00
	خزف زجاجي e.max	10	89.57	0.60	0.19	88.27	90.40

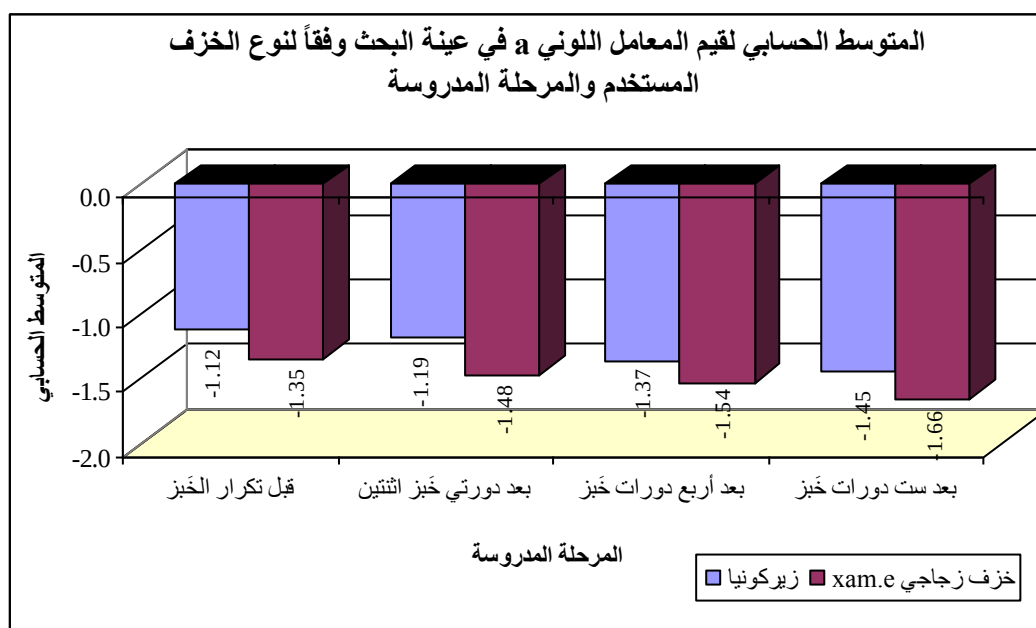


مخطط 2: يمثل المتوسط الحسابي لقيم المعامل اللوني L^* في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

ب - بالنسبة لقيم المعامل a^* :

جدول 4: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى لقيم المعامل اللوني a^* في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

المتغير المدروس = قيم المعامل a^*							
المرحلة المدروسة	نوع الخزف المستخدم	عدد الأقراص	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى
قبل تكرار الخزف	زيركونيا	10	-1.12	0.23	0.07	-1.33	-0.67
	خزف زجاجي e.max	10	-1.35	0.13	0.04	-1.47	-1.03
بعد دورتي خزف اثنتين	زيركونيا	10	-1.19	0.19	0.06	-1.37	-0.83
	خزف زجاجي e.max	10	-1.48	0.07	0.02	-1.57	-1.37
بعد 4 دورات خزف	زيركونيا	10	-1.37	0.15	0.05	-1.50	-1.00
	خزف زجاجي e.max	10	-1.54	0.09	0.03	-1.67	-1.40
بعد 6 دورات خزف	زيركونيا	10	-1.45	0.14	0.05	-1.67	-1.23
	خزف زجاجي e.max	10	-1.66	0.09	0.03	-1.80	-1.50

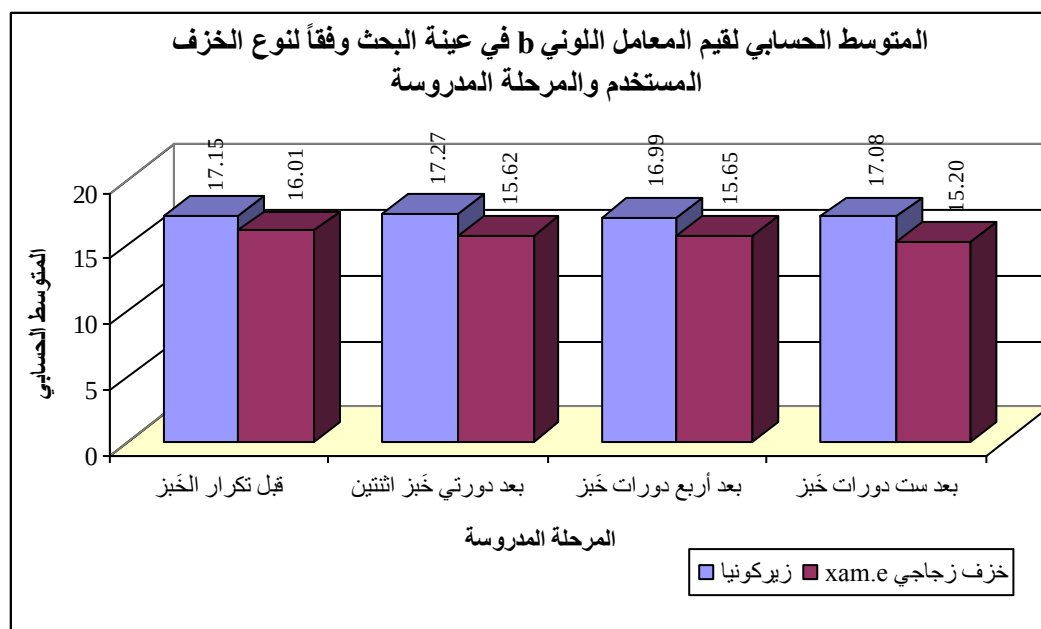


مخطط 3: يمثل المتوسط الحسابي لقيم المعامل اللوني a^* في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

ج - بالنسبة لقيم المعامل b^* :

جدول 5: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى لقيم المعامل اللوني b^* في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

المتغير المدروس = قيم المعامل b^*							
المرحلة المدروسة	نوع الخزف المستخدم	عدد الأقراص	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى
قبل تكرار الخبز	زيركونيا	10	17.15	2.14	0.68	14.57	22.37
	خزف زجاجي e.max	10	16.01	2.40	0.76	12.63	20.10
بعد دورتي خبز	زيركونيا	10	17.27	1.96	0.62	14.80	22.00
	خزف زجاجي e.max	10	15.62	2.25	0.71	12.53	19.50
بعد 4 دورات خبز	زيركونيا	10	16.99	1.90	0.60	14.70	21.50
	خزف زجاجي e.max	10	15.65	2.30	0.73	12.57	19.43
بعد 6 دورات خبز	زيركونيا	10	17.08	2.11	0.67	14.40	21.97
	خزف زجاجي e.max	10	15.20	2.33	0.74	12.20	19.20



مخطط 4: يمثل المتوسط الحسابي لقيم المعامل اللوني b^* في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

- نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المستقلة:

جدول 6: يبين نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط قيم كل من المعاملات اللونية (L^* , a^* , b^*) بين مجموعة الخزف زيكونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث، وذلك وفقاً للمرحلة المدروسة

المتغير المدروس	المرحلة المدروسة	قيمة t المحسوبة	درجات الحرية	الفرق بين المتوسطين	الخطأ المعياري للفرق	قيمة مستوى الدلالة	دلالة الفروق
قيم المعامل L^*	قبل تكرار الخزف	-3.224	18	-0.91	0.28	0.005	توجد فروق دالة
	بعد دورتي خزف	-1.365	18	-0.40	0.29	0.189	لا توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خزف	1.409	18	0.44	0.31	0.176	لا توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خزف	0.465	18	0.13	0.29	0.648	لا توجد فروق دالة
قيم المعامل a^*	قبل تكرار الخزف	2.780	18	0.23	0.08	0.012	توجد فروق دالة
	بعد دورتي خزف	4.499	18	0.29	0.06	0.000	توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خزف	2.993	18	0.17	0.06	0.008	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خزف	4.003	18	0.22	0.05	0.001	توجد فروق دالة
قيم المعامل b^*	قبل تكرار الخزف	1.128	18	1.15	1.02	0.274	لا توجد فروق دالة
	بعد دورتي خزف	1.751	18	1.65	0.94	0.097	لا توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خزف	1.422	18	1.34	0.94	0.172	لا توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خزف	1.895	18	1.88	0.99	0.074	لا توجد فروق دالة

يبين الجدول أعلاه أن قيمة مستوى الدلالة أصغر من القيمة 0.05 بالنسبة للمعامل L في المرحلة (قبل تكرار الخزف) وبالنسبة للمعامل a مهما كانت المرحلة المدروسة (قبل تكرار الخزف، بعد دورتي خزف، بعد 4 دورات خزف، بعد 6 دورات خزف)، أي أنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق دالة إحصائية في متوسط قيم المعامل اللوني L قبل الخزف بين مجموعة الخزف زيكونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max. وكذلك توجد فروق دالة إحصائية في متوسط قيم المعامل اللوني a بين مجموعة الخزف زيكونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max مهما كانت المرحلة المدروسة في عينة البحث، وبدراسة الإشارة الجبرية للفروق بين المتوسطات نستنتج أن قيم المعامل اللوني L قبل الخزف في مجموعة الخزف زيكونيا كانت أصغر منها في مجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث، ونستنتج أن المعامل اللوني a (بالقيم المطلقة) في مجموعة الخزف زيكونيا كانت أصغر منها في مجموعة الخزف الزجاجي e.max مهما كانت المرحلة المدروسة في عينة البحث.

أما بالنسبة للمعامل اللوني L في كل من المراحل (بعد دورتي خَبْر ، بعد 4 دورات خَبْر، بعد 6 دورات خَبْر) وبالنسبة للمعامل اللوني b مهما كانت المرحلة المدروسة فيلاحظ أن قيمة مستوى الدلالة أكبر من القيمة 0.05، أي أنه عند مستوى الثقة 95% لا توجد فروق دالة إحصائية في متوسط قيم كل من المعامل اللوني L بين مجموعة الخزف زيركونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في كل من المراحل (بعد دورتي خَبْر ، بعد 4 دورات خَبْر، بعد 6 دورات خَبْر)، وكذلك لا توجد فروق دالة إحصائية في متوسط قيم كل من المعامل اللوني b بين مجموعة الخزف زيركونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max مهما كانت المرحلة المدروسة من عينة البحث.

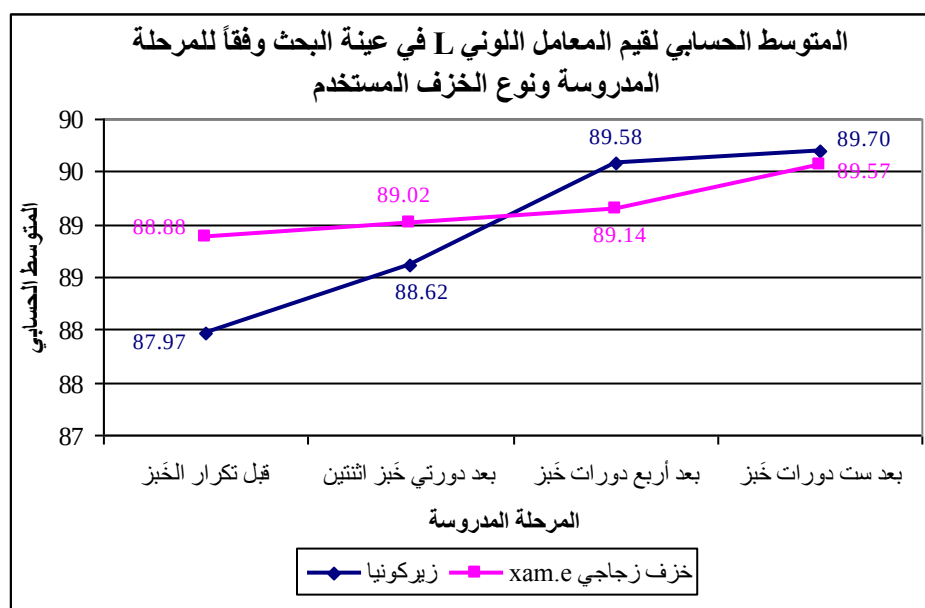
◀ دراسة تأثير المرحلة المدروسة في قيم المعامل اللوني L* وفقاً لنوع الخزف المستخدم:

تم إجراء اختبار T ستيودنت للعينات المترابطة لدراسة دلالة الفروق الثنائية في متوسط قيم المعامل اللوني L* بين المراحل الأربع المدروسة (قبل تكرار الخَبْر، بعد دورتي خَبْر ، بعد 4 دورات خَبْر، بعد 6 دورات خَبْر) في عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم كما يلي:

- إحصاءات وصفية:

جدول 7: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى لقيم المعامل اللوني L* في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم.

المتغير المدروس = قيم المعامل L*							
نوع الخزف المستخدم	المرحلة المدروسة	عدد الأقراص	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى
زيركونيا	قبل تكرار الخَبْر	10	87.97	0.77	0.24	86.77	88.83
	بعد دورتي خَبْر	10	88.62	0.71	0.23	87.47	89.50
	بعد 4 دورات خَبْر	10	89.58	0.79	0.25	88.10	90.67
	بعد 6 دورات خَبْر	10	89.70	0.68	0.21	88.67	91.00
خزف زجاجي e.max	قبل تكرار الخَبْر	10	88.88	0.45	0.14	88.30	89.70
	بعد دورتي خَبْر	10	89.02	0.59	0.19	88.23	90.17
	بعد 4 دورات خَبْر	10	89.14	0.59	0.19	88.13	90.00
	بعد 6 دورات خَبْر	10	89.57	0.60	0.19	88.27	90.40



مخطط 5: يمثل المتوسط الحسابي لقيم المعامل اللوني L في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم.

- نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المترابطة:

جدول 8: يبين نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المترابطة لدراسة دلالة الفروق الثنائية في متوسط قيم المعامل اللوني L* بين المراحل الأربع المدروسة (قبل الخزف، بعد دورتي خزف اثنتين، بعد أربع دورات خزف، بعد ست دورات خزف) في عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم.

المتغير المدروس = قيم المعامل L*					
نوع الخزف المستخدم	المقارنة في القيم بين المرحلتين:	الفرق بين المتوسطين	قيمة t المحسوبة	درجات الحرية	قيمة مستوى الدلالة
زيركونيا	بعد دورتي خزف - قبل تكرار الخزف	0.65	5.407	9	توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خزف - قبل تكرار الخزف	1.61	10.821	9	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خزف - قبل تكرار الخزف	1.73	11.013	9	توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خزف - بعد دورتي خزف	0.96	8.845	9	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خزف - بعد دورتي خزف	1.08	5.893	9	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خزف - بعد أربع دورات	0.12	0.650	9	لا توجد فروق دالة
خزف زجاجي e.max	بعد دورتي خزف - قبل تكرار الخزف	0.14	1.149	9	لا توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خزف - قبل تكرار الخزف	0.26	2.105	9	لا توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خزف - قبل تكرار الخزف	0.68	5.500	9	توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خزف - بعد دورتي خزف	0.12	1.306	9	لا توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خزف - بعد دورتي خزف	0.55	4.513	9	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خزف - بعد 4 دورات خزف	0.42	5.522	9	توجد فروق دالة

يبين الجدول أعلاه أن قيمة مستوى الدلالة أكبر من القيمة 0.05 عند المقارنة في قيم المعامل اللوني L بين المرحلتين المدروستين (بعد 4 دورات خَبَزْ، بعد 6 دورات خَبَزْ) في مجموعة الخزف زيركونيا، وعند المقارنة الثنائية بين المراحل الثلاث (قبل تكرار الخَبَزْ، بعد دورتي خَبَزْ ، بعد 4 دورات خَبَزْ) في مجموعة الخزف الزجاجي e.max، أي أنه عند مستوى الثقة 95% لا توجد فروق ثنائية دالة إحصائياً في متوسط قيم المعامل اللوني L بين المراحل المذكورة في عينة البحث.

أما بالنسبة لباقي المقارنات الثنائية المدروسة فيُلاحظ أن قيمة مستوى الدلالة أصغر بكثير من القيمة 0.05، أي أنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق ثنائية دالة إحصائياً في متوسط قيم المعامل اللوني L بين المراحل المعنية في عينة البحث، وبما أن الإشارة الجبرية للفروق بين المتوسطات موجبة نستنتج أن قيم المعامل اللوني L في كل من المراحل (بعد دورتي خَبَزْ ، بعد 4 دورات خَبَزْ، بعد 6 دورات خَبَزْ) كانت أكبر منها في المرحلة (قبل تكرار الخَبَزْ)، وأن قيم المعامل اللوني L في كل من المرحلتين (بعد 4 دورات خَبَزْ، بعد 6 دورات خَبَزْ) كانت أكبر منها في المرحلة (بعد دورتي خَبَزْ) في مجموعة الخزف زيركونيا، ونستنتج أن قيم المعامل اللوني L في المرحلة (بعد 6 دورات خَبَزْ) كانت أكبر منها في كل من المراحل المدروسة الباقية (قبل تكرار الخَبَزْ، بعد دورتي خَبَزْ ، بعد 4 دورات خَبَزْ) في مجموعة الخزف الزجاجي e.max من عينة البحث.

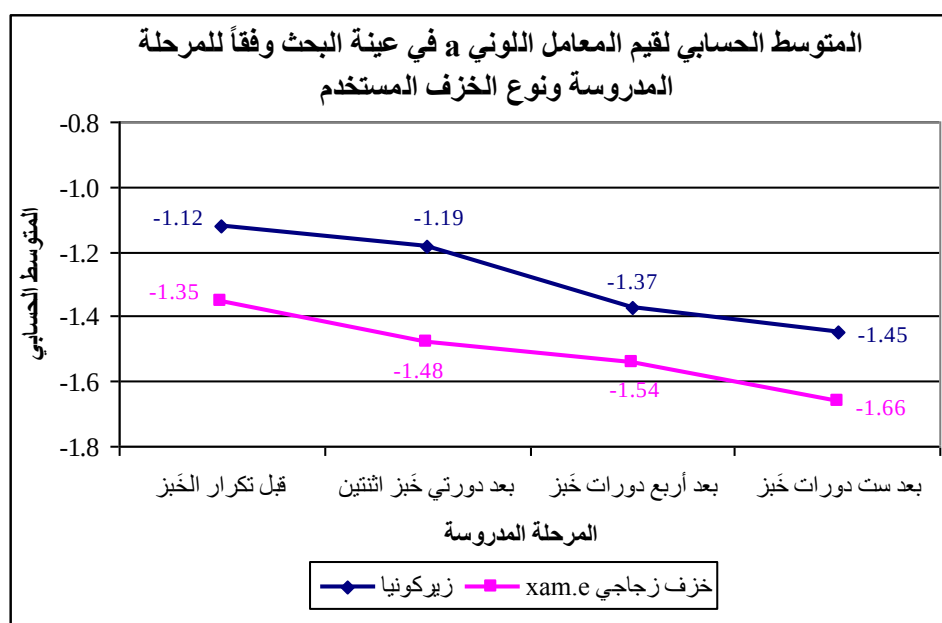
دراسة تأثير المرحلة المدروسة في قيم المعامل اللوني a^* وفقاً لنوع الخزف المستخدم:

تم إجراء اختبار T ستودنت للعينات المترابطة لدراسة دلالة الفروق الثنائية في متوسط قيم المعامل اللوني a^* بين المراحل الأربع المدروسة (قبل تكرار الخبز، بعد دورتي خبز، بعد 4 دورات خبز، بعد 6 دورات خبز) في عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم كما يلي:

- إحصاءات وصفية:

جدول 9: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى لقيم المعامل اللوني a^* في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم.

المتغير المدروس = قيم المعامل a^*							
نوع الخزف المستخدم	المرحلة المدروسة	عدد الأقراص	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى
زيركونيا	قبل تكرار الخبز	10	-1.12	0.23	0.07	-1.33	-0.67
	بعد دورتي خبز	10	-1.19	0.19	0.06	-1.37	-0.83
	بعد 4 دورات خبز	10	-1.37	0.15	0.05	-1.50	-1.00
	بعد 6 دورات خبز	10	-1.45	0.14	0.05	-1.67	-1.23
خزف زجاجي e.max	قبل تكرار الخبز	10	-1.35	0.13	0.04	-1.47	-1.03
	بعد دورتي خبز	10	-1.48	0.07	0.02	-1.57	-1.37
	بعد 4 دورات خبز	10	-1.54	0.09	0.03	-1.67	-1.40
	بعد 6 دورات خبز	10	-1.66	0.09	0.03	-1.80	-1.50



مخطط 6: يمثل المتوسط الحسابي لقيم المعامل اللوني a^* في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم.

- نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المترابطة:

جدول 10: يبين نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المترابطة لدراسة دلالة الفروق الثنائية في متوسط قيم المعامل اللوني a^* بين المراحل الأربع المدروسة (قبل الخبز، بعد دورتي خبز اثنتين، بعد أربع دورات خبز، بعد ست دورات خبز) في عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم.

المتغير المدروس = قيم المعامل a^*					
نوع الخزف المستخدم	المقارنة في القيم بين المرحلتين:	الفرق بين المتوسطين	قيمة t المحسوبة	درجات الحرية	قيمة مستوى الدلالة
زيركونيا	بعد دورتي خبز - قبل تكرار الخبز	-0.06	-3.612	9	توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خبز - قبل تكرار الخبز	-0.25	-8.135	9	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - قبل تكرار الخبز	-0.32	-6.895	9	توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خبز - بعد دورتي خبز	-0.19	-7.203	9	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - بعد دورتي خبز	-0.26	-6.882	9	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - بعد 4 دورات خبز	-0.07	-2.310	9	توجد فروق دالة
خزف زجاجي e.max	بعد دورتي خبز اثنتين - قبل تكرار الخبز	-0.12	-3.440	9	توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خبز - قبل تكرار الخبز	-0.19	-4.617	9	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - قبل تكرار الخبز	-0.31	-7.299	9	توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خبز - بعد دورتي خبز	-0.06	-2.818	9	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - بعد دورتي خبز	-0.19	-7.203	9	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - بعد 4 دورات خبز	-0.12	-6.398	9	توجد فروق دالة

يبين الجدول أعلاه أن قيمة مستوى الدلالة أصغر من القيمة 0.05 بالنسبة لجميع المقارنات الثنائية المدروسة، أي أنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق ثنائية دالة إحصائياً في متوسط قيم المعامل اللوني a بين المراحل الأربع المدروسة مهما كان نوع الخزف المستخدم في عينة البحث، وبما أن الإشارة الجبرية للفروق بين المتوسطات سالبة نستنتج أن قيم المعامل اللوني a تناقصت بتزايد عدد دورات الخبز مهما كان نوع الخزف المستخدم (زيركونيا، خزف زجاجي e.max) في عينة البحث.

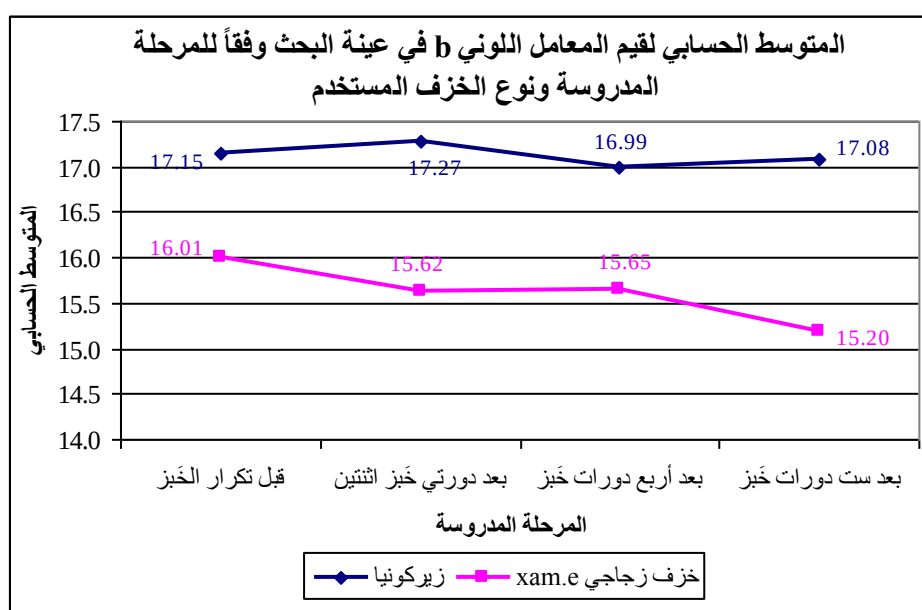
دراسة تأثير المرحلة المدروسة في قيم المعامل اللوني b^* وفقاً لنوع الخزف المستخدم:

تم إجراء اختبار T ستودنت للعينات المترابطة لدراسة دلالة الفروق الثنائية في متوسط قيم المعامل اللوني b^* بين المراحل الأربع المدروسة (قبل تكرار الخبز، بعد دورتي خبز اثنتين، بعد 4 دورات خبز، بعد 6 دورات خبز) في عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم كما يلي:

- إحصاءات وصفية:

جدول 11: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى لقيم المعامل اللوني b^* في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم.

المتغير المدروس = قيم المعامل b^*							
نوع الخزف المستخدم	المرحلة المدروسة	عدد الأقراص	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى
زيركونيا	قبل تكرار الخبز	10	17.15	2.14	0.68	14.57	22.37
	بعد دورتي خبز	10	17.27	1.96	0.62	14.80	22.00
	بعد 4 دورات خبز	10	16.99	1.90	0.60	14.70	21.50
	بعد 6 دورات خبز	10	17.08	2.11	0.67	14.40	21.97
خزف زجاجي e.max	قبل تكرار الخبز	10	16.01	2.40	0.76	12.63	20.10
	بعد دورتي خبز	10	15.62	2.25	0.71	12.53	19.50
	بعد 4 دورات خبز	10	15.65	2.30	0.73	12.57	19.43
	بعد 6 دورات خبز	10	15.20	2.33	0.74	12.20	19.20



مخطط 7: يمثل المتوسط الحسابي لقيم المعامل اللوني b^* في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم.

- نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المترابطة:

جدول 12: يبين نتائج اختبار T ستيودنت للعينات المترابطة لدراسة دلالة الفروق الثنائية في متوسط قيم المعامل اللوني b^* بين المراحل الأربع المدروسة (قبل الخبز، بعد دورتي خبز اثنتين، بعد أربع دورات خبز، بعد ست دورات خبز) وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم.

