

دراسة تقييمية لأداء برمجيات عرض الصور الطبية الداي كوم من منظور دعمها لتقنيات النمذجة السريعة

عبدالعظيم سالم باله

كلية التقنية الصناعية، قسم الهندسة الصناعية، مصراتة-ليبيا

الملخص: شهدت تقنيات التصوير الطبي تطوراً كبيراً في السنوات الأخيرة، نتج عنه وسائل تشخيص جديدة من أهمها الصور الطبية ثلاثية الأبعاد بعد أن كانت في بعدين فقط، وهذا قدم دعم كبير للأطباء في عمليات التشخيص والعلاج. ولكن تظل هناك العديد من المشاكل الصحية المعقدة تحتاج إلى مزيد من الوضوح لإتخاذ القرار السليم حيالها، فكانت الحاجة ملحة لتحويل الصور إلى مجسمات فزيائية تنقل الصورة الحقيقية للمشكلة ويبدون أي لبس، فكانت تقنيات النمذجة السريعة هي الحل لهذه المشكلة. ومن المعلوم أن جميع تقنيات النمذجة السريعة (الطباعة الثلاثية) لا تستطيع طباعة الصور الطبية (DICOM-images) مباشرة كما تنتجها أجهزة التصوير الطبي، فهي تحتاج إلى معالجة خاصة تقوم بها برامج تعرف ببرامج عرض الصور الطبية DICOM images viewers. لقد أنجزت العديد من البحوث للمقارنة بين خصائص هذه البرامج من ناحية خوارزميات الإدخال (القدرة على تحميل الملفات الكبيرة، السرعة، سهولة الاستخدام) والمعالجة (عدد الوظائف المتاحة، طرق العرض، الفرز و التخصيص)، غير أنه لم ينجح القدر الكافي من الأبحاث للمقارنة بينها من ناحية المخرجات (تأثير قوة البرامج على جودة النماذج المطبوعة). يتعرض هذا العمل للمقارنة بين تأثير أشهر ثلاثة برمجيات عرض الصور الطبية (RadiAnt, 3D slicer, InVesalius) على جودة مطبوعات مختلف تقنيات النمذجة السريعة، من خلال استخدامها لإنتاج نماذج افتراضية للفقرة ما قبل الأخيرة بالعمود الفقري لأحدى الحالات، وتحت نفس الظروف ويبدون أي تعديلات في أصل الصورة تم إنتاج نماذج لها باستخدام تقنية النمذجة بالصور والترسيب. ولقد أشارت نتائج المقارنة بين النماذج المطبوعة للفقرة العظمية موضوع الدراسة إلى أنه يوجد تأثير واضح ومباشر لنوع برنامج العرض المستخدم لمعالجة الصور الطبية DICOM على جودة النماذج المنتجة لاحقاً.

الكلمات الدالة: DICOM viewers, Fused Deposition Modeling, RadiAnt, 3D Slicer, InVesalius

1. المقدمة

تصميم الدعامات أو الأجزاء التعويضية المطلوب تثبيتها قبل البدء في العملية [3][2]. إن التخطيط المسبق للعملية على نموذج حقيقي ثلاثي الأبعاد يوفر كثير من وقت العملية ويحد كثيراً من ظهور مفاجآت قد تترك الجراحين أو تضطربهم لتنفيذ حلول غير كفوة في بعض الحالات. ازدياد كلفة خدمة المريض تعد من أهم عيوب استخدام هذه التقنية، ولكن هذا العيب لم يمنع الأطباء من التمسك بها عند إجراء الجراحات الصعبة والمعقدة لأنها تدعم وبشكل قوي نجاح العملية وخاصة في العمليات الجراحية المعقدة [4].

ظهرت تقنيات النمذجة السريعة في أواخر عام 1980 وتطورت بشكل متسارع لتنتشر في أغلب مجالات الحياة؛ الصناعية، الخدمية، الطبية، الطيران وغزو الفضاء حتى صارت من الخيارات الأولى التي تُطرح عند التفكير في إنتاج أي منتج يخضع لسياسة التصنيع حسب الطلب (Custom production) [5]. لقد كان لتقنيات النمذجة السريعة حضور قوي في المجال الطبي فلقد استخدمت بشكل واسع في إنتاج نماذج مطابقة لما هو في الواقع للمشاكل الصحية عند المرضى من كسور مركبة أو تلف وفقدان لبعض أجزاء من الجهاز العظمي، أورام سرطانية قد تظهر في مختلف أعضاء الجسم. كذلك الحال ساعدت وبشكل كبير في التخطيط الدقيق للعمليات الجراحية المعقدة وتصميم الرقع الترميمية التي يتم زراعتها لتعويض الأجزاء النالفة من بعض أعضاء الجسم كالعظام، صمامات القلب والأوعية الدموية [6]. كما تم مؤخراً الإفصاح عن بعض البحوث الحديثة جداً والتي تسعى لاستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد لإنتاج بعض الأعضاء البشرية كالكلية، القلب، الكبد وغيرها من الأعضاء البشرية الحية والتي تعتمد على استغلال قدرة التقنية على وضع المادة الخام (الخلايا الحية) في المكان المحدد وبدقة متناهية، ومع توفير البيئة المناسبة تنمو هذه الخلايا وتُزاوّل نشاطها البيولوجي مكونة العضو البشري المطلوب [7]. حيث استطاعت شركة Organovo الأمريكية [8] من إنتاج أعضاء بشرية حية (كلية، كبد) غير أنها لازلت تُستخدم فقط للأغراض البحثية والمختبرية. كما استخدمت هذه التقنية في إنتاج أطراف بشرية (غير حية) تمتاز بمطابقة فائقة للأعضاء

