تطبيقات تكنولوجيا التصنيع التجميعي في طب الأسنان

ناريمان مرقا* أ. د .علاء سلوم**

(الإيداع: 31 كانون الثاني 2021، القبول: 11 نيسان 2021)

الملخص:

أصبح استخدام أنظمة التصنيع التجميعي في طب الأسنان ظاهرة منتشرة ، حيث تعرف تكنولوجيا التصنيع التجميعي بأنها تصنيع نموذج ثلاثي الأبعاد أو نموذج أولي عن طريق تركيب طبقات المواد الحيوية طبقة تلو طبقة في نمط محدد يمليه برنامج التصميم بمساعدة الكمبيوتر. بمساعدة هذه التكنولوجيا يمكن الحصول على منتجات دقيقة و بوقت سريع للاستخدام الطبي المباشر. في طب الأسنان المعاصر تم تطوير تقنيات التصنيع التجميعي المتشعبة لتصنيع التعويضيات الثابتة و الأجهزة التعويضية المتحركة و الأدلة الجراحية و الغرسات الفردية و الطوابع الإفرادية و النماذج التشريحية. من هذه التقنيات الطباعة الحجرية المجسمة SLA (stereolithography) و التلبيد الانتقائي بالليزر SLS (selective laser sintering) و الصهر الانتقائي بالليزر (SLM (selective laser melting و نمذجة الترسيب المنصهر fused deposition) (FDM modeling و الصهر الانتقائي بالحزمة الالكترونية (selective electron beam melting) SBEM . ومع ذلك فإن البيانات العلمية المتعلقة بهذه الطرائق ومبادئ العمل لا تزال غير كافية. تهدف هذه المراجعة الى دراسة تقنيات التصنيع التجميعي الشائعة في طب الأسنان التعويضي.

الكلمات المفتاحية : التصنيع التجميعي ، التصنيع بالازالة ، الطابعات ثلاثية الأبعاد، طب الأسنان .

*طالبة دراسات عليا (دكتوراه) – اختصاص التعويضات المتحركة – كلية طب الأسنان – جامعة دمشق .

**أستاذ في قسم التعويضات المتحركة – نائب العميد للشؤون العلمية في كلية طب الأسنان – جامعة دمشق .

Applications of Additive manufacturing technology in dentistry

Nariman Maraka * **Prof. Dr. Alaa'a Salloum** **

(Received: 31 January 2021, Accepted: 11 April 2021)

Abstract:

The use of additive manufacturing systems in dentistry has been a widespread phenomenon. Additive manufacturing technology is defined as the fabrication of a 3D model or prototype by agglomerating the biomaterials layer by layer in a specific pattern dictated by the computer-aided design software. With the aid of this technology; structures with superior are rapidly, precisely, and inexpensively fabricated for direct medical utilization. In contemporary dentistry, manifold additive manufacturing techniques have been developed for the fabrication of fixed prosthetic restorations, removable dentures, surgical guides, individualized implants, custom impression trays, and anatomical models. Of these; stereolithography(SLA), selective laser sintering(SLS), selective laser melting(SLM), fused deposition modeling(FDM), and electron beam melting(SEBM) are commonly used. However, scientific data regarding their material options and working principles are still insufficient. Therefore, the aim of this review is to study the common additive manufacturing techniques in prosthetic dentistry .

Keywords: additive manufacturing, Subtractive manufacturing, 3D printing, dentistry .

* Postgradguated student (PhD degree) – Department of Removable Prosthodontics– Faculty of Dentistry– Damascus university .

** Professor in the Department of Removable Prosthodontics – Vice Dean For Scientific Affairs Faculty of Dentistry - Damascus University .

1- المقدمة:

شهد العالم منذ بداية القرن 21 ثورة صناعية جديدة ، وهي ثورة التصنيع التجميعي متمثلة في الطابعات ثلاثية الابعاد والتي بدورها قللت من هدر المواد بنسبة قد تصل الى 100 % تقريباً و قللت أيضاً من زمن الانتاج (Tamimi et al., 2020) .الطباعة ثُلاثية الأبعاد تشمل عمليتَين رئيسيتَين هما التصنيع التجميعي(AM (Additive manufacturing و التصنيع بالازالة (SM (Subtractive manufacturing عن طريق التحكم العددي المحوسب CNC (Computer Numerical Control).التصنيع التجميعي الذي يُعرَف أيضاً بالتصنيع الإضافيّ أو الصنع السريع للنماذج الأولية هو تكنولوجيا مستخدمة لتصنيع الأجسام المادية عن طريق ترسيب طبقات رقيقة من المواد بعضها فوق البعض الآخر بناءً على وصف رقمي لتصميم المنتَج (Ian Gibson, 2015) .العملية المادية داخل أيّ آلة للتصنيع التجميعي تتكوّن من خطوتَين هما الإكساء و اللحام في المرحلة الأولى يجري مدّ طبقة رقيقة عادةً ماتتراوح سماكتها بين 0.03مليمتر و 0.2 مليمتر على السطح الذي يجري العمل عليه في المرحلة الثانية حيث يُستخدَم مصدر للطاقة مثل مصباح أو شعاع من الليزر، أو شعاعٍ من الإلكترونات لِلَحْمِ الطبقة الجديدة بالسطح الذي دونها يتبع ذلك في أغلب الأحيان عملية معالجة لاحقة، باستخدام تقنيات مثل الصَّقل، أو المجانسة، أو المعالجة (Petrovic et al., 2011) . و تركّز طرائق التصنيع التجميعي على إضافة طبقات من أجل إنشاء جسم ماديّ، بينما التصنيع بالازالة يشير إلى عمليات تشمل القَطع والحَفر والتفريز والخراطة، والتي تعمل عن طريق ازالة مواد من خامة صلبة من أجل صنع أشكال ومكوّنات بعد حصول عمليات الازالة هذه تجري معالجة مكونات التصنيع بالازالة أو تجميعها في منتَج نهائيّ (Petrick et al., 2013) . الى حد بعيد يمكن ان تكون الطابعات ثلاثية الأبعاد او التصنيع التجميعي واحدة من التقنيات المهمة المستخدمة في حياتنا اليومية , حيث يتم التركيز على دورها المستقبلي فقد تكون الطفرة التي تضع حدا نهائياً لعملية التصنيع التقليدية الحالية. فهي ستكون في المستقبل ذات أهمية كبيرة ، من حيث الصناعات و المنتجات ،و قد يصبح كل شئ تقريباً مطبوعاً بالطابعات ثلاثية الأبعاد ، فهي تستطيع العمل على كل الأحجام حتى طباعة جزء من اجزاء جسم الانسان،كما أن المواد المستخدمة في الطباعة متوفرة و سهلة التصنيع ، سواء كانت سائلة او مسحوق أو على شكل خيوط. يمكن استخدام التنقية في المجال الطبي ، وذلك لتقصير فترة العلاج للمريض ، سواء في زراعة أعضاء حيوية او لتخليصه من آلام الاسنان بصورة سريعة ، عبر طباعة التيجان السيراميكية وغرسات الأسنان و غيرها (Sun et al., 2012) (Yager et al., 2015) .ان الفكرة الأساسية المبكرة لتقنيات التصنيع التجميعي كانت تدور بشكل مباشر حول التحقق من النماذج الأولية ودراستها بعد انتاجها من حيث خواصها وتصميمها ومطابقتها للمنتج المطلوب . لقد أثبتت التقنيات المذكورة نجاحاً هائلا فقد انتقلت بشكل سريع من مرحلة إنتاج النماذج الأولية إلى مرحلة عمليات التجهيز النهائي للمنتجات . كان التصنيع بالازالة تكنولوجيا التصنيع الأكثر شيوعاً لقرون، و يظل طريقة مهمة ومفيدة في التصنيع .الا أنه يتصف ببعض المساوئ لدى مقارنته بالتكنولوجيات الناشئة في مجال التصنيع التجميعي، لأنه يهدر كثيراً من المواد، وله محدوديات فيما يتعلق بأنواع الهيكليات التي يمكن تشكيلها بهذه التقنية أما الميزة الايجابية فهي انتشاره بالنسبة لصناعاتٍ عديدة .علما ان العديد من المنتجات يتم إنشاؤها باستخدام طرائق التصنيع التي تعتمد الأسلوب التجميعي و الازالة معاً (الهجينة) (Ian Gibson, 2015) .