المتغير المدروس = قيم المعامل b^*					
نوع الخزف المستخدم	المقارنة في القيم بين المرحلتين:	الفرق بين المتوسطين	قيمة t المحسوبة	درجات الحرية	قيمة مستوى الدلالة
زيركونيا	بعد دورتي خبز - قبل تكرار الخبز	0.12	0.874	9	لا توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خبز - قبل تكرار الخبز	-0.16	-1.540	9	لا توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - قبل تكرار الخبز	-0.07	-0.928	9	لا توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خبز - بعد دورتي خبز	-0.28	-2.362	9	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - بعد دورتي خبز	-0.19	-1.453	9	لا توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - بعد 4 دورات خبز	0.09	0.815	9	لا توجد فروق دالة
خزف زجاجي e.max	بعد دورتي خبز - قبل تكرار الخبز	-0.39	-6.226	9	توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خبز - قبل تكرار الخبز	-0.36	-4.150	9	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - قبل تكرار الخبز	-0.81	-9.258	9	توجد فروق دالة
	بعد 4 دورات خبز - بعد دورتي خبز	0.03	0.263	9	لا توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - بعد دورتي خبز	-0.42	-4.212	9	توجد فروق دالة
	بعد 6 دورات خبز - بعد 4 دورات خبز	-0.45	-3.669	9	توجد فروق دالة

يبين الجدول أعلاه أن قيمة مستوى الدلالة أصغر من القيمة 0.05 عند المقارنة في قيم المعامل اللوني b بين المرحلتين المدروستين (بعد دورتي خبز، بعد 4 دورات خبز) في مجموعة الخزف زيركونيا وبالنسبة لجميع المقارنات الثنائية المدروسة عدا المقارنة بين المرحلتين (بعد دورتي خبز، بعد 4 دورات خبز) في مجموعة الخزف الزجاجي e.max، أي أنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق ثنائية دالة إحصائياً في متوسط قيم المعامل اللوني b بين المراحل المذكورة في عينة البحث، وبما أن الإشارة الجبرية للفروق بين المتوسطات سالبة نستنتج أن قيم المعامل اللوني b بعد أربع دورات خبز كانت أصغر منها بعد دورتي خبز اثنتين في مجموعة الخزف زيركونيا، ونستنتج أيضاً أن قيم المعامل اللوني b في كل من المراحل (بعد دورتي خبز، بعد 4 دورات خبز، بعد 6 دورات خبز) كانت أصغر منها قبل الخبز وأن قيم المعامل اللوني b بعد ست دورات خبز كانت أصغر منها في كل من المرحلتين (بعد دورتي خبز، بعد 4 دورات خبز) على حدة في مجموعة الخزف الزجاجي e.max من عينة البحث. أما بالنسبة لباقي المقارنات الثنائية المدروسة فيلاحظ أن قيمة مستوى الدلالة أكبر بكثير من القيمة 0.05، أي أنه عند مستوى الثقة 95% لا توجد فروق ثنائية دالة إحصائياً في متوسط قيم المعامل b بين المراحل المعنية في عينة البحث.

3-2-2: دراسة مقدار التغير اللوني ΔE :

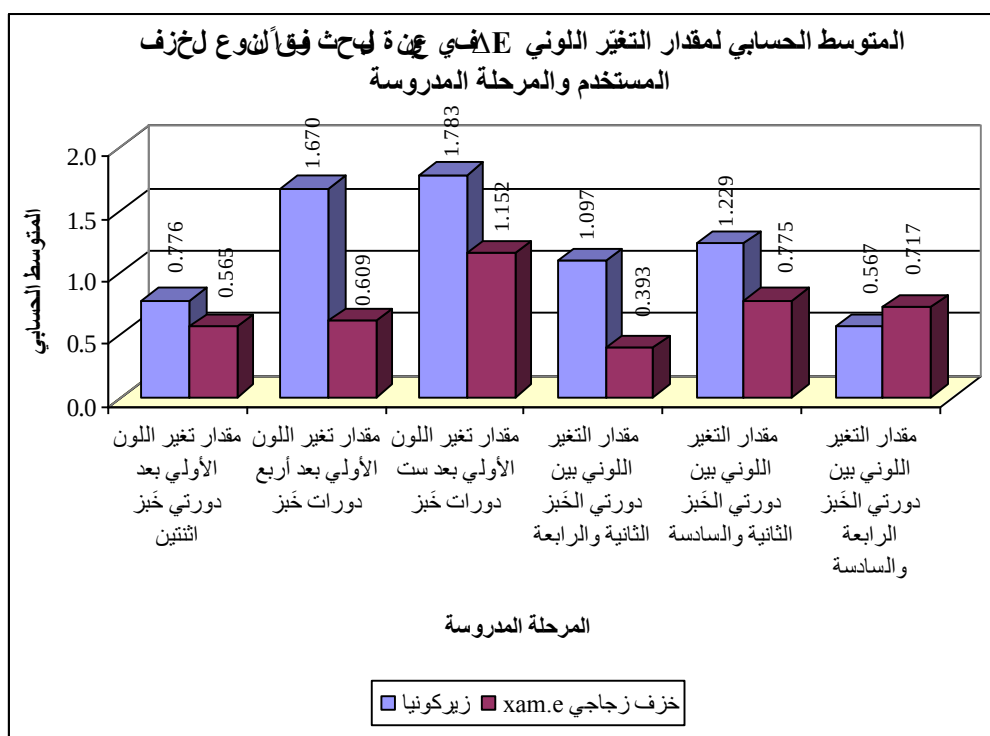
◀ دراسة تأثير نوع الخزف المستخدم في مقدار التغير اللوني ΔE وفقاً للمرحلة المدروسة:

تم إجراء اختبار T ستودنت للعينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط التغير اللوني ΔE بين مجموعة الخزف زيركونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث، وذلك وفقاً للمرحلة المدروسة كما يلي:

- إحصاءات وصفية:

جدول 13: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى للتغير اللوني ΔE في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمراحل المدروسة.

المتغير المدروس = مقدار التغير اللوني ΔE							
المرحلة المدروسة	نوع الخزف المستخدم	عدد الأقراص	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى
مقدار تغير اللون الأولي بعد دورتي خبز	زيركونيا	10	0.776	0.381	0.121	0.254	1.309
	خزف زجاجي e.max	10	0.565	0.205	0.065	0.197	0.923
مقدار تغير اللون الأولي بعد 4 دورات خبز	زيركونيا	10	1.670	0.486	0.154	0.677	2.363
	خزف زجاجي e.max	10	0.609	0.300	0.095	0.137	1.145
مقدار تغير اللون الأولي بعد 6 دورات خبز	زيركونيا	10	1.783	0.495	0.157	1.153	2.532
	خزف زجاجي e.max	10	1.152	0.358	0.113	0.555	1.625
مقدار التغير اللوني بين دورتي الخبز (2-4)	زيركونيا	10	1.097	0.292	0.092	0.649	1.533
	خزف زجاجي e.max	10	0.393	0.217	0.069	0.082	0.708
مقدار التغير اللوني بين دورتي الخبز (2-6)	زيركونيا	10	1.229	0.504	0.159	0.640	2.159
	خزف زجاجي e.max	10	0.775	0.395	0.125	0.236	1.380
مقدار التغير اللوني بين دورتي الخبز (4-6)	زيركونيا	10	0.567	0.357	0.113	0.183	1.510
	خزف زجاجي e.max	10	0.717	0.287	0.091	0.306	1.135



مخطط 8: يمثل المتوسط الحسابي لمقدار التغير اللوني ΔE في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

- نتائج اختبار T ستودنت للعينات المستقلة:

جدول 14: يبين نتائج اختبار T ستودنت للعينات المستقلة لدراسة دلالة الفروق في متوسط التغير اللوني ΔE بين مجموعة الخزف زيركونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث، وذلك وفقاً للمرحلة المدروسة.

المتغير المدروس = مقدار التغير اللوني ΔE						المرحلة المدروسة
قيمة t المحسوبة	درجات الحرية	الفرق بين المتوسطين	الخطأ المعياري للفرق	قيمة مستوى الدلالة	دلالة الفروق	
1.541	18	0.211	0.137	0.141	لا توجد فروق دالة	مقدار تغير اللون الأولي بعد دورتي خزف
5.872	18	1.061	0.181	0.000	<u>توجد فروق دالة</u>	مقدار تغير اللون الأولي بعد 4 دورات خزف
3.267	18	0.631	0.193	0.004	<u>توجد فروق دالة</u>	مقدار تغير اللون الأولي بعد 6 دورات خزف
6.126	18	0.704	0.115	0.000	<u>توجد فروق دالة</u>	مقدار التغير اللوني بين دورتي الخزف (4-2)
2.240	18	0.454	0.203	0.038	<u>توجد فروق دالة</u>	مقدار التغير اللوني بين دورتي الخزف (6-2)
-1.040	18	-0.151	0.145	0.312	لا توجد فروق دالة	مقدار التغير اللوني بين دورتي الخزف (6-4)

يبين الجدول أعلاه أن قيمة مستوى الدلالة أكبر بكثير من القيمة 0.05 بالنسبة لكل من مقدار تغير اللون

الأولي بعد دورتي خزف ومقدار التغير اللوني بين دورتي الخزف (4-6)، أي أنه عند مستوى الثقة 95%

لا توجد فروق دالة إحصائية في متوسط كل من مقدار تغير اللون الأولي بعد دورتي خبز ومقدار التغير اللوني بين دورتي الخبز (4-6) بين مجموعة الخزف زيكونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث.

أما بالنسبة لباقي المراحل المدروسة فيلاحظ أن قيمة مستوى الدلالة أصغر من القيمة 0.05، أي أنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق دالة إحصائية في متوسط مقدار التغير اللوني ΔE بين مجموعة الخزف زيكونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في كل المراحل المعنية في عينة البحث، وبما أن الإشارة الجبرية للفروق بين المتوسطات موجبة نستنتج أن قيم كل من مقدار تغير اللون الأولي بعد 4 دورات خبز ومقدار تغير اللون الأولي بعد 6 دورات خبز ومقدار التغير اللوني بين دورتي الخبز (2-4) ومقدار التغير اللوني بين دورتي الخبز (2-6) في مجموعة الخزف زيكونيا كانت أكبر منها في مجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث.

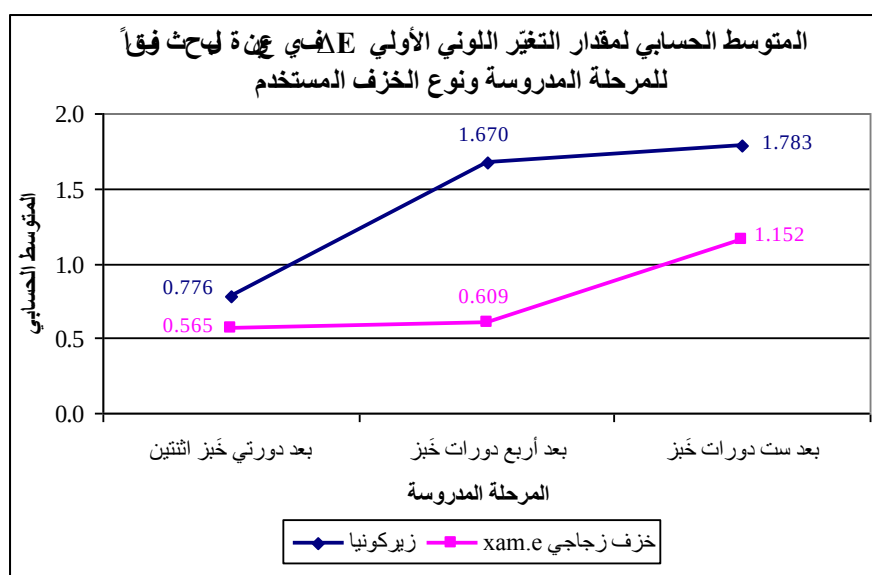
دراسة تأثير المرحلة المدروسة في قيم التغير اللوني الأولي ΔE وفقاً لنوع الخزف المستخدم:

تم إجراء اختبار T ستودنت للعينات المترابطة لدراسة دلالة الفروق الثنائية في متوسط قيم التغير اللوني الأولي ΔE بين المراحل الثلاث المدروسة (بعد دورتي خبز ، بعد 4 دورات خبز ، بعد 6 دورات خبز) في عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم كما يلي:

- إحصاءات وصفية:

جدول 15: يبين المتوسط الحسابي والانحراف المعياري والخطأ المعياري والحد الأدنى والحد الأعلى لدرجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي ΔE في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم.

المتغير المدروس = مقدار التغير اللوني الأولي ΔE							
نوع الخزف المستخدم	المرحلة المدروسة	عدد الأقراص	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الخطأ المعياري	الحد الأدنى	الحد الأعلى
زيركونيا	بعد دورتي خبز	10	0.776	0.381	0.121	0.254	1.309
	بعد 4 دورات خبز	10	1.670	0.486	0.154	0.677	2.363
	بعد 6 دورات خبز	10	1.783	0.495	0.157	1.153	2.532
خزف زجاجي e.max	بعد دورتي خبز	10	0.565	0.205	0.065	0.197	0.923
	بعد 4 دورات خبز	10	0.609	0.300	0.095	0.137	1.145
	بعد 6 دورات خبز	10	1.152	0.358	0.113	0.555	1.625



مخطط 9: يمثل المتوسط الحسابي لمقدار التغير اللوني الأولي ΔE في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم.