تعتبر المرافق الطبية المساعدة مثل المختبرات والتصوير الإشعاعي من أهم الوحدات الداعمة للأطباء في تشخيص المشاكل الصحية للمرضى. ففي بداية ظهور العلوم الطبية كان الأطباء يعتمدون في تشخيص مرضاهم عن طريق فحص الأعراض التي تظهر على المريض فقط. قد يكون هذا مجدي في حالات الإصابة العادية مثل الإصابات الفيروسية أو البكتيرية. ولكن في الحالات المعقدة ككسور العظام المركبة أو ظهور الأورام لا يمكن للطبيب تصور شكل ولا تحديد حجم ولا مكان وجود الورم إلا بعد إجراء العملية الجراحية وعندها يكون الأمر حرج و ليس هناك وقت للتخطيط. كذلك الحال في ترميم كسور العظام المعقدة والتي قد تحتاج لزراعة عظام ترميمية مستعارة، الأمر الذي يتطلب تصور كامل لشكل الكسر أو شكل وحجم الأجزاء المفقودة. لتلبية هذا الاحتياج الملح ظهر التصوير الإشعاعي (X-ray)، التصوير المقطعي (CT) computed tomography، الرنين المغناطيسي (MRI) (magnetic resonance) وغيرها من التقنيات التي تعرض الأعضاء المصورة في بعدين [1]. الصور ثنائية الأبعاد تساعد بشكل أكبر في تصور المشكلة ولكن تظل كثير من الأمور غائبة ولا يمكن للصور الثنائية الأبعاد إظهارها، ولا يمكنها الإجابة على كثير من التساؤلات التي تظهر عند تفحص هذه الصور. لتقديم المزيد من الوضوح الذي يساعد الأطباء كثيراً في التشخيص السليم للمشاكل الصحية ووضع الحلول المناسبة لها تم تطوير طريقة عرض الصور في التقنيات السالفة الذكر إلى صور ثلاثية الأبعاد تحاكي الواقع بشكل كبير جداً فظهر التصوير المقطعي، الرنين المغناطيسي والإكو ثلاثيات الأبعاد Three-dimensional renderings of CT, MR, plain radiography, and echo imagery. ثم استمر العمل على تطوير وسائل العرض للصور الطبية إلى إن تم استخدام النمذجة السريعة (Rapid Prototyping Technology) لتحويل الصور من مجرد صور (3D-photo) إلى نماذج حقيقية (3D-model) تحاكي الواقع بدقة بالغة [1]. هذه النماذج قدمت قفزة نوعية في الطب التشخيصي وكذلك العلاجي، فصار من السهل جداً على الجراحين ترتيب جميع المتطلبات مثل

مساندة و لا على مواقع مسيطرة على معالجات البرنامج فهي تعمل في بيئة عمل مستقلة [14]. أما Andreas Brühshwein وفريق العمل معه أجروا دراسة تقييمية لمجموعة أخرى من البرمجيات المجانية (لعرض الصور الطبية DICOM) المتاحة على شبكة المعلومات والمستخدم في مجال البيطرة، فخلصوا إلي أن هذه البرامج تنتج إمكانيات كافية جداً لتشخيص الأمراض لدى الحيوانات. حيث أجروا استبيان للمقارنة بين عدد ثمانية برامج عرض مختلفة من خلال توظيف عدد 35 مستخدم في المجال البيطري بتخصصات مختلفة لإختيار البرامج الأمثل. أشارت نتيجة الاستبيان إلي ترشيح كلاً من Horos و OsiriX Lit كأفضل برامج العرض، ثم يأتي RadiAntand Synedra في المرتبة الثالثة لما تنتجه هذه البرمجيات من أدوات كثيرة يمكن توظيفها لتقديم أفضل عرض للصور الطبية نوع DICOM بالإضافة إلي سهولة استخدامها [15]. Stephen مع فريقه سنة 2017 قاموا بعقد مقارنة بين نتائج استخدام وظيفة الفصل (فصل صورة عضو ما عن باقي الأنسجة والأعضاء الموجودة في الصورة) الآلي باستخدام الخوارزمية النصف آلية (Semiautomatic Segmentation) المتاحة في منظومة عرض الصور الطبية 3D slicer مع الفصل اليدوي Manual Segmentation والتي يتاح فيها الفرصة للمستخدم لإنجاز مهمة الفصل يدوياً. لقد أجريت هذه الدراسة علي فصل صورة العُقيدات (مرض يصيب الرئتين) التي تتكون في الرئتين لتمثيل شكل وحجم هذه العُقيدات. ولقد أشارت النتائج إلي أن استخدام خوارزمية الفصل اليدوي متغيرة وغير ثابتة وهي تعتمد بشكل مباشر على قوة الملاحظة للمستخدم، وأن استخدام خوارزمية الفصل النصف آلي توفر ما يقدر بنسبة 13% من مجهود الأطباء في فحص وتشخيص هذه العُقيد، غير أنه ينصح بتوخي الدقة في ضبط اعدادات الخوارزمية وأنه ستنظر هناك حاجة تقدر بنسبة 87% إلي التعديل اليدوي لعمل الخوارزمية فيما يخص العقد الصغيرة و العقد المبهمه أو الغير واضحة المعالم [16].

من خلال المراجعة العامة والتفصيلية للبحوث المنجزة في هذا الجانب لاحظ الباحث تركيز البحوث السابقة على التباين بين برمجيات عرض الصور الطبية من ناحية سهولة الإستخدام وكثرة أدوات العرض التي تساعد الأطباء على سهولة فحص الصور. غير أنه لا توجد بحوث كافية نفذت للمقارنة بين هذه البرمجيات من حيث مخرجاتها، لذي رأي الباحث تسليط الضوء على هذا الجانب المهم وإجراء تحقيق عملي لهذه المقارنة بتحويل مخرجات هذه البرمجيات إلي نماذج فيزيائية باستخدام تقنية الصهر والترسيب (FDM) لتسهيل بها المقارنة البصرية بين مخرجات هذه البرامج، كما يهدف الباحث من وراء هذه الدراسة إلي وضع نواة لنمذجة (تحويل الصور الطبية إلي نماذج) الصور الطبية للمساعدة في توفير خدمة متطورة للأطباء في التشخيص والتخطيط المسبق والدقيق للعمليات الجراحية داخل ليبيا.

2. المقارنة

أ. برمجيات عرض الصور الطبية

تزامناً مع ظهور أجهزة التصوير ثلاثية الأبعاد ظهرت برمجيات استعراض، تعديل، فصل، تحديد، تصميم أجزاء تعويضية (للأجزاء المفقودة من بعض الأجهزة العضوية كالعظام)، اصدار الصور القابلة للطباعة ثلاثية الأبعاد وغيرها من الوظائف التي من شأنها مساعدة الأطباء في تشخيص وعلاج المرضى. من هذه البرمجيات ما هو متاح على شبكة المعلومات ومنها ما هو غير متاح، كذلك منها ما هو مستقل أي بمعنى أنه يعمل بدون الحاجة إلي أي موقع أو لغة مساندة ومنها ما هو مرتبط بمواقع ولغات مساندة لا يمكن العمل بدونها. ومن أشهر هذه البرمجيات [17] GingkoCADx, MIPAV, OsiriX Lite, Horos, 3D slicer, RadiAnt, Sante 3D pro, MicroDICOM, MidDrim, FIJI. وهي برمجيات متنوعة ولكنها تعمل بنفس الأسلوب تقريباً وتقدم نفس الخدمات ولكن بصور مختلفة وبجودة متفاوتة. من أهم ما تتميز به هذه البرمجيات فيما بينها هو سرعة التحميل والمعالجة، النوافذ الحوارية مع المستخدم، وفرة أدوات الوظائف من عدمها، سهولة الإستخدام و سرعة الأداء. من هذه البرمجيات والتي هي متاحة بشكل مجاني على شبكة المعلومات تم ترشيح عدد ثلاثة برمجيات تتصدر المراتب الأولى في قائمة