تطور تطبيقات الطابعات3D :

1- 1988 بناء النماذج الأولية السريعة . 2 - 1995 الصب السريع (عمل القوالب).

3-2002 دخول الطابعات 3D لعالم السيارات و الطائرات لعمل النماذج لاختبارها .

4- 2009 طباعة أجزاء تعويضية للعظام و المفاصل و دخولها لطب الأسنان.

5– 2011 صناعة المجوهرات و صناعة الملابس و ادوات التمثيل في صناعات الافلام و
و دخولها عالم الفضاء في صناعات المحركات النفاثة .
6 – 2014 الصناعات الغذائية المتمثلة في الحلويات و السكاكر.
7 – 2015 عمل دوائر الكترونية متعددة الطبقات ، و دخولها عالم الانشاءات و البناء.
(Um, 2015) (Peña et al., 2014) (Zhai et al., 2014) (Weber et al., 2013) (Dolenc, 1994)
(Nesic et al., 2020) (Sears et al., 2016)

الطابعات ثلاثية الأبعاد

ما يميز الطابعات ثلاثية الأبعاد عن عمليات التصنيع التقليدية هي طريقة عملها حيث انها تختلف جذرياً عن الآلات التي تقطع و تشكل المعادن ،فهي عملية تصنيع تجميعي تعتمد على تكنولوجيا متقدمة في التصنيع تبرمج يدوياً في كل مرة و ليست ذات نظام دائم مثل آلات النحت ، و ذلك يعطيها أفضلية في انتاج منتج ذي مواصفات قياسية و تحديد خصائصه و عمره الافتراضي و استخدامه الملائم للبيئة . فإن التصنيع التجميعي يؤدي الى تصنيع الأشياء مباشرة بإضافة المواد طبقة تلو طبقة في مختلف الاتجاهات معتمدة على تقنية الطابعات ثلاثية الأبعاد المستخدمة في انتاج منتجات التصنيع التجميعي (Kelly, 2013).

تقنيات الطابعات ثلاثية الأبعاد

تكون الطابعات ثلاثية الأبعاد على شكل آلات صغيرة ، فهي تتكون من ثلاث أجزاء رئيسية :
1 – الهيكل الداعم . 2– رأس الطابعة و هو الفوهة التي تحقن المادة و قد تكون في هيئة طاقة فقط .
3 – الشريحة الالكترونية التي يتم تخزين كامل البرمجة و المعلومات فيها و تمكننا من تعديل المواصفات و التحكم في خصائص المنتج .

من المهم معرفة طرق استخدام الطابعات و كيفية الفصل بينها في توكيل المهام ، فكل الطابعات تؤدي نفس الغرض وهو انتاج هيكل ثلاثي الأبعاد ، ولكن ليست كل الطابعات ذات نفس المواصفات او تستخدم نفس المواد ، فلكل طابعة مادة معينة ، مثلا بعض الطابعات تستخدم مواد مسحوقة (powder) وتختلف ايضاً كيفية معالجة هذه المساحيق من طابعة لأخرى ، و البعض الأخر يستخدم مواد سائلة مثل الطابعات العادية ثنائية الابعاد والاكثر شيوعاً والاسهل هي طابعات الترسيب المنصهر والتي تستخدم مادة البلاستيك و تصهره ، من الممكن إنتاج أجسام معقدة و تحتوي على تفاصيل دقيقة و يتم تجميعها اثناء الطباعة دون الحاجة الى تجميع الأجزاء بعد الطباعة، ان النقطة المهمة هي تحضير الملفات التصميمية و برامج تحويل تلك الملفات لصيغة الطبع ، و تحسينها لكونها تؤدي الى الإسراع في الطباعة و بالأخص الأجزاء المعقدة و الاجزاء التركيبية و الدعامات علاوة على ذلك استخدام العامل البشري في كيفية ازالة الجزء المطبوع باحترافية من منصة العمل دون تخريبه ، و في بعض الاحيان تحتاج النماذج الى طلاء او استخدام معالجات خاصة لوضع اللمسات الاخيرة و التي غالبا ما تتم باستخدام اليدين وتحتاج الى الخبرة و الوقت و الصبر و الدقة (Kelly, 2013).

التصنيع التجميعي AM Additive manufacturing:

عرفت الجمعية الأميركية للاختبار و المواد (American Society for Testing and Materials) ASTM التصنيع التجميعي AM على أنه عملية اندماج المواد لصنع هياكل من بيانات نماذج ثلاثية الأبعاد ، حيث تتميز ببناء طبقة فوق طبقة حتى الوصول الى الشكل و التصميم المطلوب بدلاً من منهجيات التصنيع التقليدية (الشمع الضائع) (Van Noort, 2012) (Dovbish VM, 2013). تعرف هذه العمليات باسم الطباعة ثلاثية الأبعاد (three dimensional printing) ،أو التصنيع متعدد الطبقات (layered manufacturing) ،أو تصنيع الشكل الحر (free–form fabrication) ،أو

النماذج الأولية السريعة (rapid prototyping) (Tsanka Dikova et al., 2015)[a] (Bilgin et al., 2016) . وضعت اللجنة الدولية ASTM المصممة لمواصفات و معايير التصنييع التجميعي AM تصنيفاً لتقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد في سبع مجموعات رئيسية (Bandyopadhyay et al., 2015) .