- نتائج اختبار T ستبوندت للعينات المترابطة:

جدول 16: يبين نتائج اختبار T ستبوندت للعينات المترابطة لدراسة دلالة الفروق الثنائية في متوسط قيم التغير اللوني الأولي ΔE بين المراحل الثلاث المدروسة (بعد دورتي خَبز ، بعد 4 دورات خَبز ، بعد 6 دورات خَبز) في عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم.

المتغير المدروس = مقدار التغير اللوني الأولي ΔE					
نوع الخزف المستخدم	المقارنة في القيم بين المرحلتين:	الفرق بين المتوسطين	قيمة t المحسوبة	درجات الحرية	قيمة مستوى الدلالة
زيركونيا	(4-2) دورات خبز	0.89	6.921	9	توجد فروق دالة
	(6-2) دورات خبز	1.01	5.236	9	توجد فروق دالة
	(6-4) دورات خبز	0.11	0.642	9	لا توجد فروق دالة
خزف زجاجي e.max	(4-2) دورات خبز	0.04	0.422	9	لا توجد فروق دالة
	(6-2) دورات خبز	0.59	6.373	9	توجد فروق دالة
	(6-4) دورات خبز	0.54	5.072	9	توجد فروق دالة

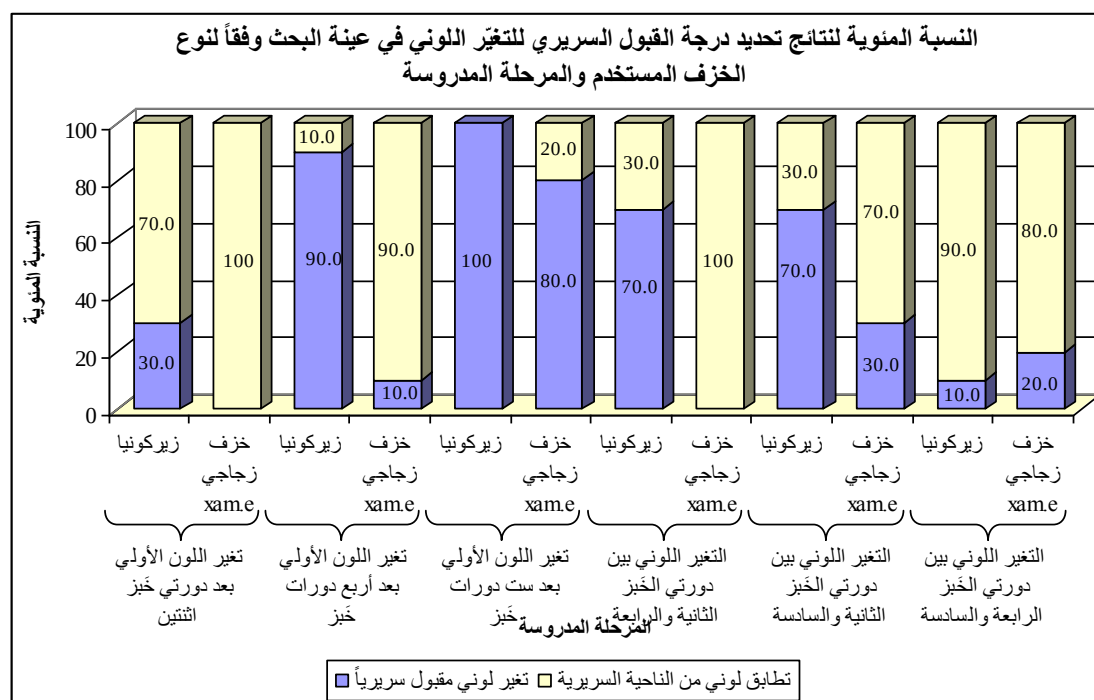
يبين الجدول أعلاه أن قيمة مستوى الدلالة أصغر من القيمة 0.05 عند المقارنة في قيم التغير اللوني الأولي ΔE بين المرحلة (بعد دورتي خَبز) وكل من المرحلتين المدروستين (بعد 4 دورات خَبز ، بعد 6 دورات خَبز) في مجموعة الخزف زيركونيا، وعند المقارنة في قيم التغير اللوني الأولي ΔE بين المرحلة (بعد 6 دورات خَبز) وكل من المرحلتين المدروستين (بعد دورتي خَبز ، بعد 4 دورات خَبز) في مجموعة الخزف الزجاجي e.max، أي أنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق دالة إحصائياً في متوسط قيم التغير اللوني الأولي ΔE بين المراحل المذكورة في عينة البحث، وبما أن الإشارة الجبرية للفروق بين المتوسطات موجبة نستنتج أن قيم التغير اللوني الأولي ΔE في كل من المرحلتين (بعد 4 دورات خَبز ، بعد 6 دورات خَبز) كانت أكبر منها في المرحلة (بعد دورتي خَبز) في مجموعة الخزف زيركونيا، ونستنتج أن قيم التغير اللوني الأولي ΔE في المرحلة (بعد 6 دورات خَبز) كانت أكبر منها في كل من المرحلتين (بعد دورتي خَبز ، بعد 4 دورات خَبز) في مجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث. أما بالنسبة لباقي المقارنات الثنائية المدروسة فيلاحظ أن قيمة مستوى الدلالة أكبر بكثير من القيمة 0.05، أي أنه عند مستوى الثقة 95% لا توجد فروق ثنائية دالة إحصائياً في متوسط التغير اللوني الأولي ΔE بين المرحلتين (بعد 4 دورات خَبز ، بعد 6 دورات خَبز) في مجموعة الخزف زيركونيا، وكذلك لا توجد فروق ثنائية دالة إحصائياً في متوسط التغير اللوني الأولي ΔE بين المرحلتين (بعد دورتي خَبز ، بعد 4 دورات خَبز) في مجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث.

دراسة درجة القبول السريري للتغير اللوني:

نتائج تحديد درجة القبول السريري للتغير اللوني وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة:

جدول 17: يبين نتائج تحديد درجة القبول السريري للتغير اللوني في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

المرحلة المدروسة	نوع الخزف المستخدم	عدد الأقراص			النسبة المئوية	
		تغير لوني مقبول سريرياً	تطابق لوني سريرياً	المجموع	تغير لوني مقبول سريرياً	تطابق لوني سريرياً
تغير اللون الأولي بعد دورتي خبز	زيركونيا	3	7	10	30.0	70.0
	خزف زجاجي e.max	0	10	10	0	100
تغير اللون الأولي بعد 4 دورات خبز	زيركونيا	9	1	10	90.0	10.0
	خزف زجاجي e.max	1	9	10	10.0	90.0
تغير اللون الأولي بعد 6 دورات خبز	زيركونيا	10	0	10	100	0
	خزف زجاجي e.max	8	2	10	80.0	20.0
التغير اللوني بين دورتي الخبز (2-4)	زيركونيا	7	3	10	70.0	30.0
	خزف زجاجي e.max	0	10	10	0	100
التغير اللوني بين دورتي الخبز (2-6)	زيركونيا	7	3	10	70.0	30.0
	خزف زجاجي e.max	3	7	10	30.0	70.0
التغير اللوني بين دورتي الخبز (4-6)	زيركونيا	1	9	10	10.0	90.0
	خزف زجاجي e.max	2	8	10	20.0	80.0



مخطط 10 : يمثل النسبة المئوية لنتائج تحديد درجة القبول السريري للتغير اللوني وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

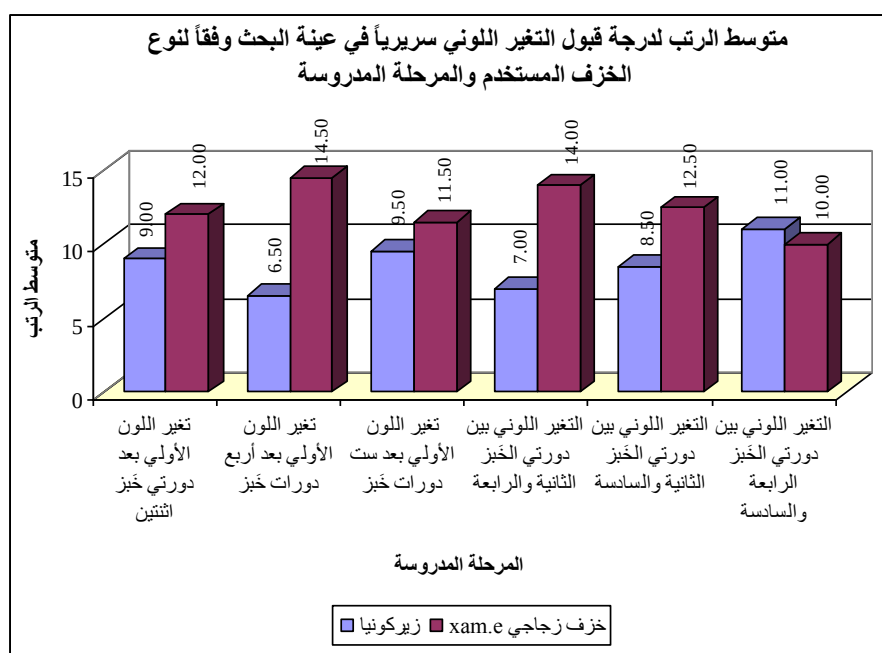
دراسة تأثير نوع الخزف المستخدم في درجة القبول السريري للتغير اللوني وفقاً للمرحلة المدروسة:

تم إجراء اختبار Mann-Whitney U لدراسة دلالة الفروق في تكرارات درجة القبول السريري للتغير اللوني بين مجموعة الزيركونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث، وذلك وفقاً للمرحلة المدروسة كما يلي:

- إحصاءات وصفية:

جدول 18: يبين متوسط الرتب لدرجة القبول السريري للتغير اللوني في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

المتغير المدروس	المرحلة المدروسة	نوع الخزف المستخدم	عدد الأقراص	متوسط الرتب
درجة القبول السريري للتغير اللوني	تغير اللون الأولي بعد دورتي خبز	زيركونيا	10	9.00
		خزف زجاجي e.max	10	12.00
	تغير اللون الأولي بعد 4 دورات خبز	زيركونيا	10	6.50
		خزف زجاجي e.max	10	14.50
	تغير اللون الأولي بعد 6 دورات خبز	زيركونيا	10	9.50
		خزف زجاجي e.max	10	11.50
	التغير اللوني بين دورتي الخبز (4-2)	زيركونيا	10	7.00
		خزف زجاجي e.max	10	14.00
	التغير اللوني بين دورتي الخبز (6-2)	زيركونيا	10	8.50
		خزف زجاجي e.max	10	12.50
	التغير اللوني بين دورتي الخبز (6-4)	زيركونيا	10	11.00
		خزف زجاجي e.max	10	10.00



مخطط 11: يمثل متوسط الرتب لدرجة القبول السريري للتغير اللوني في عينة البحث وفقاً لنوع الخزف المستخدم والمرحلة المدروسة.

- نتائج اختبار Mann-Whitney U:

جدول 19: يبين نتائج اختبار Mann-Whitney U لدراسة دلالة الفروق في تكرارات درجة القبول السريري للتغير اللوني بين مجموعة الخزف زيكونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث، وذلك وفقاً للمرحلة المدروسة.

المتغير المدروس	المرحلة المدروسة	قيمة U	قيمة مستوى الدلالة	دلالة الفروق
درجة القبول السريري للتغير اللوني	تغير اللون الأولي بعد دورتي خبز	35.0	0.067	لا توجد فروق دالة
	تغير اللون الأولي بعد 4 دورات خبز	10.0	0.000	<u>توجد فروق دالة</u>
	تغير اللون الأولي بعد 6 دورات خبز	40.0	0.146	لا توجد فروق دالة
	التغير اللوني بين دورتي الخبز (4-2)	15.0	0.001	<u>توجد فروق دالة</u>
	التغير اللوني بين دورتي الخبز (6-2)	30.0	0.081	لا توجد فروق دالة
	التغير اللوني بين دورتي الخبز (6-4)	45.0	0.542	لا توجد فروق دالة

يبين الجدول أعلاه أن قيمة مستوى الدلالة أصغر بكثير من القيمة 0.05 بالنسبة لكل من درجة القبول السريري لتغير اللون الأولي بعد 4 دورات خبز ودرجة القبول السريري للتغير اللوني بين دورتي الخبز (4-2)، أي أنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق دالة إحصائية في تكرارات كل من درجة القبول السريري لتغير اللون الأولي بعد 4 دورات خبز ودرجة القبول السريري للتغير اللوني بين دورتي الخبز (4-2) بين مجموعة الخزف زيكونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث، وبدراسة قيم متوسطات الرتب نستنتج أن كل من درجة القبول السريري لتغير اللون الأولي بعد 4 دورات خبز ودرجة القبول السريري للتغير اللوني بين دورتي الخبز (4-2) في مجموعة الخزف زيكونيا كانت أقل منها في مجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث.

أما بالنسبة لباقي المراحل المدروسة فيلاحظ أن قيمة مستوى الدلالة أكبر من القيمة 0.05، أي أنه عند مستوى الثقة 95% لا توجد فروق دالة إحصائية في تكرارات درجة القبول السريري للتغير اللوني بين مجموعة الخزف زيكونيا ومجموعة الخزف الزجاجي e.max في كل من المراحل المعنية في عينة البحث.