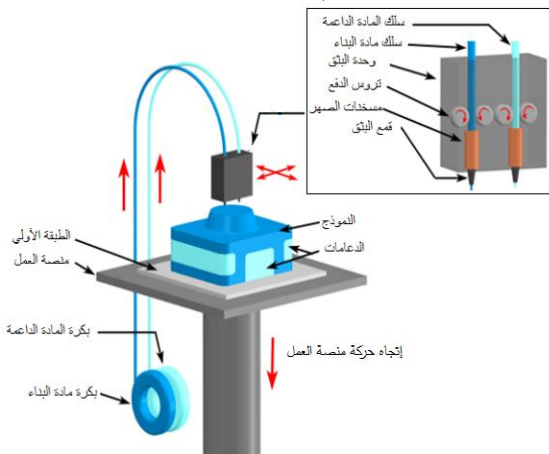
المفقودة الأمر الذي ساعد المبتورين على التنقل بكل سهولة مع الأطراف الإصطناعية المركبة لهم [9]. من أمثلة استخدامات تقنيات النمذجة السريعة ما قام به فيوسون يونان Fusong Yuan وزملائه سنة 2019 من إنتاج نموذج للثة والحك الصلب (Tooth-Supported Fixed Implant Guide) كدليل لزراعة أسنان تعويضية باستخدام تقنية النمذجة بالصهر والترسيب (FDM) وذلك عن طريق استخدام صورة ثلاثية الأبعاد ((Computerized Tomography(CT Scan)) للمريض لتحويلها إلي نموذج ثلاثي الأبعاد يحمل الصيغة الـ STL ومن ثم تصنيعه باستخدام تقنية الـ FDM. ولقد أشارت نتائج الفحص لدقة المطابقة بين النموذج الذي تم تصنيعه والتصميم و أن هذه الطريقة فعالة جداً في تصنيع نماذج دليلية لتركيب الأسنان بدقة عالية. كما أنها تجنب المريض عناء القولية اليدوية المتمثلة في حشر مادة القالب في فم المريض الأمر الذي يتضايق منه كثير من المرضى وخاصة الأطفال، كما أن دقتها تعتمد على مقدار قوة قزمة المريض لمادة القالب [10]. كما أشرت الدراسة التي أعدها Philip Tack وزملائه عام 2015 أن نسبة 60% من استخدامات النمذجة السريعة في المجال الطبي كانت في التخطيط المسبق للعمليات الجراحية، 38.70% للعرض التشريحي لغرض التشخيص، 12.17% لإنتاج أجزاء ترقيعية، 3.91% لإنتاج قوالب لتشكيل بعض الأجزاء تركيب داخل الجسم [11]. رغم الإنتشار الواسع لإستخدام النمذجة السريعة (RP) يظل التساؤل المطروح عن مدى الفائدة التي تقدمها هذه التقنية مقابل التكاليف الإضافية التي ستضاف لتكاليف العملية الأصلية. ورغم عدم وجود دراسات إحصائية شاملة تتضمن حسابات مباشرة لقيمة التكلفة المضافة بسبب استخدام هذه التقنية إلا أنه يمكن إعتبار ما قام به كلاً من روبرت و واتسون Robert A. Watson, MD مؤشراً علي عدم إرتفاع تكلفة إنتاج مثل هذه النماذج في الدراسة العملية التي أجريها عام 2014 والتي أشارت إلي أن تكلفة إنتاج نموذج فزيائي للوريد الكبدية أقل من 100 دولار [12]. وبالرغم من ذلك يمكن القول أن خيار استخدام هذه التقنية يظل مطروح وبكل قوة في حالة العمليات الجراحية المعقدة التي يُحتاج فيها بشكل كبير إلي دقة عالية في إجراء العملية الأمر الذي يرفع من نسبة نجاحها وهذا يعوض الإرتفاع في كلفة العملية بسبب إنتاج نموذج لموقع العملية [4].

تتم عملية إنتاج النماذج الثلاثية الأبعاد للصور الطبية المستخدمة في عمليات التشخيص أو التخطيط المسبق للعمليات الجراحية المعقدة أو حتى لأغراض التعليم والتدريب للأطباء في عدة مراحل. تبدأ هذه العملية بتوليد البيانات الخاصة بالمريض (الصورة) والتي يمكن الحصول عليها من ثلاثة مصادر رئيسية وهي صور الأشعة المقطعية (computed tomography (CT), صور الرنين المغناطيسي (magnetic resonance imaging (MRI), و الصور فوق الصوتية (Ultrasound (US)). ومن أشهر صيغ ملفات الصور التي تنتجها هذه التقنيات و المستخدمة حالياً بشكل واسع في عرض الصور الطبية هي: Analyze, Neuroimaging Informatics Technology Initiative (Nifti), Minc, and Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM). رغم التطور المستمر في صيغ ملفات الصور إلا أن ملفات الـ DICOM تعتبر الأفضل من بين كل ما هو موجود في الوقت الحالي، وذلك لما تمتاز به من مرونة عالية في مواكبة التطور المستمر في تقنيات التصوير الطبي [13].