- الصهر الانتقائي بالحزمة الالكترونية (selective electron beam melting)
- التدوين المباشر بالحبر(direct ink writing) .
- الطباعة الحيوية بمساعدة الليزر (laser–assisted bioprinting).
- التلبيد الانتقائي بالليزر/ الصهر الانتقائي بالليزر (selective laser sintering/Melting) .
- الطباعة الحجرية المجسمة (stereolithography) .
- نمذجة الترسيب المنصهر (fused deposition modeling).
- الترسيب بمساعدة الربوت / الصب بواسطة الربوت (robot–assisted deposition/robocasting)

(Van Noort, 2012) (Torabi et al., 2015) (Tsanka Dikova et al., 2015)[a] (Bilgin et al., 2016) .

الطباعة الحجرية المجسمة (stereolithography) SLA:

يصنف بصورة واسعة كأول طريقة للطباعة ثلاثية الأبعاد و تعتمد عملية الطباعة على الليزر و التي تعمل مع بوليميرات الراتنج الضوئية و تتفاعل بوجود الليزر و تتصلب بصورة دقيقة مكونة قطع ذات دقة و جودة عاليتين . انها عملية معقدة و لكن يمكن تبسيطها بوجود بوليميرات الراتنج الضوئية في حوض يحتوي على منصة متحركة ، يوجه شعاع الليزر عبر سطح الراتنج حسب معلومات الشكل ثلاثي الأبعاد و يؤدي الى تصلب الراتنج عند ضرب الليزر على السطح الرقيق من الراتنج في الحوض ، وعندما تنتهي الطبقة الأولى تهبط المنصة في الحوض باتجاه الأسفل لاكمال الطبقة التي تليها بواسطة شعاع الليزر حتى اكمال الشكل بالكامل و يمكن رفع المنصة فيما بعد من الحوض لفصل النموذج او الشكل المطبوع (Ö. (Onoral, 2016) (Gurung, 2017) .

نمذجة الترسيب المنصهر (fused deposition modeling) FDM:

تستخدم في هذا النوع من الطباعة ثلاثية الأبعاد مواد بلاستيكية حرارية و ذلك بنفثها خلال قاذف او نافث و هي واسعة الانتشار . و تسمى بشكل عام بنمذجة الترسيب المنصهر FDM و هذه التسمية التجارية المسجلة من قبل ستراتس (Stratasys) و هي الشركة الأصل التي طورته [a] (Dikova et al., 2015) .

طريقة عمليات الطباعة تبدأ باذابة شعيرات البلاستيك الموضوعة في نافث مسخن يقوم بنفث مادة الطباعة طبقة بعد طبقة على منصة البناء من خلال معلومات الشكل ثلاثي الأبعاد التي تجهز بها الطابعة . حيث أن كل طبقة سوف تتصلب و يتم ايداع شعيرات بلاستيك جديدة في النافثة لضمان استمرارية الطباعة و بالنهاية تلتصق هذه الطبقات فيما بينها و تكون القطعة المطبوعة (Methani et al., 2020) .

الصهر الانتقائي بالحزمة الالكترونية (selective electron beam melting) SBEM :

طورت من قبل الشركة السويدية (Arcam) كطريقة للطباعة على المعادن و التي تشبه الى حد كبير تلبيد المعدن بالليزر المباشر(Laser Metal Direct Sintering) و ذلك لاستخدامها مسحوق المعدن و الاختلاف بينهما هو مصدر الحرارة و التي كما يوحي اسمها شعاع الكترون بدلا من الليزر ، و هذا يتطلب أن يتم ضمن الخلاء ، هذا النوع من الطباعة له القدرة على طباعة قطع أو أجزاء ذات كثافة عالية للعديد من المعادن لذلك فهذه الطريقة من الطباعة ناجحة في العديد من التطبيقات و بالأخص الصناعات الطبية (Van Noort, 2012) [a](Dikova et al., 2015). تتميز هذه الطريقة من

الطباعة ثلاثية الأبعاد بكونها آمنة و صديقة للبيئة و لكنها ليست قادرة على المنافسة مع عمليات الطباعة ثلاثية الأبعاد الأخرى في انتاج القطع الهندسية المعقدة و هناك تقيد في حجم القطع المصنعة أو المطبوعة(Ö. Onoral, 2016) .

التلبيد الانتقائي بالليزر (selective laser sintering) SLS:

طبيعة المادة المستخدمة تكون على شكل مسحوق Powder والمنتج النهائي يكون بلاستيك او معدن على حسب نوع المسحوق . حيث يتم استخدام ضوء ليزر نوعه (CO_2) فيقوم بلحم جزيئات المسحوق عن طريق التلبيد و التلبيد هنا يقصد اللحام بدرجة اقل من درجة الانصهار . هذه التقنية تستخدم الليزر بدلاً من الغراء لعملية التلبيد ، فيتم توجيه الليزر الى المسحوق و يتم رسم شريحة بمجرد تعرض المسحوق لليزر يتم لحم الجزيئات ببعضها البعض بشكل مباشر او غير مباشر (و تتكرر العملية طبقة فوق طبقة و تلتصق ببعضها البعض حيث تفرش الاسطوانة المسحوق لملء الفراغ الحادث عن هبوط المنصة لبناء الطبقة التالية قبل ان يقوم الليزر بتلبيد طبقة اخرى و التي ترتبط بالطبقة التي تليها الى أن تكتمل الطباعة و يمكن الحصول على مستوى عال من الدقة تصل الى 60 ميكرو متر (Methani et al., 2020) . في حالة التلبيد المباشر يكون خليط المسحوق عبارة عن المادة الأساسية بالإضافة الى مادة اخرى ذات درجة حرارة تلبيد منخفضة حيث تقوم المادة ذات التلبيد المنخفض بعملية لحم جزيئات المادة الاخرى، في حالة التلبيد غير مباشر نحتاج الى تزويد المادة الاساسية بمادة غراء ، بمجرد تعرضها لليزر يتم لحم جزيئاتها . بعد الانتهاء من الطباعة ، يتم أخذ المطبوعة الى افران خاصة لأتمام عملية المعالجة الحرارية (Methani et al., 2020) .

الصهر الانتقائي بالليزر Selective Laser Melting (SLM)

يتم استخدام ألياف الليزر لتذيب المعادن و البلاستيك المستخدم و هي نفس آلية عمل الـ SLS ، و يتجلى الاختلاف فقط في شدة الليزر العالية و المركزة مما يمكنها انتاج أجزاء صلبة و أخرى ذات كثافة متفاوتة (Methani et al., 2020) . الجزء المطبوع يمكن ان يكون جزءاً صلباً كثافته عالية ، و جزءاً صلابته قليلة يطلق عليه اسفنجي ذا كثافة قليلة ، و ذلك يتم عن طريق التحكم في مقدار تسليط الليزر، هذه الطريقة ليست بحاجة الى اضافة مواد اخرى للصق الجزيئات ، و بالتالي لا تحتاج الى عمليات معالجة حرارية بعد الطباعة ، تستخدم غاز خامل – نيتروجين أو أرجون يعمل على حماية الجزء المطبوع من التأكسد عند درجات الحرارة العالية ، خاصة المعادن و تكون غرفة البناء أو مكان المسحوق معزولة بصورة جيدة للحفاظ على درجة الحرارة أثناء عملية الطباعة و بعد الانتهاء من الطباعة تتم إزالة المسحوق الزائد و اخراج القطعة المطبوعة (Dikova et al., 2015)[b] .