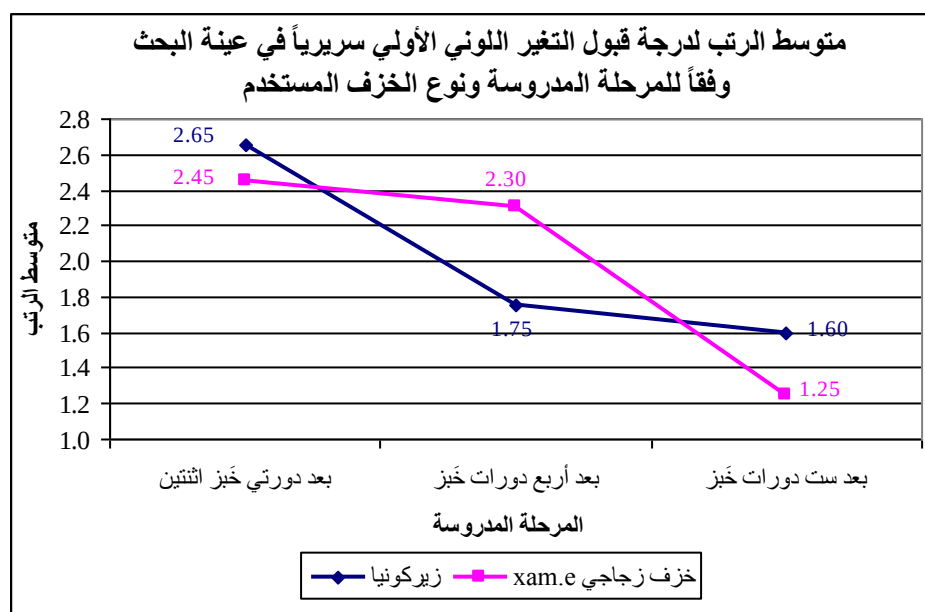
دراسة تأثير المرحلة المدروسة في درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي وفقاً لنوع الخزف المستخدم:

تم إجراء اختبار Friedman لدراسة دلالة الفروق الثنائية في تكرارات درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي بين المراحل الثلاث المدروسة (بعد دورتي خبز ، بعد 4 دورات خبز، بعد 6 دورات خبز) في عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم كما يلي:

- إحصاءات وصفية:

جدول 20: يبين متوسط الرتب لدرجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم.

المتغير المدروس	نوع الخزف المستخدم	المرحلة المدروسة	متوسط الرتب
درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي	زيركونيا	بعد دورتي خبز	2.65
		بعد 4 دورات خبز	1.75
		بعد 6 دورات خبز	1.60
	خزف زجاجي e.max	بعد دورتي خبز	2.45
		بعد 4 دورات خبز	2.30
		بعد 6 دورات خبز	1.25



مخطط 12: يمثل متوسط الرتب لدرجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي في عينة البحث وفقاً للمرحلة المدروسة ونوع الخزف المستخدم.

- نتائج اختبار Friedman:

جدول 21: يبين نتائج اختبار Friedman لدراسة دلالة الفروق في تكرارات درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي بين المراحل الثلاث المدروسة (بعد دورتي خبز اثنتين، بعد أربع دورات خبز، بعد ست دورات خبز) في عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم.

المتغير المدروس	نوع الخزف المستخدم	عدد الأقراص	قيمة كاي مربع	درجات الحرية	قيمة مستوى الدلالة	دلالة الفروق
درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي	زيركونيا	10	12.286	2	0.002	توجد فروق دالة
	خزف زجاجي e.max	10	14.250	2	0.001	توجد فروق دالة

يبين الجدول أعلاه أن قيمة مستوى الدلالة أصغر بكثير من القيمة 0.05 مهما كان نوع الخزف المستخدم (زيركونيا، خزف زجاجي e.max)، أي أنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق دالة إحصائية في تكرارات درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي بين اثنتين على الأقل من المراحل الثلاث المدروسة من عينة البحث، ولمعرفة أي المراحل تختلف عن الأخرى اختلافاً جوهرياً في درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي تم إجراء اختبار Wilcoxon للترتيب ذات الإشارة الجبرية للمقارنة بين كل زوج من الفترات الزمنية المدروسة كما يلي:

- نتائج اختبار Wilcoxon للترتيب ذات الإشارة الجبرية:

جدول 22: يبين نتائج اختبار Wilcoxon للترتيب ذات الإشارة الجبرية لدراسة دلالة الفروق في تكرارات درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي بين المراحل الثلاث المدروسة (بعد دورتي خبز اثنتين، بعد أربع دورات خبز، بعد ست دورات خبز) من عينة البحث، وذلك وفقاً لنوع الخزف المستخدم.

نوع الخزف المستخدم	المقارنة في درجة القبول بين المرحلتين:	قيمة Z المحسوبة	قيمة مستوى الدلالة	دلالة الفروق
زيركونيا	(4-2) دورات خبز	-2.449	0.014	توجد فروق دالة
	(6-2) دورات خبز	-2.646	0.008	توجد فروق دالة
	(6-4) دورات خبز	-1.000	0.317	لا توجد فروق دالة
خزف زجاجي e.max	(4-2) دورات خبز	-1.000	0.317	لا توجد فروق دالة
	(6-2) دورات خبز	-2.828	0.005	توجد فروق دالة
	(6-4) دورات خبز	-2.646	0.008	توجد فروق دالة

يبين الجدول أعلاه أن قيمة مستوى الدلالة أصغر من القيمة 0.05 عند المقارنة في درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي بين المرحلة (بعد دورتي خَبْر) وكل من المرحلتين المدروستين (بعد 4 دورات خَبْر، بعد 6 دورات خَبْر) في مجموعة الخزف زيكونيا، وعند المقارنة في درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي بين المرحلة (بعد 6 دورات خَبْر) وكل من المرحلتين المدروستين (بعد دورتي خَبْر، بعد 4 دورات خَبْر) في مجموعة الخزف الزجاجي e.max، أي أنه عند مستوى الثقة 95% توجد فروق دالة إحصائية في تكرارات درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي بين المراحل المذكورة في عينة البحث، وبدراسة قيم متوسطات الرتب نستنتج أن درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي في كل من المرحلتين (بعد 4 دورات خَبْر، بعد 6 دورات خَبْر) كانت أقل منها في المرحلة (بعد دورتي خَبْر) في مجموعة الخزف زيكونيا، ونستنتج أن درجة القبول السريري للتغير اللوني الأولي في المرحلة (بعد 6 دورات خَبْر) كانت أقل منها في كل من المرحلتين (بعد دورتي خَبْر، بعد 4 دورات خَبْر) في مجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث.

أما بالنسبة لباقي المقارنات الثنائية المدروسة فيلاحظ أن قيمة مستوى الدلالة أكبر بكثير من القيمة 0.05، أي أنه عند مستوى الثقة 95% لا توجد فروق ثنائية دالة إحصائية في متوسط التغير اللوني الأولي بين المرحلتين (4-6) دورات خَبْر، في مجموعة الخزف زيكونيا، وكذلك لا توجد فروق ثنائية دالة إحصائية في متوسط التغير اللوني الأولي بين المرحلتين (2-4) دورات خَبْر في مجموعة الخزف الزجاجي e.max في عينة البحث.

الباب الرابع

المناقشة

Discussion

4-1: مناقشة فكرة البحث

تستخدم التعويضات الخزفية الكاملة الخالية من المعدن بشكل واسع في طب الأسنان الحديث بسبب خواصها البصرية والتجميلية الممتازة، إلا أن الحصول على انسجام وتوافق لوني للتعويض الخزفي مع الأسنان الطبيعية المجاورة يُعد من أهم التحديات التي تواجه طبيب الأسنان لضمان النجاح السريري (Uludag et al., 2007)، فاللون النهائي للتعويض الخزفي قد يتأثر بمجموعة من العوامل وخصوصاً خلال مراحل التصنيع المخبرية مثل عدد دورات خبز الخزف، فقد يضطر طبيب الأسنان أحياناً إلى إجراء بعض التعديلات الشكلية على التعويضات الخزفية، الأمر الذي يتطلب إجراء دورات خبز إضافية لهذه التعويضات مما قد يسبب تغيرات لونية تؤثر على الناحية الجمالية، ومن هنا كانت فكرة هذا البحث الذي يهدف إلى دراسة تأثير تكرار خبز الخزف في التغير اللوني لأنظمة الخزف الكامل المصنوعة من الخزف الزجاجي المقوى ببلورات ثنائي سيليكات الليثيوم (IPS e.max press) لشركة (Ivoclar Vivadent)، ومن الخزف متعدد البلورات المعتمد على الزركونيا (DD Bio ZW) لشركة (Dental direct).

4-2: مناقشة المواد والطرائق

- تألفت عينة البحث من 20 قرصاً خزفياً قسمت إلى مجموعتين متساويتين ($n=10$) بحسب نوع مادة الهيكل الخزفي (زيركونيا أو خزف زجاجي e.max Press)، وقد تم اختيار حجم العينة بناءً على الدراسات السابقة المشابهة مثل (Ozturk et al., 2008, Celik et al., 2008).
- تم تصنيع مفردات العينة بشكل أقراص ذات قُطرٍ وثخانةٍ منتظمةٍ حيث تستخدم العينات القرصية عادةً في أبحاث قياس نعومة السطح والتغير اللوني (Yilmaz et al., 2014) لأنها تتميز بدقة أكبر عند المقارنة مع القياسات التي تتم على العينات التي تكون بشكل الأسنان (Celik et al., 2008).

- صنعت الأقراص بقطر 8 ملم ليكون أكبر من قطر رأس الجهاز المستخدم لقياس اللون VITA Easyshade* Compact الذي يبلغ قطره حوالي 5 ملم، وذلك بهدف التقليل من الأثر السلبي لظاهرة الضياع الحفافي edge loss، والتي يقصد بها أن جزءاً من ضوء الجهاز المرسل إلى القرص الخزفي يتجه نحو أطراف القرص دون أن يتم امتصاصه مما يؤثر سلباً على دقة القياسات اللونية (Bolt et al., 1994)، ولذلك فقد اقترحت الدراسات أن تكون الأقراص بقطر أكبر من قطر رأس الجهاز (Ragain and Johnston, 2001 , Yilmaz et al., 2011).

- صنعت الأقراص بتقنية بناء الطبقات layering technique وهي الطريقة الأكثر شيوعاً في التعويضات الخزفية الكاملة وتعطي أفضل النتائج التجميلية (Barizon, 2011).
- تم تصنيع الأقراص بثخانة كلية تبلغ 1.5 ملم، وهي الثخانة الأكثر مقاربةً لأغلب الحالات السريرية، حيث ينصح عادةً بصنع التعويضات الخزفية الكاملة الخلفية بثخانة 1.5-2 ملم لمقاومة القوى الإطباقية في المنطقة الخلفية (Jiang et al., 2010)، وبشكلٍ عامٍّ فإن التعويضات الخزفية الخالية من المعدن التي تصنع بتقنية بناء الطبقات تتكون من طبقتين (Jalali et al., 2010) :

1- الهيكل الأساسي (core) الذي يكون عادةً بثخانة (0.5-1) ملم لدعم الخزف المغطي.

2- الخزف المغطي (العاجي والمينائي) يكون بثخانة (1-1.5) ملم لإعطاء السن لونه وشكله النهائي.

- تم تصنيع الهيكل الخزفي للأقراص في كلتا المجموعتين بثخانة 0.5 ملم باستخدام مادتين مختلفتين:

1- مصبوبات خزفية IPS e.max press:

إذ يمتلك هذا الخزف خصائص جمالية ممتازة وثباتاً لونياً جيداً (Turgut and Bagis, 2011) جعلته يتصدر أنواع الخزف المستخدم في صناعة الوجوه التجميلية والتيجان الخزفية الكاملة للتعويض عن الأسنان الأمامية والخلفية، كما سمحت خواصه الميكانيكية الجيدة باستخدامه في صنع الجسور الثابتة القصيرة في المنطقة الأمامية وحتى منطقة الضواحك (Stappert et al., 2006)، واستخدمت

المصبوبات ذات الظلالية المتوسطة MO1 التي تستخدم عادةً مع تقنية بناء الطبقات بسبب قدرتها على تغطية التصبغات السنية الخفيفة دون التأثير على الشفافية النهائية للتعويض (Al-Dwairi et al., 2013).

2- بلوكات زيركونيا (DD Bio ZW):

فقد ازداد الاهتمام في السنوات الأخيرة بالزيركونيا المستقرة جزئياً بالإيتريوم (3Y-TZP) كمادة تعويضية بسبب ما تمتاز به من خواص ميكانيكية عالية (Christensen and Ploeger, 2010) وتقبل حيوي جيد (Scarano et al., 2003) إضافة إلى خواصها التجميلية الممتازة مقارنةً مع التعويضات الخزفية المعدنية (Conrad et al., 2007)، وتم استخدام بلوكات زيركونيا (DD Bio ZW) غير مكتملة التلبيد، وهو النوع الأكثر استخداماً في طب الأسنان بسبب سهولة نحته، ولم يتم تلوين الأقراص الزيركونية لأن ذلك يمكن أن يسبب تناقصاً في شفافية التعويض الخزفي (Tuncel et al., 2013).