يوجد العديد من برمجيات عرض الصور الطبية ذوات الصيغة الـ DICOM منها من هو ثنائي الأبعاد (2 Dimensional viewer) ومنها ثلاثي الأبعاد (3Dimensional viewer) وكلاً منها يتميز ببعض المناقب تميزه علي غيره وتعله بعض العيوب قد لا توجد في غيره. لذلك يحتاج المستخدم إلي معرفة نقاط القوة والضعف لهذه البرمجيات حتى يُحسن اختيار البرنامج المناسب للتطبيق محل الإستخدام. لقد أجريت العديد من الأبحاث للمقارنة بين برمجيات العرض بهدف إبراز مزايا و عيوب هذه البرمجيات لتكون كدليل للمستخدم لمعرفة ما هو البرنامج المناسب لتطبيقه، فعلي سبيل المثال أشار الباحث Daniel Haak وزملائه عندما أجروا دراسة تقييمية لبرمجيات عرض الصور الطبية نوع الـ DICOM، وانتهو إلي تزكية MIPAV و Weasis لما تميزت به من مزايا لم تجتمع في غيرها، ومن أهم هذه المزايا أنها برامج مستقلة التي لا تعتمد على لغات

إعتماداً كبيراً على حسن ضبط إعدادات الطابعة التي تلائم طبيعة النموذج و تحقق الخصائص المطلوب توفرها فيه. أما عملية البناء فهي تتلخص في قيام الباثق بترسيب المادة المنصهرة على طول المسارات التي حددها برنامج التشريح لبناء كامل الشريحة، وبمجرد الإنتهاء من الطبقة أو الشريحة قيد البناء تتخفظ منصة العمل عمودياً بمقدار سمك طبقة البناء (يتم تحديد سمكها أثناء ضبط إعدادات الطابعة) ويباشر الباثق في بناء الطبقة التالية، وهكذا يتكرر نفس العمل حتى الإنتهاء من جميع طبقات النموذج صعوداً من القاع إلى القمة كما هو موضح بالشكل (1). أما المرحلة الرابعة والأخيرة فهي تتضمن أعمال تشطيب النموذج بعد الطابعة بهدف تحسين المظهر الخارجي للنموذج، وهي عادةً ما تكون بسيطة وغير مكلفة [22].

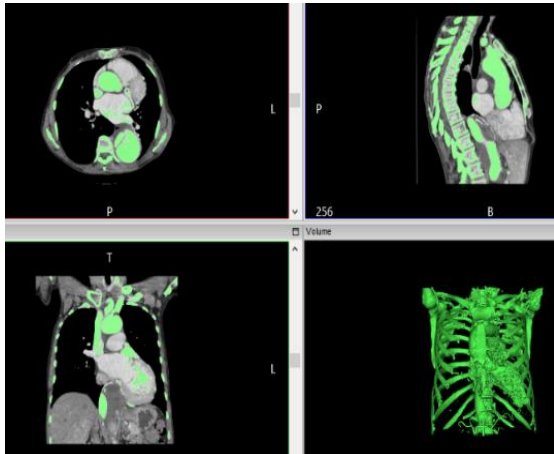
لتنفيذ النماذج المطلوبة للمقارنة بين برمجيات عرض الصور الطبية قيد الدراسة تم استخدام النسخة FlashForge Creator Pro وهي نسخة ثنائية الباثق لها حيز بناء (build envelope) $225 \times 145 \times 150$ ملم، وبإثاق بفتحة قطرها 0.4 ملم، تستخدم سلك بقطر 0.5 ± 1.70 ملم من خام الـ (Acrylonitrile Butadiene Styrene) (ABS)، ولقد تم اختيار هذه المادة لكفائتها العالية واستقرارها الحراري [23]. تم تشغيل النسخة وفق الإعدادات الافتراضية للشركة المصنعة والتي من أبرزها درجة الحرارة الطابعة 220°C ، درجة حرارة منصة العمل 105°C ، سمك الطبقة 0.2 ملم.



الشكل 1. فكرة عمل تقنية النمذجة بالصهر والترسيب الـ FDM

د. الحالة الدراسية

لقد تم اختيار صورة الأشعة المقطعية CT-Scan لمنطقة الصدر والبطن لسيدة من مواليد 1947، تم إلتقاط الصورة بتاريخ 2005/12/12 وهي تحتوي على عدد 300 شريحة. المساط الثلاثة والمجسم للهيكل العظمي بعد أن تم فصله من باقي الأنسجة والأعضاء موضحة بالشكل (2). لقد تم تحميل الصورة من شبكة المعلومات [24] وهي على صيغة الـ DICOM.



الشكل 2. المساط الثلاثة لأحد الشرائح والمجسم للهيكل العظمي للحالة الدراسية

هذه البرامج وهي: برنامج الـ RadiAnt والتي ترجع ملكيته لشركة Medixant البولندية [18]، برنامج الـ InVesalius المنتج بالشراكة بين مركز ريناتو أرشير التقني للمعلومات و مختبر المغناطيسية الحيوية بجامعة ساو باولو بالبرازيل Renato Archer Information Technology Center and Biomagnetism Laboratory at University of Sao Paulo و برنامج الـ 3D Slicer الذي تم بنائه على مدى عقدين بالشراكة بين العديد من المعاهد الدولية للدراسات الطبية وكذلك مجموعات من الهندسة الطبية من دول مختلفة من العالم [20].

ب. برمجيات التشريح (Slicing software)

تتخصص هذه البرمجيات في تحويل ملفات التصميم (التي تم إنتاجها سواء باستخدام برامج التصميم CAD أو استنساخها باستخدام أجهزة المسح الضوئية، الإشعاعية أو الصوتية) ذات الصيغة الـ STL إلى برامج تشغيلية (G-Codes) تتحكم في عمل الطابعة لتنفيذ هذه المجسمات. تعد هذه البرمجيات مفتوحة المصدر أي يمكن التحكم في قيم العديد من المتغيرات ذات العلاقة بطريقة عمل الطابعة كسمك الطبقة، درجة حرارة منصة العمل (Envelop temp)، درجة حرارة الطابعة (Printing temp)، سرعات الطابعة و التنقل بين النقاط (Printing and free movement speeds) وذلك لتوائم تغيير نوع المادة الخام المستخدمة، طبيعة المجسم وتحقيق أهم الخصائص المطلوبة فيه. ومن أشهر هذه البرمجيات [21] Cura, CraftWare, 3D Slice, FlashPrint. في هذه الدراسة تم استخدام برنامج الـ Flashprint لتشريح وتوليد الـ G-Code لكل المجسمات التي تم تجهيزها باستخدام برامج عرض الصور الطبية المرشحة للدراسة تحت نفس الإعدادات (الإعدادات الافتراضية للبرنامج باستثناء تعديل سمك الطبقة إلى 0.2 ملم، تفعيل المادة الداخلة) ومن خلال إطلاق أوامر توليد البرامج التشغيلية لبناء النماذج للفقرة العظمية المنتجة من برامج عرض الصور الطبية المختارة للدراسة تم تقدير زمن التشغيل و طول السلك المطلوب من المادة الخام حسب برنامج العرض المستخدم وكما هو موضح بالجدول (1).