الكتابة بالحبر المباشر(direct ink writing):

المادة المستخدمة تكون في حالة سائلة و المنتج النهائي في حالة بلاستيكية حيث تستخدم فوهات لنفث السائل و الذي يتم معالجته عن طريق الأشعة فوق البنفسجية (UV) . تعمل مثل طابعات الحبر المنزلية و بدلاً من الحبر يتم نفث مادة بوليميرية يتم بلمرتها ضوئياً إذ بعد عملية نفث البوليمير يتم معالجته عن طريق اشعة UV كما تعمل المنصة المتحركة في الاتجاه العامودي و تهبط بمقدار سمك الطبقة و تستمر الطباعة في بتاء طبقة فوق طبقة حتى اكتمال بناء الجسم (Li et al., 2019).

الجدول التالي يبين خامات التصنيع المستخدمة في تقنيات AM اضافة الى الميزات و العيوب (Onoral and Abugofa, 2020)

تقنية التصنيع التجميعي	خامات التصنيع	الميزات	العيوب	الدقة
SLA	*اكريليت بوليمير ضوئي *البلاستيك *السيراميك	*دقة عالية *سرعة و سهولة التصنيع و سطح نهائي ممتاز *صناعة أشياء معقدة بدقة عالية *تجنب انسداد الفوهات	*كلفة تصنيع عالية *تحتاج الى عمليات معالجة لاحقة *السمية الخلوية المحتملة للبقايا	55-50 µm
SLS	*الشمع *البوليميرات *مركبات البوليمير/ الزجاج *مساحيق المعادن و البوليميرات *المعادن * السيراميك	*يشكل المسحوق هيكل داعم للقطعة المطبوعة *مقاومة كيميائية جيدة *تمتلك الأجزاء المطبوعة قوة و قساوة عالية *دقة عالية	*تسخين الخزان المملوء بالمسحوق لتقليل استهلاك الليزر *تحتاج الى عمليات معالجة لاحقة *سطح خشن *المسامية	45-50 µm
SLM	*المعادن و الخلائط المعدنية *الستانلس ستيل *خلائط الكروم كوبالت و النيكل كروم *خلائط التيتانيوم	*دقة فائقة *كثافة كاملة و خصائص ميكانيكية ممتازة مقارنة بـSLS *طباعة عينات معقدة بدقة عالية	*الحاجة الى طاقة عالية و صعوبة بالتحكم *التقلبات السريعة في درجة الحرارة تؤدي الى وجود اجهادات متبقية و انكماش و تشقق بالعينة المطبوعة *يمكن ان تكون مسامية حسب المسحوق المستخدم	20-35 µm
FDM	*متعدد حمض اللاكتيك pla *أكريلونتريل بوتادين ستايرين ABS *البولي كربونات ، البولي بروبلين *المركبات *بوليستر	*كلفة منخفضة *سريعة التصنيع *سهولة الاستخدام و امكانية استخدام مواد متعددة *توفر المواد بألوان مختلفة *يمكن طباعة البولي ايثر ايثر كيتون *انتاج عينات تتمتع بمقاومة عالية	*سطح رديء يحتاج لعمليات انهاء *امكانية حدوث تشوهات نتيجة التباين الكبير بدرجات الحرارة *المواد الأولية يجب أن تكون على شكل خيوط	40-35µm
SEBM	*المعادن	*يضمن الوسط المفرغ عدم حدوث أي انحراف للالكترونات *قلة الضغوط المتبقية يحسن الخصائص الميكانيكية	*كلفة عالية *تطلق أشعة سينية *سطح رديء	50-40µm

استخدامات تقنيات AM في طب الأسنان:

طباعة القوالب ثلاثية الأبعاد:

كان أول تطبيق لتقنية AM في التعويضات السنية هو الحصول على قوالب ثلاثية الأبعاد بناءً على الانطباعات الرقمية ، إما لأغراض التشخيص أو لتصنيع تركيبات الاسنان (Revilla-León et al., 2019)[a] . ومع ذلك ، يجب أن تظهر هذه القوالب المطبوعة مستويات دقة مماثلة على الأقل لتلك الخاصة بالتقليدية من أجل أن تكون مفيدة لممارسة طب الأسنان (O. Onoral et al., 2020). توجد العديد من الدراسات في الأدبيات التي تقارن الدقة بين القوالب المصنوعة بتقنيات ثلاثية الأبعاد والقوالب التقليدية والقوالب المنتجة بطريقة الازالة (Alshawaf et al., 2018). في هذا الصدد قام العالم Revilla و زملاؤه عام 2018 بتقييم قدرة أربع تقنيات مختلفة من AM لصناعة قوالب لأجهزة كاملة محمولة فوق الزرعات تم تسليط الضوء على أن القوالب الحجرية التقليدية يمكن أن تكون كذلك مكررة بدقة باستخدام الطباعة المتعددة (Revilla-León et al., 2018). دراسة أخرى أجراها Patzelt و زملاؤه عام 2014 خلص إلى أن تقنية SLA كانت متفوقة في التصنيع على الرغم من أن جميع القوالب التي تم دراستها تشير إلى دقة مقبولة سريريًا (Patzelt et al., 2014). من جهة أخرى وجد Alshawaf و زملاؤه عام 2018 أن القوالب المطبوعة ثلاثية الأبعاد كانت تحتاج الى عمليات انهاء أقل من الطريقة التقليدية و أنها كانت أكثر دقة (Alshawaf et al., 2018).

تصنيع الأدلة الجراحية :

الأدلة الجراحية مهمة أثناء الزرع لتحديد دقيق لمواضع الغرسات يزيد من معدل نجاح الإجراء ويقلل احتمال تلف الأنسجة التشريحية المحيطة (Tatakis et al., 2019). أثناء التصنيع يتم الحصول على بيانات المريض باستخدام CBCT والماسح الضوئي داخل الفم بعد ذلك يتم إجراء المعالجة والتخطيط الافتراضي من خلال برنامج التصميم بمساعدة الكمبيوتر (CAD) بناء على ذلك يتم إنتاج الدليل الجراحي بمساعدة الكمبيوتر جهاز تصنيع (CAM) الطباعة الحجرية المجسمة SLA هي التقنية الأكثر استخدامًا لأنها تسمح بإنتاج أدلة شفافة عالية الدقة تسهل تصور الهياكل التشريحية خلال الاجراء الجراحي (Revilla-León et al., 2019)[b].