- استخدم الخزف الزجاجي IPS e.max Ceram كخزف بناءً يغطي الهيكل الأساسي للأقراص في كلتا المجموعتين، وهو خزف زجاجي قدمته شركة Ivoclar Vivadent كخزف مغطّ تجميلي لجميع أنواع الهياكل الخزفية، فهو يمتلك خصائص بصرية ممتازة تتشابه إلى حد كبير مع الأسنان الطبيعية بفضل احتوائه على بلورات فلور الأباتيت التي تملك مؤشر انكسار ضوئي refractive index مشابه لميناء الأسنان الطبيعية.

- استخدم الخزف المغطي بلون A1 كونه من أكثر الألوان التي استخدمت في دراسات التغير اللوني السابقة (Ozturk et al., 2008 , Bachhav and Aras, 2011)، حيث تبلغ نسبة الاختيارات السريرية من الفئة اللونية A حسب دليل فيتا التقليدي حوالي 65% على الأقل (Chiche and Pinault, 1994).

- قيسَت المعاملات اللونية الثلاث L^*a^*b للأقراص بعد خبزة التزجيج التي اعتبرت النقطة المرجعية لقياس اللون الأولي، ثم أعيد خبز الأقراص لست دوراتٍ إضافية وقيست المعاملات اللونية وقيم التغير اللوني لكل قرصٍ خزفيٍّ في كلٍّ من دورات الخبز (2-4-6)، فالتعويضات الخزفية الكاملة التي تصنع بتقنية بناء الطبقات تحتاج عادةً إلى 3 دوراتٍ لخبز الخزف المغطي بعد تجهيز الهيكل الأساسي (دورة لخبز الخزف العاجي، دورة لخبز الخزف المينائي، دورةٌ ثالثةٌ للتزجيج) (Jalali et al., 2010). وفي الدراسات السابقة تم اعتبار دورة الخبز الثالثة أيضاً كنقطةٍ مرجعيةٍ لقياس اللون الأولي قبل تكرار الخبز لأربع دوراتٍ فقط كما في دراستي (Uludag et al., 2007)، (Al-Dwairi et al., 2013)، أو تكرار الخبز لست دوراتٍ إضافيةً مثل دراسات (Celik et al., 2008)، (Ozturk et al., 2008)، (Sahin et al., 2010)، (Bachhav and Aras, 2011)، ثم قيسَت المعاملات اللونية وقيم التغير اللوني في كلٍّ من دورات الخبز (5-7-9) التي تقابل دورات الخبز (2-4-6) في دراستنا.
- تم استخدام جهاز قياس اللون الإلكتروني VITA Easyshade* Compact وهو أحد أنواع مقاييس الطيف الضوئي spectrophotometers، حيث يستخدم هذا الجهاز بشكلٍ واسعٍ في الأبحاث السنية المتعلقة باللون، فهو يمتاز بسهولة استخدامه وبدقته العالية دون أن يتأثر بظروف الإضاءة المحيطة (Chu et al., 2004)، كما يمتلك القدرة على عرض نتائج القياس اللوني وفق أدلة اللون (VITAPAN classical) و (VITA 3D-MASTER) مع إمكانية عرضها وفق نظام اللون الكمي $L^*a^*b^*$ CIE.
- تم أخذ 3 قياساتٍ لونيةٍ لكل قرصٍ في كل مرحلةٍ ثم أخذ معدلها الوسطي، وهو الإجراء المتبع عادةً في الدراسات اللونية (Ozturk et al., 2008 , Bachhav and Aras, 2011)، وأعيدت معايرة رأس الجهاز بعد إجراء القياسات الثلاثة لكل قرصٍ خزفيٍّ بهدف الحصول على دقةٍ أكبر في النتائج.

- تم عرض نتائج القياس وفق نظام اللون الكمي $CIE L^*a^*b^*$ ، وهو النظام المستخدم بشكل أساسي في الأبحاث المتعلقة باللون في طب الأسنان، حيث يمتاز هذا النظام بقدرته على تمييز التغيرات اللونية حتى لو كانت ذات قيم صغيرة، وتحديد ما إذا كانت هذه التغيرات قابلة للتمييز من قبل الشخص الفاحص (Al-Dwairi et al., 2013).
- تم اعتماد القيمة 3.7 كحد أعلى لقيم التغير اللوني المقبول من الناحية السريرية، وهو المعيار الذي اتفقت عليه أغلب الدراسات اللونية السابقة، إذ أوضحت هذه الدراسات أن العين البشرية لا تستطيع تمييز التغير اللوني عندما تكون $(\Delta E > 1)$ وبالتالي يمكن اعتباره تطابقاً لونياً، بينما تستطيع تمييز التغير اللوني بنسبة 50% عندما تكون $(\Delta E > 1)$ والذي يمكن اعتباره تغيراً لونياً مقبولاً من الناحية السريرية بسبب وجود مجموعة من المتغيرات والظروف السريرية غير المضبوطة. (Celik et al., 2008, Ozturk et al., 2008, Al-Dwairi et al., 2013)

3-4: مناقشة نتائج الدراسة الإحصائية:

تدعم نتائج هذه الدراسة فرضية أن اللون النهائي للتعويضات الخزفية الخالية من المعدن يتأثر بتكرار الخبز، فقد تغيرت قيم كل من المعاملات اللونية (L^* , a^* , b^*) بازدياد عدد دورات الخبز (2-4-6) مرات في المجموعتين المدروستين (مجموعة الخزف الزجاجي e.max Press ومجموعة الزيركونيا). حيث تناقصت قيم المعامل اللوني **b** (يمثل محور اللونين الأزرق والأصفر) في عينات الخزف الزجاجي e.max Press فظهرت الأقراص بلون أقل اصفراراً ولم تتأثر بشكل جوهري في مجموعة الزيركونيا. كما تناقصت قيم المعامل اللوني **a** (يمثل محور اللونين الأخضر والأحمر) فظهرت الأقراص بلون مائل للأخضر في كلتا مجموعتي الخزف المدروستين. أما قيم المعامل اللوني **L** (يمثل درجة السطوع) فقد ازدادت تدريجياً بازدياد عدد دورات الخبز فظهرت الأقراص بلون أفتح في كلتا مجموعتي الخزف المدروستين.

وعلى الرغم من أن قيم التغير اللوني كانت ضمن الحدود المقبولة سريرياً ($\Delta E < 3.7$) في جميع المراحل، إلا أن التغيرات اللونية في مجموعة الزيركونيا كانت أسرع حدوثاً، حيث حصلت النسبة الأكبر للتغير مباشرة بعد البدء بتكرار الخبز وحتى دورة الخبز الرابعة ($\Delta E = 1.670$)، لتصل إلى قيمتها الأعلى بعد دورة الخبز السادسة ($\Delta E = 1.783$)، أما في مجموعة الخزف الزجاجي e.max Press فقد حصلت النسبة الأكبر للتغير بعد دورة الخبز الرابعة لتصل إلى قيمتها الأعلى بعد دورة الخبز السادسة ($\Delta E = 1.152$).

يمكن تفسير هذه التغيرات اللونية بعد تكرار خبز الأقراص الخزفية بأن التعرض المتكرر للحرارة قد يسبب تغيراتٍ على المستوى البلوري للمادة الخزفية، الأمر الذي يؤثر سلباً على الخواص البصرية للأقراص، حيث أن شفافية التعويضات الخزفية الكاملة الخالية من المعدن تعتمد بشكلٍ أساسي على التركيب الكيميائي وعلى نسبة وحجم وشكل البلورات في الهيكل الأساسي وفي الخزف المغطى، لأن ذلك يؤثر على نسبة مرور الضوء أو امتصاصه أو انعكاسه عن سطح التعويض الخزفي (Barath et al., 2003, Baldissara et al., 2010).

وتُعدّ شفافية الهيكل الداخلي core للتعويضات الخزفية الكاملة العامل الأكثر تأثيراً في الخواص التجميلية للتعويضات الخزفية ويجب أخذه بالحسبان عند اختيار مادة التعويض (Heffernan et al., 2002a)، فالخزف الزجاجي (IPS e.max press) الذي استخدم لصناعة الهياكل الأساسية لأقراص المجموعة الأولى يمتاز بشفافيةٍ عاليةٍ على الرغم من محتواه العالي (حوالي 70%) من بلورات ثنائي سيليكات الليثيوم ذات الشكل الإبري والتي يبلغ طولها حوالي 3-6 ميكرونات، حيث تمتلك هذه البلورات مؤشر انعكاسٍ refractive index منخفضٍ يعزز من شفافية المادة الخزفية ويحسن خصائصها البصرية (Kelly, 2008).

أما بلوكات الزركونيا المستخدمة لصناعة الهياكل الأساسية لأقراص المجموعة الثانية فهي بلوكات غير كاملة التلبيد من نوع الزركونيا المستقرة جزئياً بالإيتريوم، و تتكون من 95% أوكسيد الزركونيوم ZrO_2 ، والباقي أكسيد الإيتريوم Y_2O_3 وأكسيد الألمنيوم Al_2O_3 مع بعض الأكاسيد الأخرى، وتتأثر شفافية التعويضات الزركونية بشكل عام بعدة عوامل أهمها نوع ونسبة المواد الداخلة في التركيب الكيميائي (Casolco et al., 2008)، حرارة التلبيد sintering (Jiang et al., 2011)، وطريقة المعالجة الحرارية أثناء تصنيع البلوكات (Yang et al., 2010)، حيث تؤثر هذه العوامل بشكل مباشر على كثافة المادة ومساميتها وعلى حجم الجزيئات grain size (Janney et al., 1992)، وقد أشارت الدراسات إلى أن حجم الجزيئات الصغير يحسن شفافية الزركونيا ويحسن خواصها الميكانيكية أيضاً (Casolco et al., 2008, Yang et al., 2010).

وقد افترضت العديد من الدراسات أن تركيب مادة الهيكل الأساسي للتعويضات الخزفية الكاملة الخالية من المعدن يمكن أن يتأثر بتكرار الخبز (Kelly et al., 1996)، وبالتالي فإن التغير الذي قد يطرأ على حجم وشكل هذه البلورات نتيجة لتكرار الخبز قد يؤثر في قرينة الانكسار الضوئي لهذه البلورات فتختلف نسبة الضوء المتبعثر أو الممتص أو المنعكس عن سطح التعويض الخزفي مما يسبب اختلافاً في الشفافية (Heffernan et al., 2002a).

أما الخزف المغطى IPS e.max press فهو خزف زجاجي يحوي بلورات فلور الأباتيت fluorapatite $Ca_5(PO_4)_3$ التي تتفاوت في الحجم، وتكون عادةً أقل من 300 نانومتر طولاً و 100 نانومتر قطراً، إلا أن هذا الحجم قد يزداد بتأثير الحرارة من خلال عملية إعادة التبلور recrystallization ليصل حجمها إلى حوالي 2-5 ميكرومتر طولاً و 300 نانومتر قطراً، مما يؤثر أيضاً على شفافية وظلالية التعويض الخزفي عموماً، إذ تلعب هذه البلورات الدور الأساسي في الخواص البصرية للخزف المغطى من خلال انعكاس وتبعثر الضوء الناتج عن الحجم المتفاوت لهذه البلورات.

يضاف إلى ما سبق أن التعرض المتكرر للحرارة خلال دورات الخبز الإضافية قد يسبب تفككاً جزئياً للأكاسيد اللونية المعدنية التي تستخدم كأصبغة لونية في الخزف المغطى، الأمر الذي يمكن أن يسبب تغييراً في اللون النهائي للتعويض الخزفي، فقد أشارت العديد من الدراسات إلى أن بعض الأكاسيد اللونية المعدنية تتسم بعدم الاستقرار اللوني عند تعرضها لدورات خبز إضافية، وتُعد الأصبغة البرتقالية والصفراء الأقل استقراراً بالمقارنة مع باقي الأصبغة اللونية عند خبزها حتى لو كانت درجات الحرارة موافقة لتعليمات الشركات المنتجة (Crispin et al., 1991, Lund and Piotrowski, 1992).

كما أن التعرض المتكرر للحرارة خلال دورات الخبز الإضافية قد يؤثر على طبقة التزجيج التي تعطي التعويض نعومته وسطحه الأملس، الأمر الذي قد يؤثر بشكل مباشر على مقدار انعكاس الضوء أو امتصاصه وبالتالي على اللون النهائي للتعويض الخزفي (Barghi, 1982). فقد وُجد أن اللون النهائي للتعويض الخزفي يتأثر بنعومته السطحية (Yilmaz and Özkan, 2010)، وأن التغيرات الشكلية التي تحصل على سطح التعويض بعد تكرار الخبز تؤثر في قيم المعامل اللوني L خصوصاً، حيث تكون قيمة المعامل اللوني L في السطوح غير المزججة أكبر من قيمتها في السطوح المزججة (Kim et al., 2003).

4-4: المقارنة مع الدراسات السابقة:

- توافقت نتائج هذه الدراسة مع نتائج دراسة (Uludag et al., 2007) الذي وجد أن تكرار الخبز يسبب تغيرات لونية ضمن الحدود المقبولة سريرياً، واختلفت النتائج في اتجاه التغير الحاصل للمعاملات اللونية وقد يكون السبب في ذلك هو اختلاف أنظمة الخزف المستخدمة أو بسبب اختلاف الجهاز المستخدم لقياس اللون.
- توافقت نتائج هذه الدراسة مع نتائج دراسة (Celik et al., 2008) الذي وجد أن تكرار خبز التعويضات الزيركونية يسبب تغيرات لونية ضمن الحدود المقبولة سريرياً، واتفقت النتائج أيضاً من حيث ازدياد قيمة L

وانخفاض قيمة a ولكنها اختلفت في قيم b ، وقد يكون السبب هو أن الباحث استخدم أقراصاً بثخانة هيكل أساسي 1 ملم .