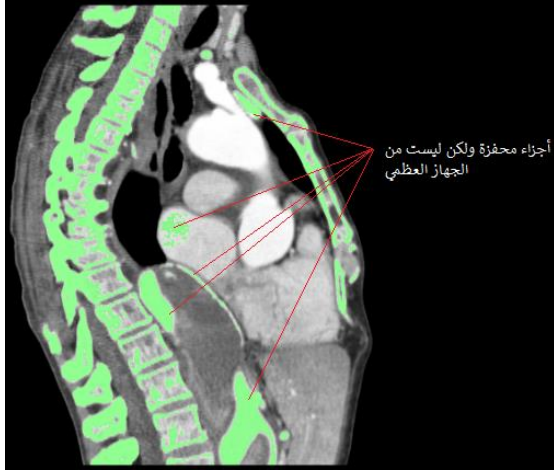
الجدول 1. القيم التقديرية لزمن التشغيل وطول السلك لنماذج برامج العرض

برامج العرض	زمن البناء	الخام المستهلك
RadiAnt	2س و 19د	10.24 متر
InVesalius	2س و 3د	7.63 متر
3D slicer	3س و 9د	17.13 متر

ج. تقنية النمذجة بالصهر والترسيب (FDM)

تعتبر تقنية النمذجة بالصهر والترسيب الـ FDM أحد أهم تقنيات النمذجة السريعة أو ما يعرف بالتصنيع بالإضافة (Additive Manufacturing) (AM). تمتاز هذه التقنية بإنخفاض تكلفة منتجاتها مقارنة بالتقنيات الأخرى، كما أن لمنتجاتها دقة مقاسات جيدة وكافية جداً في التطبيقات الطبية كتمثيل ونمذجة الأعضاء الداخلية للإنسان، وكذلك في كثير من التطبيقات الهندسية التي تحتاج إلى دقة مقاسات عالية. من أهم عيوب هذه التقنية إرتفاع خشونة السطح الخارجي لمنتجاتها وذلك لطبيعية وطريقة بنائها للنماذج المتمثلة في ترسيب مادة النموذج في طبقات بعضها فوق بعض.

تتلخص عملية النمذجة باستخدام هذه التقنية في أربعة مراحل رئيسية. تتضمن المرحلة الأولى تجهيز التصميم ويكون بأحدى ثلاثة طرق؛ التصميم المباشر باستخدام أحد برامج التصميم CAD، إلتقاط صورة ثلاثية الأبعاد باستخدام المساحات الضوئية، إلتقاط صورة ثلاثية الأبعاد باستخدام تقنيات التصوير الطبية). أما المرحلة الثانية فهي مرحلة التشريح و توليد البرنامج التشغيلي (G-Code) حيث يتم تحويل التصميم الثلاثي الأبعاد من نموذج مصممت إلى عدد كبير من الشرائح العرضية تصف كل شريحة من الشرائح تفاصيل التصميم عند مستوى هذه الشريحة وبالتالي تحديد المسارات التي يجب على الباثق أن يسلكها لبناء هذه الشريحة، ويكون مجموع مسارات الباثق في كل طبقات النموذج البرنامج التشغيلي الذي يطلقه البرنامج لتشغيل الطابعة لبناء كامل النموذج. المرحلة الثالثة تتمثل في ضبط إعدادات الطابعة و إطلاق أمر البناء، تعتمد جودة وسلامة النموذج المطبوع من العيوب



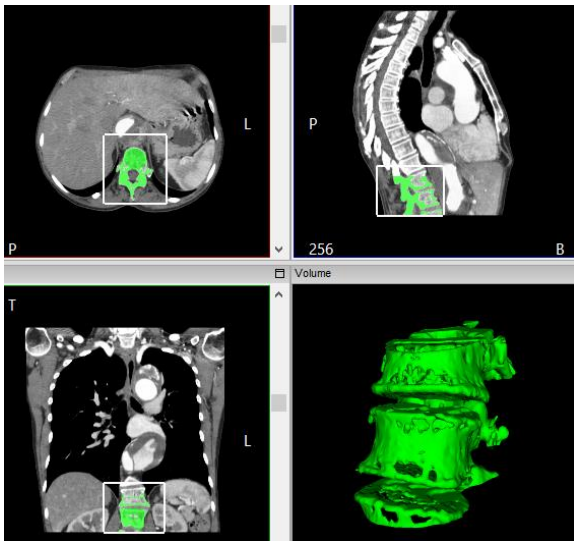
الشكل 3. قطاع طولي لجسم الحالة يُبين التفاصيل الداخلية مع تحفيز العظام الظاهرة في الشريحة المعروضة

3. عرض وتحليل النتائج

كما تم الإشارة إليه سابقاً أن المقارنة بين برمجيات عرض صور الـ DICOM تعتمد على مقارنة جودة مخرجاتها (مجسمات 3D) وسلامتها من العيوب (وجود فجوات في أسطح المجسم، عدم اكتمال جميع تفاصيل المجسم، عدم وضوح الحدود الخارجية للمجسم). لقد تم تقسيم المقارنة إلى مرحلتين (مقارنة المجسمات الافتراضية (soft model) & مقارنة المجسمات فزيائية (Hard model)) متتاليتين تنجز المرحلة الثانية فيما أظهرت نتائج المرحلة الأولى وجود فوارق ذات قيمة في مخرجات هذه البرمجيات وإلا يُكتفى بنتائج المرحلة الأولى ولا تكون هناك جدوى من الإستمرار في المرحلة الثانية.

أ. مقارنة المجسمات الافتراضية

لكي تكون المقارنة غير معقدة وسهلة التقييم تم تخصيص الفقرة ما قبل الأخيرة من أسفل العمود الفقري مع جزئين من الفقرتين التي فوقها والتي تحتها كما هو مبين بالشكل (4) كمحل للمقارنة باستخدام خوارزمية القص (Crop) والتي تُمكن من فصل أي جزء من المجسم عن بقية المجسم الأصلي ومعالجته كمجسم منفصل. هذه العملية تم تنفيذها في جميع البرامج قيد المقارنة.