تصنيع الطابع الافرادي :

إن استخدام تقنيات النمذجة ثلاثية الأبعاد للبوليمرات في التعويضات السنية يختصر بعض العمليات اليدوية التي تستغرق وقتًا طويلاً مثل تصنيع الطابع لأخذ الطبعة بالطريقة التقليدية علاوة على ذلك من خلال رقمنة هذه العملية يمكن تحقيق مساحة متجانسة لمادة الطبع (Revilla- León & Özcan, 2019)[a] . تسمح هذه الطوابع على أخذ طبعات دقيقة (Liu et al., 2019) . بالإضافة إلى ذلك تم استخدامها في التعويضات الفكية الوجهية (Huang et al., 2015) .

تصنيع الأجهزة الكاملة المتحركة :

أول استخدام لتكنولوجيا AM في تصنيع الأجهزة السنية الكاملة كان في عام 1994 حيث قام العالم Maedaو زملاؤه بتصنيع جهاز كامل باستخدام راتنج خفيف بمساعدة آلة SLA (Maeda et al., 1994). منذ ذلك الحين ، تم استخدام العديد من الأساليب لدمج تقنيات AM في تصنيع الأجهزة الكاملة المتحركة (Revilla-León & Özcan, 2019)[a]. هناك العديد من الدراسات التي قارنت الأجهزة الكاملة المتحركة المصنعة بتقنيات AM و الازالة والتقليدية (Kalberer et al., 2019) . وفقًا لـ Davda و زملائه تقنية AM تتفوق على الطرق التقليدية من حيث الدقة والانطباق (Davda K, 2017). العالم Inokoshi و زملاؤه ذكر أن استخدام AM لإنتاج هياكل الأجهزة الشمعية أظهر نتائج مماثلة للتقنية التقليدية ، وعلى الرغم من الحاجة إلى مزيد من التحسينات يبدو أن تطبيق تقنية AM للحصول على الأجهزة السنية طريقة

واعدة (Inokoshi et al., 2012). يعتبر تصنيع الأجهزة السنية باستخدام تقنيات CAD / CAM مجديا حيث يوفر الدقة ، وخصائص ميكانيكية محسنة ، و رضا المريض / الطبيب .

تصنيع الترميمات المؤقتة:

طرق AM المختلفة لتصنيع التيجان المؤقتة أو الجسور أو حتى الأجهزة السنية الثابتة المدعومة بالغرسات تم وصفها في الأدبيات (Oh et al., 2019). بالإضافة إلى ذلك ، هناك العديد من الدراسات التي قارنت ترميمات مؤقتة مطبوعة ثلاثية الأبعاد مع نظيراتها المنحوتة والتقليدية، دعمت هذه الدراسات قابلية استخدام مثل هذه الترميمات المؤقتة بناءً على خواصها الميكانيكية الكافية وقيم الانطباق المقبولة (Alharbi et al., 2018). ومع ذلك، هناك حاجة لدراسات إضافية بخصوص البوليميرات المستخدمة في AM من حيث التوافق البيولوجي و الديمومة (Revilla-León et al., 2019[b]).

طباعة نماذج الصب :

في تقنيات AM يتم استخدام العديد من البوليميرات المصبوبة المتوفرة تجاريًا. يتم تشكيل هذه البوليميرات بأدوات سريعة لإنتاج أنماط للترميمات المختلفة التي يمكن أن تكون مصبوبة باستخدام الطرق التقليدية للحصول على المعدن أو التركيب المطلوب (Revilla-León & Özcan, 2019[a]) . توجد العديد من الدراسات التي استخدمت الأنماط المطبوعة ثلاثية الأبعاد لتصنيع عدة أنواع من الترميمات مثل التيجان والجسور و هياكل الأجهزة المتحركة و الأطراف الصناعية المدعومة بالغرسات و و حتى في نماذج التعويض الفكي و الوجهي (Alikhasi et al., 2018[c]) Revilla-León, Meyer, et al., 2019). على الرغم من توفرها ، يجب التحقق من التطبيقات المذكورة أعلاه للأنماط المطبوعة من أجل التحقق من قابليتها للاستبدال بالتقنيات التقليدية. وجدت بعض الدراسات أن التركيبات و الحشوات المصنوعة من أنماط مطبوعة تتمتع بانطباق جيد و مقبولة سريريًا (Homsy et al., 2018) . قام Kim وزملاؤه عام 2018 باجراء دراسة مخبرية لتقييم انطباق الهياكل المعدنية بتقنيات SLAو تقنية النحت و التقنية التقليدية وخلص إلى أن جميع مجموعات الاختبار قد حققت قيم ملائمة مقبولة سريريًا وقابلة للمقارنة (Kim et al., 2018) . وعلى الرغم من عدم وجود تجارب سريرية كافية فإن الأدلة المتاحة تدعم حقيقة أن الأنماط المطبوعة توفر ملاءمة كافية للتطبيقات السريرية (Arnold et al., 2018) . فيما يتعلق بالتعويضات الثابتة المدعومة بالغرسات وجد Alikhasi و زملاؤه عام 2018 في دراسة أن التعويضات المصبوبة من نماذج مطبوعة تمتلك نعومة سطح أدنى من تلك المنحوتة مع قيم ثبات أعلى ، و كلاهما مقبول سريريا (Alikhasi et al., 2018). بعض التطبيقات الجديدة للطباعة ثلاثية الأبعاد للبوليميرات الاستخدام غير المباشر للنماذج الأولية السريعة لإنتاج هياكل الأجهزة المتحركة الجزئية المصنوعة من مادة الـ PEEK من خلال الضغط الحراري للأنماط المطبوعة، حسب دراسة Negm وزملائه عام 2019 وجد ان هياكل الأجهزة المتحركة الجزئية المصنوعة من مادة الـ PEEK المنحوتة أفضل مقارنة بتلك المصنعة بطريقة غير مباشرة بتقنية AM. ومع ذلك وجد أن كلتا الطريقتين تمتلك قيم ملائمة كافية من وجهة نظر سريرية (Negm et al., 2019).