- توافقت نتائج هذه الدراسة مع نتائج دراسة (Ozturk et al., 2008) الذي استنتج حدوث تغيرات لونية مقبولة سريرياً في عينات الزيركونيا، واختلفت النتائج في عينات الخزف الزجاجي حيث وجد أن التغيرات اللونية تجاوزت حدود القبول السريري وقد يكون ذلك بسبب أن الباحث استخدم أقراصاً بثخانة هيكل أساسي 1 ملم، وبقطر 4 ملم وهو أصغر من قطر رأس الجهاز المستخدم لقياس اللون مما قد يسبب عدم دقة في نتائج القياس بسبب ظاهرة الضياع الحفافي edge-loss التي تزداد إذا كانت المادة الخزفية ذات شفافية عالية مثل الخزف الزجاجي.
- توافقت نتائج هذه الدراسة مع دراسة (Sahin et al., 2010) حيث كانت قيم التغير اللوني مقبولة سريرياً على الرغم من أن الباحث استخدم نظاماً خزفياً مختلفاً.
- توافقت نتائج هذه الدراسة مع نتائج دراسة (Bachhav and Aras, 2011) حيث كانت قيم التغير اللوني مقبولة سريرياً بعد تكرار خبز التعويضات الزيركونية.
- توافقت نتائج هذه الدراسة مع نتائج دراسة (Al-Dwairi et al., 2013) حيث كانت قيم التغير اللوني مقبولة سريرياً بعد تكرار خبز عينات الخزف الزجاجي.

4-5: محددات البحث

تتعدد العوامل التي تؤثر على لون التعويضات الخزفية الكاملة وتتداخل فيما بينها بشكل كبير، مما يجعل من الصعب تحديد السبب الأساسي للتغيرات اللونية الحاصلة بعد تكرار الخبز بشكل دقيق، فقد تم في هذا البحث المخبري دراسة مقدار التغير اللوني بعد تكرار الخبز بالاعتماد على قيم المعاملات اللونية الثلاث L^*a^*b ، ولم يتم التطرق إلى دراسة تأثير تكرار الخبز على الشفافية التي يمكن اعتبارها البعد الرابع للون وربما الأكثر أهمية في طب الأسنان، كما أن استخدام العينات القرصية بلون واحد فقط ومن

دون أن يتم إلصاقها لا ينقل الواقع السريري في فم المريض، مما يجعل من الضروري إجراء دراسات سريرية على دعامات ذات ألوان مختلفة وبعد استخدام إسمنتات الإلصاق التجريبية لمعرفة المحصلة العامة للتغير اللوني للتعويضات الخزفية الكاملة.

وعلى الرغم من دقة جهاز VITA Easyshade* Compact المستعمل لقياس اللون إلا أنه قد وجد تفاوت بسيط في القراءات اللونية الثلاث لكل قرص خزفي، ولوحظ تشتت القياسات بشكل أكبر عندما لا تتم معايرة رأس الجهاز بشكل دوري، ولذلك تم الاعتماد في هذه الدراسة على إعادة معايرة رأس الجهاز بعد الانتهاء من إجراء القياسات الثلاثة للمعاملات اللونية لكل قرص خزفي في كل مرحلة، في حين لجأت الدراسات السابقة إلى معايرة رأس الجهاز بعد الانتهاء من قياس المعاملات اللونية لكل مجموعة أقراص، كما أن تفاوت أبعاد الأقراص المستخدمة في الأبحاث السابقة واختلاف ألوان الخزف المغطي أدى إلى صعوبة في مقارنة النتائج وتصنيفها بشكل دقيق، ولذلك فقد وجدت بعض الاختلافات في مقدار واتجاه التغير في المعاملات اللونية مع هذه الدراسات على الرغم من الإجماع على أن التغيرات اللونية كانت ضمن الحدود المقبولة سريرياً.

الباب الخامس

الاستنتاجات

Conclusions

ضمن محددات هذه الدراسة يمكن أن نستنتج ما يلي:

1. يؤثر تكرار خبز الخزف في قيم المعاملات اللونية الثلاث L^*a^*b ، مما يسبب تغيراً في اللون النهائي للتعويضات الخزفية الكاملة المصنوعة من الخزف الزجاجي المقوى ببلورات ثنائي سيليكات الليثيوم (IPS e.max Press) ومن الخزف متعدد البلورات المعتمد على الزركونيا (DD Bio ZW).
2. يزداد التغير اللوني تدريجياً بزيادة عدد دورات الخبز لنوعي الخزف المستخدم، وكانت جميع قيم التغير اللوني ضمن الحدود المقبولة سريراً ($\Delta E < 3.7$).
3. كانت قيم التغير اللوني الناتج عن تكرار الخبز للخزف المعتمد على الزركونيا (DD Bio ZW) أكبر بالمقارنة مع الخزف الزجاجي (IPS e.max Press) في جميع المراحل المدروسة بعد (2-4-6) دورات خبز.

الباب السادس

المقترحات والتوصيات

Suggestions & Recommendations

6-1: مقترحات لأبحاث مستقبلية

1. إجراء دراسةٍ مشابهةٍ باستخدام ثخاناتٍ وألوانٍ مختلفةٍ من خزف البناء المغطى.
2. إجراء دراسةٍ مشابهةٍ باستخدام ظلالياتٍ مختلفةٍ من خزف IPS e.max Press.
3. إجراء دراسةٍ لتحري تأثير تكرار الخبز في التغير اللوني للتعويضات الزيركونية بعد تلوين هيكها الأساسي بألوانٍ مختلفةٍ.
4. إجراء دراسةٍ لتحري تأثير تكرار الخبز في التغير اللوني للتعويضات الخزفية الكاملة المصنعة بتقنية التلوين staining technique.

6-2: التوصيات

1. يوصى فني الأسنان بتجنب تكرار خَبز التعويضات الخزفية الكاملة قدر الإمكان خلال مرحلة التصنيع المخبرية وخصوصاً التعويضات الزيركونية.
2. يوصى طبيب الأسنان بإجراء تجربةٍ للتعويضات الخزفية الكاملة بشكل روتيني وإجراء التعديلات الشكلية المطلوبة قبل مرحلة التزجيج بهدف التقليل من تكرار الخَبز وتأثيره الضار على اللون النهائي للتعويض.
3. يوصى طبيب الأسنان باستخدام التعويضات الخزفية الزجاجية IPS e.max press كونها تمتاز بثبات لوني أفضل من التعويضات الزيركونية.

الباب السابع

المراجع

References

- Al-Dwairi, Z. N., Al-Hamad, K. Q., Khasawneh, M. I. & Lynch, E. 2013. Influence of dentine thickness and repeated firing on the colour of IPS e.max press. *Eur J Prosthodont Restor Dent*, 21, 88-94.
- Anusavice, K. J., Shen, C. & Rawls, H. R. 2013. *Phillips' science of dental materials*, Elsevier Health Sciences.
- Bachhav, V. C. & Aras, M. A. 2011. The effect of ceramic thickness and number of firings on the color of a zirconium oxide based all ceramic system fabricated using CAD/CAM technology. *J Adv Prosthodont*, 3, 57-62.
- Baldissara, P., Llukacej, A., Ciocca, L., Valandro, F. L. & Scotti, R. 2010. Translucency of zirconia copings made with different CAD/CAM systems. *J Prosthet Dent*, 104, 6-12.
- Barath, V. S., Faber, F.-J., Westland, S. & Niedermeier, W. 2003. Spectrophotometric analysis of all-ceramic materials and their interaction with luting agents and different backgrounds. *Advances in dental research*, 17, 55-60.
- Barghi, N. 1982. Color and glaze: effects of repeated firings. *J Prosthet Dent*, 47, 393-395.
- Barizon, K. T. L. 2011. Relative translucency of ceramic systems for porcelain veneers.
- Bolt, R. A., Ten Bosch, J. J. & Coops, J. C. 1994. Influence of window size in small-window colour measurement, particularly of teeth. *Physics in Medicine and Biology*, 39, 1133.
- Casolco, S., Xu, J. & Garay, J. 2008. Transparent/translucent polycrystalline nanostructured yttria stabilized zirconia with varying colors. *Scripta Materialia*, 58, 516-519.
- Celik, G., Uludag, B., Usumez, A., Sahin, V., Ozturk, O. & Goktug, G. 2008. The effect of repeated firings on the color of an all-ceramic system with two different veneering porcelain shades. *J Prosthet Dent*, 99, 203-8.
- Chiche, G. J. & Pinault, A. 1994. *Esthetics of anterior fixed prosthodontics*, Quintessence Pub Co.
- Christel, P., Meunier, A., Heller, M., Torre, J. & Peille, C. 1989. Mechanical properties and short-term in vivo evaluation of yttrium-oxide-partially-stabilized zirconia. *J Biomed Mater Res*, 23, 45-61.
- Christensen, R. P. & Ploeger, B. J. 2010. A clinical comparison of zirconia, metal and alumina fixed-prosthesis frameworks veneered with layered or pressed ceramic: a three-year report. *The Journal of the American Dental Association*, 141, 1317-1329.
- Chu, S. J., Devigus, A. & Mieszk, A. J. 2004. *Fundamentals of color: shade matching and communication in esthetic dentistry*, Quintessence Publishing Company.
- Conrad, H. J., Seong, W.-J. & Pesun, I. J. 2007. Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: a systematic review. *J Prosthet Dent*, 98, 389-404.
- Crispin, B. J., Seghi, R. R. & Globe, H. 1991. Effect of different metal ceramic alloys on the color of opaque and dentin porcelain. *J Prosthet Dent*, 65, 351-356.

- Denry, I. & Kelly, J. R. 2008. State of the art of zirconia for dental applications. *Dent Mater*, 24, 299-307.
- Dion, I., Bordenave, L., Lefebvre, F., Bareille, R., Baquey, C., Monties, J.-R. & Havlik, P. 1994. Physico-chemistry and cytotoxicity of ceramics. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 5, 18-24.
- Douglas, R. D. & Brewer, J. D. 1998. Acceptability of shade differences in metal ceramic crowns. *J Prosthet Dent*, 79, 254-260.
- Freedman, G. A. 2011. *Contemporary esthetic dentistry*, Elsevier Health Sciences.
- Ghinea, R., Pérez, M. M., Herrera, L. J., Rivas, M. J., Yebra, A. & Paravina, R. D. 2010. Color difference thresholds in dental ceramics. *J Dent*, 38, e57-e64.
- Gonuldas, F., Yılmaz, K. & Ozturk, C. 2014. The effect of repeated firings on the color change and surface roughness of dental ceramics. *J Adv Prosthodont*, 6, 309-316.
- Gürel, G. 2003. The science and art of porcelain laminate veneers. Baden-Baden. Quintessence Books.
- Haselton, D. R., Diaz-Arnold, A. M. & Hillis, S. L. 2000. Clinical assessment of high-strength all-ceramic crowns. *J Prosthet Dent*, 83, 396-401.
- Heffernan, M. J., Aquilino, S. A., Diaz-Arnold, A. M., Haselton, D. R., Stanford, C. M. & Vargas, M. A. 2002a. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part I: core materials. *J Prosthet Dent*, 88, 4-9.
- Heffernan, M. J., Aquilino, S. A., Diaz-Arnold, A. M., Haselton, D. R., Stanford, C. M. & Vargas, M. A. 2002b. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part II: core and veneer materials. *J Prosthet Dent*, 88, 10-15.
- Helvey, G. A. 2008. Zirconia and computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM) dentistry. *Inside Dentistry*, 4, 72-79.
- Ivoclarvivadent. Available: <http://www.ivoclarvivadent.us/emaxchangeseverything/system/>.
- Ivoclarvivadent, scientific documentation. IPS e.max Press 2007.
- Jalali, H., Alizadeh, E. S., Sadighpour, L., Shabestari, G. O. & Fard, M. 2010. The effect of background and ceramic thickness on the color of an all-ceramic restorative system. *Journal of the California Dental Association*, 38, 179-186.
- Janney, M. A., Calhoun, C. L. & Kimrey, H. D. 1992. Microwave Sintering of Solid Oxide Fuel Cell Materials: I, Zirconia-8 mol% Ytria. *Journal of the American Ceramic Society*, 75, 341-346.
- Jiang, L., Liao, Y., Wan, Q. & Li, W. 2011. Effects of sintering temperature and particle size on the translucency of zirconium dioxide dental ceramic. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 22, 2429-2435.