الشكل 4. المساطق والمجسم للمنطقة المخصصة للدراسة

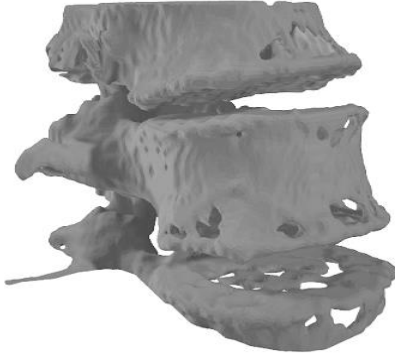
هـ. منهجية البحث

لقد بُنيت فكرة البحث على احتمالية وجود تفاوت في جودة مخرجات برمجيات عرض الصور الطبية المميزة بالصيغة الـ DICOM والتي يترتب عليها اختلاف جودة النماذج الفزيائية التي يمكن انتاجها لهذه الصور. وعلى هذا الأساس تم استعراض عدة برمجيات متاحة بشكل مجاني على شبكة المعلومات واختير منها ثلاثة من أهم برامج عرض الصور الطبية. لقد تم اعتماد معايير التقييم بالشكل الذي يضمن عدالة المقارنة والتي تم تنفيذها في مرحلتين؛ الأولى تتم بين النماذج الافتراضية (Soft copy)، في حالة ما لوحظ وجود فوارق ذات قيمة بين النماذج الافتراضية المولدة بواسطة هذه البرمجيات يُنتقل للمرحلة الثانية والتي تتمثل في انتاج هذه النماذج باستخدام تقنية الـ FDM للمعاينة المباشرة ولتكون دليل مادي مباشر على المقارنة المعقودة.

و. معايير المقارنة

لكي تكون المقارنة صحيحة وتُفضي إلى نتائج موثوقة و عادلة يجب أن تضبط بمعايير محددة تضمن توحيد ظروف المقارنة لكل البرامج موضوع المقارنة، كما يجب أن تكون ثابتة و سارية على كل عناصر المقارنة. ولقد حُددت هذه المعايير بناءً على الخطوات الضرورية و اللازمة لطباعة الفقرة العظمية موضوع الدراسة، ولقد كانت علي النحو التالي:

1. استخدام نفس الحالة الدراسية لكل البرمجيات والمتمثلة في الفقرة ما قبل الأخيرة و جزء من جارتها من العمود الفقري.
2. توليد المجسم للعضو محل الدراسة (الجهاز العظمي) من مجمل الصورة المختارة باستخدام خورزمية الفصل الخاصة بذلك. تعمل هذه الوظيفة على تفعيل العضو المطلوب وتمييزه عن بقية الأعضاء و الأنسجة الموجودة في الصورة، بالإعتماد على الاختلاف الطبيعي في كثافة أعضاء جسم الإنسان والتي تنعكس في الصورة على هيئة إختلاف في شدة الإضاءة [25].
3. تحديد وقص الفقرة التي تم تحديدها للدراسة من مجمل الهيكل العظمي الذي تم تحفيزه في الخطوة السابقة باستخدام خورزمية التحديد و القص. تماثل هذه الخورزمية وظيفه القص المتاحة في برامج الرسم المختلفة غير أنها تقوم بعملية القص في المستويات الثلاثة الرئيسية في نفس الوقت، وهي معرفة بأسماء مختلفة في البرامج المرشحة للدراسة، فهي تعرف بخورزمية الـ crop في البرنامج InVesalius، و خورزمية الـ ROI في البرنامج 3D Slicer أو خورزمية الـ Scalpel في البرنامج RadiAnt. تُفيد هذه الخورزميات في توفير الكثير من الوقت والجهد والتكلفة و تصب التركيز فقط على المنطقة موضوع الدراسة فقط، [27], [25], [26].
4. استخدام خورزمية التعديل الخاصة بسمح الأجزاء التي قد تظهر محفزة مع العضو المعني وهي ليست جزءاً منه كما هو موضح بالشكل (3) والتي عادة ما تظهر بسبب تقارب في كثافتها مع العضو المقصود .
5. مقارنة المنطقة المحددة من المجسم الناتجة من كل برنامج على طبيعتها وبدون أي تعديل أو تحسين كاستخدام خورزميات ملء الفجوات يدوياً أو ألياً.
6. تتم عملية الطباعة باستخدام تقنية الـ FDM وباستخدام نفس الناسخة (FlashForge Creator Pro) و باعدادات تشغيل موحدة لكل حالات النسخ والتي سيتم توضيحها لاحقاً.



(ج) مجسم InVesalius Software

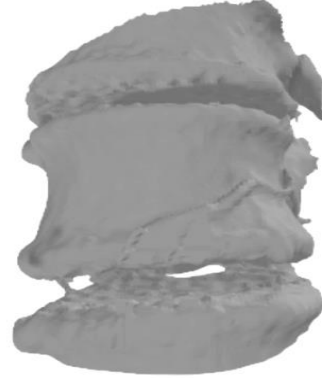
الشكل 5. مجسمات افتراضية ثلاثية الأبعاد تم توليدها من برامج العرض للصور الطبية

يرجع السبب في ظهور هذه العيوب تقريباً إلى نفس السبب المذكور عند الحديث عن مجسم 3D Slicer غير أن الخوارزمية المستخدمة في InVesalius ليست نفس تلك المستخدمة في 3D Slicer مع أنها تعمل بنفس المفهوم تقريباً. يعمل برنامج InVesalius باستخدام خوارزمية تعرف بالـ Segmentation وهي تعمل بنفس فكرة إختلاف الكثافة المذكورة سابقاً، فهي أيضاً السبب وراء ظهور العديد من الفجوات الصغيرة والكبيرة المنتشرة على كل سطح الفقرة تقريباً. وكذلك الحال بالنسبة لداخل الفقرة فالنسيج العظمي الإسفنجي بطبيعته منخفض الكثافة مما يؤدي إلى استبعاده من هيكل الفقرة فظهرت الفقرة شبه مجوفة.