في غرس الأسنان :

يعتمد نجاح غرس الأسنان بشكل كبير على التحديد الدقيق لمواقع معالم مهمة (قناة عصب الفك السفلي والجيوب الفكية) وعلى السمات التشريحية للعظم السنخي و بشكل رئيسي على وجود نسيج عظمي وافر. لذلك فإن فكرة تصنيع غرسات أسنان فردية بأبعاد محددة لكل مريض يمكن أن يحسن نسب النجاح في المرضى الذين يعانون من وجود بنى عظمية غير مناسبة. أصبح المفهوم المذكور أعلاه بالفعل حقيقة ممكنة مع ظهور AM مثل دمج تقنيات التصنيع السريع في الغرس السني (Oliveira et al., 2019) (Javaid et al., 2019) . إدخال SLM و SEBM في طب الأسنان فتح المجال لتطور غرس الأسنان. بصرف النظر عن التخصيص ، فإن مفاهيم الاندماج العظمي وسبائك التيتانيوم والغرسات ذات الأشكال

الهندسية الخاصة كلها عوامل يمكن استغلالها بفضل تقنيات التصنيع السريع (Hyzy et al., 2016). علاوة على ذلك ، فإن تنفيذ عمليات الغرس ثلاثية الأبعاد قد أسفر بالفعل عن نتائج سريرية جيدة (Mounir et al., 2018). و قدمت تقنية AM تحسين إضافي في زراعة الأسنان هو استخدام مادة غرس جديدة مُصنَّعة بشكل مضاف تعتمد على سبيكة (Ti–42Nb) كبديل عن المادة التجارية سبائك التيتانيوم المتاحة (Ti–6Al–4V)و لقد استنتج Schulze و زملاؤه عام 2018 أن الغرسات المطبوعة من هذه السبائك تمتلك قيم معامل يونغ أقل عند مقارنتها بمواد الغرس القياسية ، وبالتالي تحسين التوافق المرن مع العظام البشرية(Schulze et al., 2018).

في التعويضات المتحركة الجزئية:

تصميم و تصنيع هياكل أجهزة معدنية جزئية متحركة بتقنية AM يقلل من هدر المواد ويسمح بانتاج هياكل تتمتع بدقة انطباق وثبات ابعاد افضل و خصائص ميكانيكية اعلى مقارنة بالطرق التقليدية و طريقة النحت (Dizon et al., 2018) (Øilo et al., 2018) . وجد Akçin و زملاؤه عام 2018 أن الهياكل المعدنية المصنعة بتقنية SLM مشابهة لتلك المصنعة بتقنية الصب من حيث الدقة (Akçin et al., 2018). استخدام تقنيات AM لانتاج هياكل معدنية جزئية أو كاملة أصبح بديلا واعدا لتقنيات الصب و النحت و بنتائج سريرية مقبولة (Tregerman et al., 2019) .

في التعويضات الثابتة :

التقنيات المستخدمة حاليا في التصنيع التجميعي للزركونيا هو الـ SLA لانتاج نموذج مطبوع ثم اجراء معالجة لاحقة عن طريق SLS (Galante et al., 2019) . استخدام هذه التقنيات ينتج أجزاء بكثافة تصل الى 99% و دقة انطباق عالية و خواص ميكانيكية مماثلة للطريقة التقليدية (Javaid et al., 2018). حيث وجد Dehurtevent و زملاؤه عام 2017 في دراسة قارنت بين سيراميك الالومينا المصنع بتقنية SLA و الخزف المنحوت أن الكثافة و مقاومة الانحناء كانت متماثلة بالطريقتين (Dehurtevent et al., 2017) .

المناقشة :

مع ظهور تقنيات AM بدأت حقبة جديدة في التصنيع السريع للمنتجات على شكل شبكة بأتمتة المراحل ، حيث تميز هذا الابتكار الفعال بالانجاز السريع و توفير المواد. يعد المجال الطبي من أكبر المجالات وأكثرها اهتماما بالطباعة ثلاثية الأبعاد والتي كانت نسبة استخدامها للتقنية تتعدى ال 14 % ، حيث أن الصناعة الطبية التقليدية كانت لها مشاكلها المتعلقة بطول فترة التصنيع و التكلفة خاصة اذا كان المنتج شخصي و مصنوع حسب الطلب اي ليس هناك كميات ، فقد تم حل هذه المشكلة نسبياً عن طريق تقنيات التصنيع التجميعي ، من خلال القدرة على إنتاج أي منتج مهما بلغت درجة تعقيده فهي أسرع و أوفر وأسهل في الاستعمال من التكنولوجيات الأخرى، وتتيح الطابعات ثلاثية الأبعاد للمطورين القدرة على طباعة أجزاء متداخلة معقدة التركيب، حيث أصبحت الطباعة ثلاثية الأبعاد تغير من كيفية صناعة التيجان والجسور التي كان يتم صناعتها تقليدياً وبشكل يدوي مع مراحل طويلة في مختبر الأسنان، حيث أصبح الآن من خلال الطباعة ثلاثية الأبعاد من السهل جداً إعادة تصميم التيجان السنية والجسور وأجهزة التقويم للأسنان وأكثر من ذلك بحسب الحاجة و ايضاً يمكن معالجة الهياكل المعقدة ، و خاصة ذات المقطع الداخلي الهرمي الذي يتعذر الوصول اليه بالأدوات التقليدية بطرق التصنيع بالإزالة ، توفُر تقنية المسح الضوئي وتقنيات التصميم الرقمي المرتبطة بالطابعة ثلاثية الأبعاد والمرتبطة ببرنامج CAD / CAM ، سهولة عملية نقل تفاصيل الفم بشكل رقمي بالكامل دون الحاجة للطبعات السيليكونية المزعجة للمريض، ومن ثم نقلها للحاسوب بسرعة فائقة دون الحاجة لغرف التخزين أو الانتظار لمدة طويلة حتى يتصلب النموذج السني، إضافة إلى عملية التصميم الرقمي التي تصنع مباشرة وتقلل من الوقت الضائع وقد يستغرق تصنيع التاج في بعض الأحيان فقط ستة دقائق ونصف الدقيقة وبالتالي يمكن للمريض أن يذهب إلى طبيب الأسنان الذي يقوم بعملية تحضير السن ومن ثم الانتظار لمدة

ساعة حتى يركب له تاجاً سنياً واحداً ومن هنا قامت هذه العملية بالحد بشكل كبير من طول أوقات التصنيع، كما قامت بزيادة الإنتاج الفني بسرعة ودقة في الأداء مع تقليل عدد الذين يعملون في الطاقم الفني للعيادة والمختبر السني مما يؤدي إلى ضمان عائد سريع على الاستثمار وبنفس الوقت اختزال الجهد والتعب المرتبط بالعملية اليدوية السابقة، ، و التوجهات القادمة للممارسين ستكون باستخدام الغرسات التناظرية الجذرية المصنعة بتقنيات AM والتي يمكن إدخالها مباشرة بعد قلع الأسنان ونحت جميع الترميمات (خاصة تلك التي تعتمد على الزركونيا) بواسطة CAD . تمثل منظومة AM قيمة مضافة لنظم التصنيع الحديثة من حيث التصميم والانتاج والمراقبة والتحكم والمرونة فى التعامل مع مفردات العناصر. تتميز هذه التقنية بالكثير من المميزات مثل سهولة تعديل التصميم و عدم وجود حدود لمدى تعقيد التصميم فيمكن انتاج اي شكل مهما بلغت درجه تعقيده و التي يصعب الحصول عليها بالطرق التقليدية .من خلال منظومة النمذجة الرقمية السريعة يمكن نسخ منتجات موجود فعليا باستخدام نظام الماسح الرقمى ثم انتاجها بالطابعات ثلاثية الأبعاد مع او بدون التعديل على التصميم. الطباعة ثلاثية الابعاد تعتبر تقنية انتاج مستدامه حيث لايوجد تقريبا فاقد في الخامات(نظام استرجاع متكامل للخامات)، يعيبها بعض الأشياء منها سعر الطابعات والخامات المستخدمه ما زالت مرتفعه ، خاصة اذا كانت المنتجات كبير الحجم ,كذلك محدودية الخامات المستخدمه اذا ما قورنت بالخامات المستخدمه في طرق الانتاج الأخرى كذلك مازال الإنتاج بتلك التقنية مناسب للانتاج المتوسط او محدود الكمية وليس الانتاج الكمي ولكنها بلا شك ستشهد تطورات كبيرة فى المستقبل القريب لتجاوز هذه العيوب ، من الواضح أن تقنيات التصنيع التجميعي سيكون لها دور متزايد الأهمية تلعبه في طب الأسنان .