- Jiang, W., Bo, H., Yongchun, G. & Longxing, N. 2010. Stress distribution in molars restored with inlays or onlays with or without endodontic treatment: a three-dimensional finite element analysis. *J Prosthet Dent*, 103, 6-12.
- Jorgenson, M. W. & Goodkind, R. J. 1979. Spectrophotometric study of five porcelain shades relative to the dimensions of color, porcelain thickness, and repeated firings. *J Prosthet Dent*, 42, 96-105.
- Kelly, J. R. 2008. Dental ceramics. *The Journal of the American Dental Association*, 139, S4-S7.
- Kelly, J. R. & Denry, I. 2008. Stabilized zirconia as a structural ceramic: an overview. *Dent Mater*, 24, 289-98.
- Kelly, J. R., Nishimura, I. & Campbell, S. D. 1996. Ceramics in dentistry: historical roots and current perspectives. *J Prosthet Dent*, 75, 18-32.
- Khamverdi, Z. & Moshiri, Z. 2012. Zirconia: An Up-to-date Literature Review. *Avicenna Journal of Dental Research*, 4, 1-15.
- Kim, I.-J., Lee, Y.-K., Lim, B.-S. & Kim, C.-W. 2003. Effect of surface topography on the color of dental porcelain. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 14, 405-409.
- Kina, S. & Bruguera, A. 2008. *Invisible: esthetic ceramic restorations*, Artes Medicas.
- Lund, P. S. & Piotrowski, T. J. 1992. Color changes of porcelain surface colorants resulting from firing. *International Journal of Prosthodontics*, 5.
- Manicone, P. F., Iommetti, P. R. & Raffaelli, L. 2007. An overview of zirconia ceramics: basic properties and clinical applications. *J Dent*, 35, 819-826.
- Mclaren, E. A. & Cao, P. T. 2009. Ceramics in dentistry—part I: classes of materials. *Inside Dentistry*, 5, 94-103.
- Miyazaki, T., Hotta, Y., Kunii, J., Kuriyama, S. & Tamaki, Y. 2009. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dental materials journal*, 28, 44-56.
- Miyazaki, T., Nakamura, T., Matsumura, H., Ban, S. & Kobayashi, T. 2013. Current status of zirconia restoration. *Journal of prosthodontic research*, 57, 236-261.
- Munsellcoloursystem. Available: <http://www.britannica.com/science/color/images-videos/The-hue-value-and-chroma-coordinates-of-Munsells-colour-solid/1068>.
- O'brien, W. J., Kay, K.-S., Boenke, K. M. & Groh, C. 1991. Sources of color variation on firing porcelain. *Dental Materials*, 7, 170-173.
- O'brien, W. 2008. *Dental Materials and Their Selection*, Chicago, Quintessence Publishing.
- Ozturk, O., Uludag, B., Usumez, A., Sahin, V. & Celik, G. 2008. The effect of ceramic thickness and number of firings on the color of two all-ceramic systems. *J Prosthet Dent*, 100, 99-106.

- Piconi, C. & Maccauro, G. 1999. Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials*, 20, 1-25.
- Pilathadka, S., Vahalová, D. & Vosáhlo, T. 2007. The Zirconia: a new dental ceramic material. An overview. *Prague Med Rep*, 108, 5-12.
- Pires-De, F. D. C. P., Casemiro, L. A., Garcia, L. D. F. R. & Cruvinel, D. R. 2009. Color stability of dental ceramics submitted to artificial accelerated aging after repeated firings. *J Prosthet Dent*, 101, 13-18.
- Pocketdentistry. 2016. Available: <http://pocketdentistry.com/11-restorative-materials-ceramics/>.
- Powers, J. M. & Wataha, J. C. 2014. *Dental Materials-: Properties and Manipulation*, Elsevier Health Sciences.
- Ragain, J. & Johnston, W. M. 2001. Accuracy of Kubelka-Munk reflectance theory applied to human dentin and enamel. *Journal of Dental Research*, 80, 449-452.
- Ragain, J. C. & Johnston, W. M. 2000. Color acceptance of direct dental restorative materials by human observers. *Color Research & Application*, 25, 278-285.
- Raghavan, R. N. 2012. *Ceramics in Dentistry*, INTECH Open Access Publisher.
- Rimondini, L., Cerroni, L., Carrassi, A. & Torriceni, P. 2002. Bacterial colonization of zirconia ceramic surfaces: an in vitro and in vivo study. *International journal of oral & maxillofacial implants*, 17.
- Rosenstiel, L. 2006. Fujimoto. *Contemporary fixed prosthodontics*, 272-312.
- Sahin, V., Uludag, B., Usumez, A. & Ozkir, S. 2010. The effect of repeated firings on the color of an alumina ceramic system with two different veneering porcelain shades. *J Prosthet Dent*, 104, 372-378.
- Scarano, A., Di Carlo, F., Quaranta, M. & Piattelli, A. 2003. Bone response to zirconia ceramic implants: an experimental study in rabbits. *Journal of Oral Implantology*, 29, 8-12.
- Seghi, R. R., Johnston, W. M. & O'brien, W. 1986. Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems. *J Prosthet Dent*, 56, 35-40.
- Sikri, V. K. 2010. Color: Implications in dentistry. *Journal of conservative dentistry*, 13, 249.
- Spear, F. & Holloway, J. 2008. Which all-ceramic system is optimal for anterior esthetics? *The Journal of the American Dental Association*, 139, S19-S24.
- Stappert, C. F., Att, W., Gerds, T. & Strub, J. R. 2006. Fracture resistance of different partial-coverage ceramic molar restorations: An in vitro investigation. *The Journal of the American Dental Association*, 137, 514-522.
- Taira, M., Nomura, Y., Wakasa, K., Yamaki, M. & Matsui, A. 1990. Studies on fracture toughness of dental ceramics. *Journal of oral rehabilitation*, 17, 551-563.

- Tuncel, I., Eroglu, E., Sari, T. & Usumez, A. 2013. The effect of coloring liquids on the translucency of zirconia framework. *J Adv Prosthodont*, 5, 448-451.
- Tung, F. F., Goldstein, G. R., Jang, S. & Hittelman, E. 2002. The repeatability of an intraoral dental colorimeter. *J Prosthet Dent*, 88, 585-590.
- Turgut, S. & Bagis, B. 2011. Colour stability of laminate veneers: an in vitro study. *J Dent*, 39, e57-e64.
- Uludag, B., Usumez, A., Sahin, V., Eser, K. & Ercoban, E. 2007. The effect of ceramic thickness and number of firings on the color of ceramic systems: an in vitro study. *J Prosthet Dent*, 97, 25-31.
- Vichi, A., Corciolani, G., Davidson, C. L. & Ferrari, M. 2007. Color and opacity variations in three different resin-based composite products after UV aging. *International Dentistry South Africa*, 9, 58-66.
- Yang, D., Raj, R. & Conrad, H. 2010. Enhanced Sintering Rate of Zirconia (3Y-TZP) Through the Effect of a Weak dc Electric Field on Grain Growth. *Journal of the American Ceramic Society*, 93, 2935-2937.
- Yilmaz, K. & Özkan, P. 2010. Profilometer evaluation of the effect of various polishing methods on the surface roughness in dental ceramics of different structures subjected to repeated firings. *Quintessence International*, 41.

الملخص

خلفية البحث: قد يتأثر اللون النهائي للتعويضات الخزفية الكاملة بمجموعة من العوامل خلال مراحل التصنيع المخبرية، مما قد يسبب سوءاً في الانسجام اللوني بين التعويض الخزفي والأسنان الطبيعية المجاورة. يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير تكرار الخبز في الاستقرار اللوني للخزف الزجاجي المقوى ببلورات ثنائي سيليكات الليثيوم (IPS e.max press) وللخزف متعدد البلورات المعتمد على الزركونيا (DD Bio ZW).

المواد والطرائق: تألفت عينة البحث من 20 قرصاً خزفياً، بقطر 8 ملم، وبثخانة 1.5 ملم، بحيث تكون ثخانة الهيكل الخزفي الداخلي 0.5 ملم، وثخانة خزف البناء المغطي 1 ملم. قسمت العينة إلى مجموعتين ($n=10$) تبعاً لنوع الخزف المستخدم وتم تكرار الخبز (2-4-6) مرات، وقورنت النتائج مع اللون الأولي. قيسَت قيم المعاملات اللونية $L^*a^*b^*$ في كل مرحلة وفق نظام اللون الكمي ($CIE L^*a^*b^*$) باستخدام جهاز قياس اللون الإلكتروني (VITA Easyshade* Compact). وتمت الدراسة الإحصائية باستخدام برنامج SPSS-17 وتطبيق اختبار T للعينات المترابطة.

النتائج: تأثرت قيم المعاملات اللونية $L^*a^*b^*$ بتكرار الخبز (2-4-6) مرات، حيث ازدادت قيم L^* وتناقصت قيم a^* في كلتا المجموعتين، أما قيم b^* فقد تناقصت في مجموعة الخزف الزجاجي ولم تتأثر في مجموعة الزركونيا. كانت جميع قيم التغير اللوني ضمن الحدود المقبولة سريرياً ($\Delta E < 3.7$).

الاستنتاجات : ضمن محدوديات هذه الدراسة تم استنتاج أن تكرار خبز الخزف يؤثر على اللون النهائي للتعويضات الخزفية الخالية من المعدن.

الكلمات المفتاحية: الخزف السني، اللون، تقنية التصميم والتصنيع الحاسوبي.

Abstract

Background: Colour of All-ceramic restorations may be affected by the fabrication procedures which may cause colour mismatch between the restoration and the adjacent natural teeth. The purpose of this study was to evaluate the effects of repeated firings on the colour stability of lithium disilicate glass ceramic (IPS e.max Press) and zirconium-oxide (DD Bio ZW) all-ceramic systems.

Materials and Methods: Twenty disc-shaped specimens, 8 mm in diameter with a 0.5-mm core thickness, and 1-mm dentin ceramic thicknesses, were made from each of 2 ceramic systems (n=10). Repeated firings (2, 4, and 6) were performed, and the colour of the specimens was compared with the initial colour. Colour differences were measured using a spectrophotometer (VITA Easyshade* Compact), and data were expressed in CIE L*a*b system coordinates. Paired 2-tailed test was used.

Results: L*a*b* values of the ceramic systems were affected by the number of firings (2, 4 and 6 firings). L* values increased and a* values decreased for both ceramic systems. However, b* values decreased for (IPS e.max Press), but did not change for zirconia specimens. ΔE values were clinically acceptable ($\Delta E < 3.7$).

Conclusions: Within the limitations of this study, it is concluded that the colour of all-ceramic restorations is affected by repeated firings.

Keywords: Dental porcelain, colour, CAD/CAM.

الملخص

خلفية البحث: قد يتأثر اللون النهائي للتعويضات الخزفية الكاملة بمجموعة من العوامل خلال مراحل التصنيع المخبرية، مما قد يسبب سوءاً في الانسجام اللوني بين التعويض الخزفي والأسنان الطبيعية المجاورة. يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير تكرار الخبز في الاستقرار اللوني للخزف الزجاجي المقوى ببلورات ثنائي سيليكات الليثيوم (IPS e.max press) وللخزف متعدد البلورات المعتمد على الزركونيا (DD Bio ZW).

المواد والطرائق: تألفت عينة البحث من 20 قرصاً خزفياً، بقطر 8 ملم، وبثخانة 1.5 ملم، بحيث تكون ثخانة الهيكل الخزفي الداخلي 0.5 ملم، وثخانة خزف البناء المغطي 1 ملم. قسمت العينة إلى مجموعتين ($n=10$) تبعاً لنوع الخزف المستخدم وتم تكرار الخبز (2-4-6) مرات، وقورنت النتائج مع اللون الأولي. قيسَت قيم المعاملات اللونية $L^*a^*b^*$ في كل مرحلة وفق نظام اللون الكمي ($CIE L^*a^*b^*$) باستخدام جهاز قياس اللون الإلكتروني (VITA Easyshade* Compact). وتمت الدراسة الإحصائية باستخدام برنامج SPSS-17 وتطبيق اختبار T للعينات المترابطة.

النتائج: تأثرت قيم المعاملات اللونية $L^*a^*b^*$ بتكرار الخبز (2-4-6) مرات، حيث ازدادت قيم L^* وتناقصت قيم a^* في كلتا المجموعتين، أما قيم b^* فقد تناقصت في مجموعة الخزف الزجاجي ولم تتأثر في مجموعة الزركونيا. كانت جميع قيم التغير اللوني ضمن الحدود المقبولة سريرياً ($\Delta E < 3.7$).

الاستنتاجات: ضمن محدوديات هذه الدراسة تم استنتاج أن تكرار خبز الخزف يؤثر على اللون النهائي للتعويضات الخزفية الخالية من المعدن.

الكلمات المفتاحية: الخزف السني، اللون، تقنية التصميم والتصنيع الحاسوبي.

Abstract

Background: Colour of All-ceramic restorations may be affected by the fabrication procedures which may cause colour mismatch between the restoration and the adjacent natural teeth. The purpose of this study was to evaluate the effects of repeated firings on the colour stability of lithium disilicate glass ceramic (IPS e.max Press) and zirconium-oxide (DD Bio ZW) all-ceramic systems.

Materials and Methods: Twenty disc-shaped specimens, 8 mm in diameter with a 0.5-mm core thickness, and 1-mm dentin ceramic thicknesses, were made from each of 2 ceramic systems (n=10). Repeated firings (2, 4, and 6) were performed, and the colour of the specimens was compared with the initial colour. Colour differences were measured using a spectrophotometer (VITA Easyshade* Compact), and data were expressed in CIE L*a*b system coordinates. Paired 2-tailed test was used.

Results: L*a*b* values of the ceramic systems were affected by the number of firings (2, 4 and 6 firings). L* values increased and a* values decreased for both ceramic systems. However, b* values decreased for (IPS e.max Press), but did not change for zirconia specimens. ΔE values were clinically acceptable ($\Delta E < 3.7$).

Conclusions: Within the limitations of this study, it is concluded that the colour of all-ceramic restorations is affected by repeated firings.

Keywords: Dental porcelain, colour, CAD/CAM.