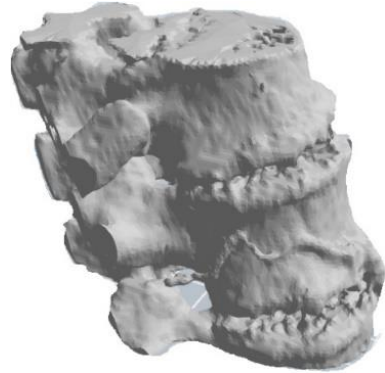
ب. مقارنة المجسمات الفزيائية

بعد أن أظهرت نتائج المرحلة الأولى من المقارنة وجود فوارق ذات قيمة، تم الانتقال إلى المرحلة الثانية والمتمثلة في طباعة هذه النماذج باستخدام تقنية الـ (FDM). لقد تمت عملية الطباعة وفق نفس الإعدادات التي تم الإشارة إليها سابقاً. لتقليل زمن الطباعة واقتصاداً في المادة الخام مع عدم الإخلال بجوهر المقارنة تم إعادة توضع المجسمات واستبعاد كل الأجزاء ما عدا الفقرة العظمية المتكاملة. كما تم إزالة العظام البارزة من أصل الفقرة لأنها بارزة في الفراغ وبناء مثل هذه الأشكال تحتاج لكم كبير من المواد الداعمة والتي تستغرق وقت طويل جداً مع أنه لن يضيف للدراسة معلومة جديدة. لذلك تم إزالة كل الزوائد وجعل الفقرة شبه مكعبة لتسريع عملية الطباعة قدر الإمكان. ولقد تم تهذيب مجسم الفقرة في كل الحالات باستخدام خاصية القص المتاحة في برنامج التشريح الـ FlashPrint، لذلك قد يلاحظ بعض الفوارق في شكل المجسمات للفقرة بسبب إختلاف مستويات القص في الحالات الثلاثة التي يصعب ضبطها متساوية في مجسمات مختلفة، بالإضافة أنها خارجة عن موضوع الدراسة. ومن خلال المقارنة البصرية المباشرة للمجسمات يمكن ملاحظة الفرق الواضح بين الحالات فالمجسم الموضح في (6-أ) (RadiAnt model) و(6-ب) (3D Slicer model) يبدوان سليمان من أي عيوب أو نقص ولا وجود لأي فجوات بسطحهما الخارجي. أما المجسم (6-ج) (InVesalius model) يمكن معاينة وبكل وضوح العديد من الفجوات والفرغات على السطح الخارجي وكذلك الحال فإن لب الفقرة يبدو شبه مجوف وهو غير مطابق للواقع. ومن المهم الإشارة إلى أن هذه المجسمات لم تخضع لأي أعمال تشطيب فهي باقية على حالتها التي أنتجت بها. بعد ملاحظة الأسباب المرجحة وراء ظهور هذه العيوب التي تم الإشارة إليها عند الحديث عن نتائج الجزء الأول من المقارنة، فإنه يجدر الإشارة هنا إلى أن هذه العيوب يمكن علاجها وترميمها بشكل كامل باستخدام خوارزميات التعديل التي تتيحها برامج التشريح، ولكن إنجاز هذه التعديلات تحتاج إلى جهد و وقت كبير مع تركيز كبير جداً لملاحظة كل الفجوات وخاصة الصغيرة منها.

أوضحت نتائج المقارنة بين المجسمات الافتراضية لنفس الفقرات المذكورة وجود تقارب إلى حد ما بين مجسمي الـ RadiAnt والـ 3D Slicer أما المجسم المنتج باستخدام برنامج الـ InVesalius فهو مختلف تماماً عنهما كما يظهر ذلك بكل وضوح في الشكل (5) مع ملاحظة عدم استخدام أي خوارزميات تعديل كغلق الفجوات في كل الحالات، فقط تم استبعاد الأجزاء الغير تابعة بشكل مباشر للمنطقة المحددة. ففي المجسم المبين بالشكل (5-أ) (RadiAnt-model) لا توجد أي عيوب تذكر. أما (5-ب) (3D Slicer-model) فهو خالي من العيوب تقريباً باستثناء وجود نتوءات في المنطقة الفاصلة بين الفقرات (منطقة الغضروف) والتي يرجح سبب حدوثها لاستخدام خوارزمية الفصل Threshold التي تعمل على تحفيز كل النقاط التي تكون شدة إضائتها داخله ضمن المدى الذي تحدده الخوارزمية، وهذا المدى غالباً لا يكون دقيق لأنه يعتمد على خبرة المستخدم في تحديده. و لأن الأجزاء من مادة الغضروف المتصلة بعظم الفقرة تكون لكثافتها قريبة نوعاً ما من كثافة مادة عظام الفقرة فيتم تحفيزها مع عظام الفقرة. أما المجسم (5-ج) فتظهر فيه العديد من العيوب كالفجوات (كبيرة وصغيرة) المنتشرة على سطحه الخارجي مع فراغه من المحتوى الداخلي للفقرة فمن المعروف أن فقرات العمود الفقري تكون من الداخل على هيئة نسيج عظمي منخفض الكثافة يعرف بالـ (Spongy bone) يتصلب وتزداد كثافته كلما اقترب من السطح الخارجي.



(أ) مجسم RadiAnt Software



(ب) مجسم 3D Slicer

4. الاستنتاجات

إعتماداً على ما تم التوصل إليه من نتائج هذه الدراسة يمكن القول بأن برامج عرض الصور الطبية المجانية قوية بما يكفي لتوظيفها في خدمة الأطباء لأغراض التشخيص الدقيق للحالات المرضية وخاصة الخفي منها. ولكن ما يجب ملاحظته أن هذه البرامج تختلف فيما بينها في كثير من الإمكانيات فليس كل البرامج تقدم نفس الخدمة بنفس الجودة، علاوة على أن بعضها يمتاز بسهولة الاستخدام إضافة لجودته القيمة. من خلال المقارنة المنجزة في هذه الدراسة أتضح وجود تأثير واضح لقوة برامج العرض على جودة النماذج المطبوعة بتقنيات النمذجة السريعة. بالإضافة إلى ذلك لوحظ وجود فرق بين مخرجات برامج العرض فيما يخص دعم تقنيات التصنيع بالإضافة (Additive Manufacturing) لطباعة المجسمات للصور الطبية الـDICOM فعلى المستخدم التحقق من قوة مخرجات هذه البرامج (3D-models.STL). وعلى وجه الخصوص فإن هذه الدراسة أثبتت أن مخرجات برنامج RadiAnt و 3D slicer أعلى جودة من مخرجات InVesalius.

5. التوصيات

من خلال ما تم التوصل إليه من نتائج خلال هذه الدراسة يرى الباحث التوصية بالنقاط التالية:

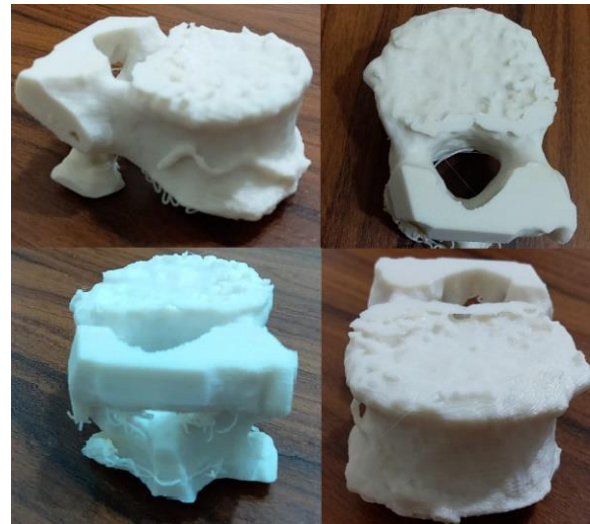
1. على المستخدمين لبرمجيات عرض الصور الطبية الـDICOM لأغراض إنتاج نماذج فريائية باستخدام تقنيات النمذجة المختلفة التحقق من قدرات مخرجات هذه البرامج قبل استخدامها.
2. التوسع في الدراسة للتحقق من مخرجات هذه البرمجيات بعد استخدام خورزميات التعديل المختلفة المتاحة فيها.
3. الاستفادة من هذه الدراسة في إنشاء نواة لفتح معامل تصنيع مجسمات فريائية للصور الطبية داخل المستشفيات المحلية لغرض تعزيز قدرات الأطباء في التشخيص والتخطيط المسبق للعمليات الجراحية المعقدة لرفع نسبة نجاحها.