المراجع :

1-Akçin, E. T., Güncü, M. B., Aktaş, G., & Aslan, Y. (2018). Effect of manufacturing techniques on the marginal and internal fit of cobalt-chromium implant-supported multiunit frameworks. The Journal of prosthetic dentistry, 120(5), 715-720 .

2-Alharbi, N., Alharbi, S., Cuijpers, V. M., Osman, R. B., & Wismeijer, D. (2018). Three-dimensional evaluation of marginal and internal fit of 3D-printed interim restorations fabricated on different finish line designs. Journal of prosthodontic research, 62(2), 218-226 .

3-Alikhasi, M., Rohanian, A., Ghodsi, S., & Kolde, A. M. (2018). Digital versus conventional techniques for pattern fabrication of implant-supported frameworks. European journal of dentistry, 12(1), 71 .

4-Alshawaf, B., Weber, H.-P., Finkelman, M., El Rafie ، K., Kudara, Y., & Papaspyridakos, P. (2018). Accuracy of printed casts generated from digital implant impressions versus stone casts from conventional implant impressions: A comparative in vitro study. Clinical Oral Implants Research, 29(8), 835-842 .

5-Arnold, C., Hey, J., Schweyen, R., & Setz, J. M. (2018). Accuracy of CAD-CAM-fabricated removable partial dentures. The Journal of prosthetic dentistry, 119(4), 586-592 .

6-Bandyopadhyay, A., Bose, S., & Das, S. (2015). 3D printing of biomaterials. MRS Bulletin, 40(2), 108-115 .

7-Bilgin, M. S., Baytaroğlu, E. N., Erdem, A., & Dilber, E. (2016). A review of computer-aided design/computer-aided manufacture techniques for removable denture fabrication. European journal of dentistry, 10(2), 286 .

8-Davda K, O. C ،.Dillon S, Wu J, Hyde P, Keeling A. (2017). An investigation into the trueness and precision of copy denture templates produced by rapid prototyping and conventional means. European Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry, 25(4), 186-192 .

9-Dehurtevent, M., Robberecht, L., Hornez, J.-C., Thuault, A., Deveaux, E., & Béhin, P. (2017). Stereolithography: a new method for processing dental ceramics by additive computer-aided manufacturing. Dental Materials, 33(5), 477-485 .

10- Dikova, T., Dzhendov, D., Simov, M., Katreva-Bozukova, I ،.Angelova, S., Pavlova, D , Tonchev, T. (2015)[a]. Modern trends in the development of the technologies for production of dental constructions. Journal of IMAB–Annual Proceeding Scientific Papers, 21(4), 974-981 .

11- Dikova, T., Dzhendov, D & ،.Simov, M. (2015)[b]. Microstructure and hardness of fixed dental prostheses manufactured by additive technologies. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 71(2), 60-69 .

12-Dizon, J. R. C., Espera Jr, A. H., Chen, Q., & Advincula, R. C. (2018). Mechanical characterization of 3D-printed polymers. Additive Manufacturing, 20, 44-67 .

13-Dolenc, A. (1994). An overview of rapid prototyping technologies in manufacturing: Citeseer,pp:111.

14-Dovbish VM, Z. P., Zlenko MA. (2013). Additivnie tehnologii I izdelia iz metala [in Russian],9,14-71 .

15-Galante, R., Figueiredo-Pina, C. G., & Serro, A. P. (2019). Additive manufacturing of ceramics for dental applications: A review. Dental Materials, 35(6), 825-846 .

16-Gurung, D. (2017). Technological comparison of 3D and 4D printing. Degree Thesis, Degree Programme in Plastics Technology 2017, 13-14-16-17 .

17-Homsy, F. R., Özcan ،M., Khoury, M., & Majzoub, Z. A. (2018). Marginal and internal fit of pressed lithium disilicate inlays fabricated with milling, 3D printing, and conventional technologies. The Journal of prosthetic dentistry, 119(5), 783-790 .

18-Huang, Z., Wang, X. z & ،.Hou, Y. z. (2015). Novel Method of Fabricating Individual Trays for Maxillectomy Patients by Computer-Aided Design and Rapid Prototyping. Journal of Prosthodontics, 24(2), 115-120 .

19-Hyzy, S. L., Cheng, A., Cohen, D. J., Yatzkaier, G., Whitehead, A. J., Clohessy, R. M , Schwartz, Z. (2016). Novel hydrophilic nanostructured microtexture on direct metal laser

sintered Ti–6Al–4V surfaces enhances osteoblast response in vitro and osseointegration in a rabbit model. Journal of Biomedical Materials Research Part A, 104(8), 2086-2098 .

20-Ian Gibson, I. G. (2015). Additive Manufacturing Technologies 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing: Springer. In, pp: 4.

21-Inokoshi, M., Kanazawa, M., & Minakuchi, S. (2012). Evaluation of a complete denture trial method applying rapid prototyping. Dental materials journal, 31(1), 40-46 .

22-Javaid, M., & Haleem, A. (2018). Additive manufacturing applications in medical cases: A literature based review. Alexandria Journal of Medicine, 54(4), 411-422 .

23-Javaid, M., & Haleem, A. (2019). Current status and applications of additive manufacturing in dentistry: A literature-based review. Journal of oral biology and craniofacial research, 9(3), 179-185 .

24-Kalberer, N., Mehl, A., Schimmel, M., Müller, F., & Srinivasan, M. (2019). CAD-CAM milled versus rapidly prototyped (3D-printed) complete dentures: An in vitro evaluation of trueness. The Journal of prosthetic dentistry, 121(4), 637-643 .

25-Kelly, J. F. (2013). 3D printing: build your own 3D printer and print your own 3D objects: Que Publishing,pp:65-70.

26-Kim, S.-B., Kim, N.-H., Kim, J.-H., & Moon, H.-S. (2018). Evaluation of the fit of metal copings fabricated using stereolithography. The Journal of prosthetic dentistry, 120(5), 693-698 .

27-Li, H., Song, L., Sun, J., Ma ،J., & Shen, Z. (2019). Dental ceramic prostheses by stereolithography-based additive manufacturing: potentials and challenges. Advances in Applied Ceramics, 118(1-2), 30-36 .

28-Liu, Y., Di, P., Zhao, Y., Hao, Q., Tian, J., & Cui, H. (2019). Accuracy of multi-implant impressions using 3D-printing custom trays and splinting versus conventional techniques for complete arches. International Journal of Oral & Maxillofacial Implants, 34(4) .

29-Maeda, Y., Minoura, M., Tsutsumi, S., Okada, M., & Nokubi, T. (1994). A CAD/CAM system for removable denture. Part I: Fabrication of complete dentures. International Journal of Prosthodontics, 7(1), 17-21 .

30-Methani, M. M., Revilla-León, M., & Zandinejad, A. (2020). The potential of additive manufacturing technologies and their processing parameters for the fabrication of all-ceramic crowns: A review. Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, 32(2), 182-192 .

31-Mounir, M., Atef, M., Abou-Elfetouh, A., & Hakam, M. (2018). Titanium and polyether ether ketone (PEEK) patient-specific sub-periosteal implants: two novel approaches for

rehabilitation of the severely atrophic anterior maxillary ridge. International journal of oral and maxillofacial surgery, 47(5), 658-664 .

32-Negm, E. E., Aboutaleb, F. A., & Alam-Eldein, A. M. (2019 .(Virtual evaluation of the accuracy of fit and trueness in maxillary poly (etheretherketone) removable partial denture frameworks fabricated by direct and indirect CAD/CAM techniques. Journal of Prosthodontics, 28(7), 804-810 .

33-Oh, J.-H., An, X., Jeong ،S.-M., & Choi, B.-H. (2019). A digital technique for fabricating an interim implant-supported fixed prosthesis immediately after implant placement in patients with complete edentulism. The Journal of prosthetic dentistry, 121(1), 26-31 .

34-Øilo, M., Nesse ،H., Lundberg, O. J., & Gjerdet, N. R. (2018). Mechanical properties of cobalt-chromium 3-unit fixed dental prostheses fabricated by casting, milling, and additive manufacturing. The Journal of prosthetic dentistry, 120(1), 156. e151-156. e157 .

35-Oliveira ،T.T., & Reis,A.C.(2019).Fabrication of dental implants by the additive manufacturing method: A systematic review.The Journal of prosthetic dentistry,122(3),270-274 .

36-Onoral, Ö. (2016). New approaches in computer aided printing technologies. Cumhuriyet Dental Journal, 19(3), 256-266 .

37-Onoral, O., & Abugofa, A. (2020). Advancements in 3D Printing Technology: Applications and Options for Prosthetic Dentistry. Cyprus Journal of Medical Sciences, 5(2), 176-183 .

38-Patzelt, S. B., Bishti, S., Stampf, S & ،.Att, W. (2014). Accuracy of computer-aided design/computer-aided manufacturing–generated dental casts based on intraoral scanner data. The Journal of the American Dental Association, 145(11), 1133-1140 .

39-Peña, V., Lal, B., & Micali, M. (2014). US federal investment in the origin and evolution of additive manufacturing: a case study of the National Science Foundation. 3D Printing and Additive Manufacturing, 1(4), 185-193 .

40-Petrick,I. J., & Simpson, T. W. (2013). 3D printing disrupts manufacturing: how economies of one create new rules of competition. Research-Technology Management, 56(6), 12-16 .

41-Petrovic, V., Vicente Haro Gonzalez, J., Jordá Ferrando, O., Delgado Gordillo, J., Ramón Blasco Puchades, J., & Portolés Griñan, L. (2011). Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies. International Journal of Production Research, 49(4), 1061-1079 .

42- Revilla-León, M., & Özcan, M. (2019)[a]. Additive manufacturing technologies used for processing polymers: current status and potential application in prosthetic dentistry. Journal of Prosthodontics, 28(2), 146-158 .

43-Revilla-León,M.,Sadeghpour,M.,&Özcan,M.(2019)[b].An update on applications of 3D printing technologies used for processing polymers used in implant dentistry.Odontology,1-8

44-Revilla-León, M., Gonzalez-Martín, Ó., Pérez López, J., Sánchez-Rubio, J. L., & Özcan, M. (2018). Position accuracy of implant analogs on 3D printed polymer versus conventional dental stone casts measured using a coordinate measuring machine. Journal of Prosthodontics, 27(6), 560-567 .

45- Revilla-León, M., Meyer, M. J., & Özcan, M. (2019)[c]. Metal additive manufacturing technologies: literature review of current status and prosthodontic applications. International journal of computerized dentistry, 22(1), 55-67.

46-Schulze, C., Weinmann, M., Schweigel, C., Keßler, O., & Bader, R. (2018). Mechanical properties of a newly additive manufactured implant material based on Ti-42Nb. Materials, 11(1), 124 .

47-Sun, J., & Zhang, F. Q. (2012). The application of rapid prototyping in prosthodontics. Journal of Prosthodontics: Implant, Esthetic and Reconstructive Dentistry, 21(8), 641-644 .

48-Tamimi, F., Almufleh, B., Caron, E., & Alageel, O. (2020). Digital removable partial dentures. Clinical Dentistry Reviewed, 4, 1-12 .

49-Tatakis, D. N., Chien, H. H., & Parashis, A. O. (2019). Guided implant surgery risks and their prevention. Periodontology 2000, 81(1), 194-208 .

50-Torabi, K., Farjood, E., & Hamedani, S. (2015). Rapid prototyping technologies and their applications in prosthodontics, a review of literature. Journal of dentistry, 16(1), 1 .

51-Tregerman, I., Renne, W., Kelly, A., & Wilson, D. (2019). Evaluation of removable partial denture frameworks fabricated using 3 different techniques. The Journal of prosthetic dentistry, 122(4), 390-395 .

52-Um, D. (2015). Solid modeling and applications: Springer,pp:1-16-195.

53-Van Noort,R.(2012).The future of dental devices is digital. Dental Materials, 28(1), 3-12 .

54-Weber, C., Peña, V., Micali, M., Yglesias, E., Rood, S., Scott ،J. A., & Lal, B. (2013). The role of the national science foundation in the origin and evolution of additive manufacturing in the United States. Science & Technology Policy Institute, 1, 10-11-21-22-23 .

55-Yager, S., Ma, J., Ozcan, H., Kilinc, H., Elwany ،A., & Karaman, I. (2015). Mechanical properties and microstructure of removable partial denture clasps manufactured using selective laser melting. Additive Manufacturing, 8, 117-123 .

56-Zhai, Y., Lados, D. A., & LaGoy, J. L. (2014). Additive manufacturing :making imagination the major limitation. Jom, 66(5), 808-816 .