6. المراجع

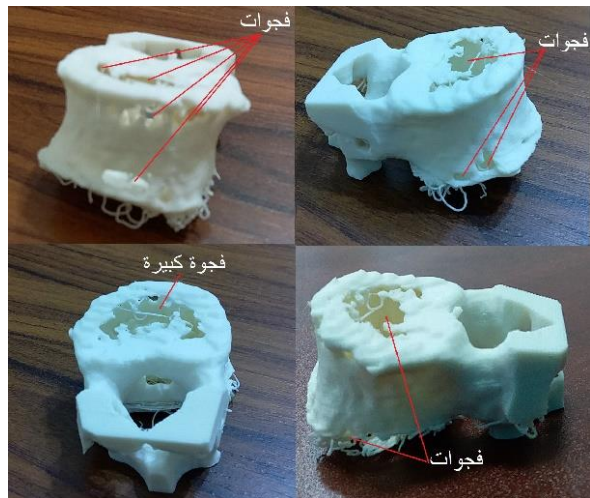
- [1] Tack, P., Victor, J., Gemmel, P., & Annemans, L. (2016). 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review. Biomedical engineering online, 15(1), 115.
- [2] Martelli, N., Serrano, C., van den Brink, H., Pineau, J., Prognon, P., Borget, I., & El Batti, S. (2016). Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: a systematic review. Surgery, 159(6), 1485-1500.
- [3] AbouHashem, Y., Dayal, M., Savanah, S., & Štrkalj, G. (2015). The application of 3D printing in anatomy education. Medical education online, 20(1), 29847.
- [4] Choonara, Y. E., du Toit, L. C., Kumar, P., Kondiah, P. P., & Pillay, V. (2016). 3D-printing and the effect on medical costs: a new era?. Expert review of pharmacoeconomics & outcomes research, 16(1), 23-32.10
- [5] Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods,



(أ) مجسم RadiAnt



(ب) مجسم الـ3D Slicer



(ج) مجسم InVesalius

الشكل 6. صور من واجهات مختلفة للمجسمات المنتجة

- [15] Brühshwein, A., Klever, J., Hoffmann, A. S., Huber, D., Kaufmann, E., Reese, S., & Meyer-Lindenberg, A. (2019). Free DICOM-Viewers for Veterinary Medicine. *Journal of Digital Imaging*, 1-10.
- [16] Yip, S. S., Parmar, C., Blezek, D., Estepar, R. S. J., Pieper, S., Kim, J., & Aerts, H. J. (2017). Application of the 3D slicer chest imaging platform segmentation algorithm for large lung nodule delineation. *PloS one*, 12(6), e0178944.
- [17] Frączek, M., Kolator, M., & Kręcicki, T. (2016). The usefulness of free dicom viewers in rhinologic practice. *Wiadomosci lekarskie (Warsaw, Poland: 1960)*, 69(3 pt 2), 597-601.
- [18] <https://www.radiantviewer.com/about/>. 20/3/2020, 11:45 AM
- [19] <https://medevel.com/invesalius-3d-dicom/>. 20/3/2020, 12:30 AM
- [20] <https://www.slicer.org/>. 23/3/2020, 09:00 AM
- [21] Shah, A., Raza, A., Hassan, B., & Shah, A. S. (2015). A review of slicing techniques in software engineering.
- [22] Chennakesava, P., & Narayan, Y. S. (2014). Fused deposition modeling-insights. In *Proceedings of the International Conference on Advances in Design and Manufacturing ICAD&M (Vol. 14, pp. 1345-1350)*.
- [23] Salem Bala, A., & bin Wahab, S. (2016). Elements and materials improve the FDM products: A review. In *Advanced Engineering Forum (Vol. 16, pp. 33-51)*. Trans Tech Publications.
- [24] <https://www.dicomlibrary.com/>. 23/3/2020, 11:00 AM.
- [25] <https://www.slicer.org/>. 10/6/2020, 10:30 AM.
- [26] <https://www.radiantviewer.com/>. 25/6/2020, 12:30 AM.
- [27] <https://medevel.com/invesalius-3d-dicom/>. 9/7/2020, 10:00.
- applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172-196.
- [6] Radenkovic, D., Solouk, A., & Seifalian, A. (2016). Personalized development of human organs using 3D printing technology. *Medical hypotheses*, 87, 30-33.
- [7] Kolesky, D. B., Homan, K. A., Skylar-Scott, M. A., & Lewis, J. A. (2016). Three-dimensional bioprinting of thick vascularized tissues. *Proceedings of the national academy of sciences*, 113(12), 3179-3184.
- [8] <https://organovo.com/technology-platform/>. 11/2/2020, 10:03 AM
- [9] Ten Kate, J., Smit, G., & Breedveld, P. (2017). 3D-printed upper limb prostheses: a review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 12(3), 300-314.
- [10] Yuan, F., Sun, Y., Zhang, L., & Sun, Y. (2019). Accuracy of chair-side fused-deposition modelling for dental applications. *Rapid Prototyping Journal*.
- [11] Tack, P., Victor, J., Gemmel, P., & Annemans, L. (2016). 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review. *Biomedical engineering online*, 15(1), 115.
- [12] Watson, R. A. (2014). A low-cost surgical application of additive fabrication. *Journal of Surgical Education*, 71(1), 14-17.
- [13] Rengier, F., Mehndiratta, A., Von Tengg-Kobligk, H., Zechmann, C. M., Unterhinninghofen, R., Kauczor, H. U., & Giesel, F. L. (2010). 3D printing based on imaging data: review of medical applications. *International journal of computer assisted radiology and surgery*, 5(4), 335-341.
- [14] Haak, D., Page, C. E., & Deserno, T. M. (2016). A survey of DICOM viewer software to integrate clinical research and medical imaging. *Journal of digital imaging*, 29(2), 206-215.