

Role of Computerized Engineering Software in the Virtual Planning of Total Hip Arthroplasty

Dr. Mohamad Ayham Darwich*

(Received 25 / 5 / 2022. Accepted 23 / 6 / 2022)

□ ABSTRACT □

Background: Finite element analysis is a numerical analysis that is widely used to evaluate engineering and biomechanical problems, before they occur whereby a complex engineering model is constructed, that simulates a real body with its physical properties, and thus stresses can be calculated on the bone around the joints or on the structure of artificial elements.

Objective: Obtaining a three-dimensional engineering model for a femur bone with a total hip arthroplasty based on CT images.

Materials & Methods: A three dimensional computer model of femur bone from a patient was constructed. CT images were used by Mimics program, and a three dimensional engineering design for artificial hip joint by solidworks program. The joint model was combined with the bone by Powershape program.

Results: Obtaining a three-dimensional engineering model for femur bone, and placing the joint within it according to the surgical operations conditions.

Conclusion: by using engineering modeling, and simulation programs, we can obtain 3D customized models. So it can be used later to perform finite element analysis, and study the places where stresses are distributed in the bone surrounding the implants.

Keywords: THA – Artificial hip joint – Femur bone.

* Associate Professor – Faculty of Technical Engineering – Tartus University-Tartous- Syria.
Mohamaddarwich@gmail.com

دور البرامج الهندسية الحاسوبية في التخطيط الافتراضي للاستبدال الكلي لمفصل الورك

د. محمد أيهم درويش*

(تاريخ الإيداع 25 / 5 / 2022. قُبِلَ للنشر في 23 / 6 / 2022)

□ ملخص □

خلفية البحث: تحليل العناصر المنتهية هو تحليل عددي يتم استخدامه بشكل واسع في تحليل الأحمال الهندسية قبل تنفيذها حيث يمكن بناء نموذج هندسي معقد يحاكي جسماً حقيقياً بخواصه الفيزيائية وبيئته المحيطة وبالتالي يمكن حساب الإجهادات والتشوهات.

هدف البحث: مناقشة دور البرامج الهندسية الحاسوبية في التخطيط الافتراضي لتدخلات الجراحة التعويضية بشكل ثلاثي الأبعاد انطلاقاً من الصور الطبية المقطعية، حيث سيتم إظهار دور هذه البرامج في استنتاج النموذج ثلاثي الأبعاد للعظم وكيفية إنتاج نموذج المفصل الصناعي مما يسمح باختبار عملية الاندماج العظمي وتقييم الاستقرار قبل القيام بالعمل الجراحي الفعلي.

مواد البحث و طرائقه: تم استخدام برنامج Mimics للحصول على نموذج حاسوبي ثلاثي الأبعاد مأخوذ من صور مقطعية محوسبة CT لأحد المرضى وتبيان كيفية استخدام البرامج الهندسية الحاسوبية في تصميم المفاصل الصناعية باستخدام برنامج solidworks و دمج نموذجي المفصل والعظم باستخدام برنامج Powershape.

النتائج: الحصول على نموذج هندسي لعظم الفخذ وتوضّع المفصل ضمنه وفق الأبعاد التشريحية للمريض. **الاستنتاج:** يمكننا من خلال برامج النمذجة و المحاكاة الهندسية الحصول على نماذج رقمية خاصة بكل حالة على حدى و هي بدورها يمكن استخدامها لاحقاً لإجراء تحاليل العناصر المنتهية و دراسة أماكن توزيع الإجهادات في العظم المحيط بالمفصل.

الكلمات المفتاحية: الاستبدال الكلي لمفصل الورك - مفصل الورك الصناعي - عظم الفخذ

*أستاذ مساعد - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس - طروس - سورية. Mohamaddarwich@gmail.com

مقدمة:**1-1 الخلفية النظرية:**

يتكون جسم الإنسان من 270 قطعة عظمية و التي تصبح 206 بعد مرحلة البلوغ، وذلك بسبب اندماج عدّة عظام مع بعضها البعض [1]. يقوم مفصل الورك بنقل الأحمال من الجزء العلوي للجسم إلى منطقة البطن ويتراوح طوله 45 سم تقريباً مشكلاً ربع طول الإنسان [2]. يعدّ مفصل الورك مفصلاً مصلياً وهو يتّبت الطرفين السفليين إلى الحوض مزوداً القدمين بعدّة أنواع من الحركات وهو يتشكل من الرأس الفخذي والجوف الحقيّ الفخذي.

مع ازدياد حجم الرأس الفخذي، تزداد مجالات الحركة وتزداد بالتالي إمكانية حركة المفصل [3]. بالمقابل، يعتمد حجم رأس المفصل على البنية التشريحية لجسم الإنسان حيث تتراوح أقطار رأس الفخذ من 22 حتى 54 مم. يتحمل مفصل الفخذ كامل وزن الجسم، وهو يؤمن استقرار جسم الإنسان أثناء الوقوف والحركة. يتم فصل الرأس الفخذي مع الحوض سامحاً بتنفيذ حركات بعدّة درجات حرية. يتعرض مفصل الفخذ للاستبدال الكلي بسبب الرضوض أو بسبب الاهتلاك الطبيعي عند المرضى المسنين وهو يعدّ إجراء جراحي دقيق وناجح في 90% من الحالات [4]. تنتج القوى المطبقة على المفصل الصناعي عن الإجهادات الميكانيكية المتغيرة مع الزمن، وهو ما يؤدي إلى حدوث تعب في معدن الزرعة والإسراع في حدوث الكسر، وعلى الرغم من تخفيض حالات حدوث الكسر الناتج عن التعب في السنوات الأخيرة، إلا أن ذلك ما زال يُشكّل مشكلة في الوسط الطبّي [5].

لكي نفهم آلية الكسر السريري للزرعات علينا أن نفهم ونحلل القوى المؤثرة على الفخذ، و أن نحدّد الإجهادات المتولدة ضمن العظم ومادة الزرعة وأثار اهتلاكها وتراكم الضرر وعملية الترميم وهو ما يعدّ أساسياً في تحليل حالات الكسر، واختبار فعالية الزرعة قبل التطبيق السريري.

1-2 الدراسات السابقة

قام Saverio Affatato وزملاؤه عام 2015 بدراسة المواد الحيوية المتقدمة الداخلة في مفصل الورك ومراجعة المواد المركبة البوليميرية والسيراميكية كمحامل بديلة، حيث يعدّ اهتراء مفاصل الورك الصناعية مشكلة سريرية كبيرة تشمل حالياً عدداً متزايداً من المرضى. هدفت هذه الدراسة إلى مراجعة التطور والحالة الحالية لصناعة المواد المركبة السيراميكية والبوليميرية التي يتم استخدامها في مجال جراحة العظام (Orthopaedics) كغرسات مفصل الورك الصناعية [6].

بينت الدراسة بأن الجمع بين مركب متعدد الأطوار يؤدي إلى تحسين السلوك الترابولوجي والميكانيكي للأطراف الاصطناعية لمفصل الورك واسع الانتشار. إن الطبيعة المعتمدة لهذه المواد والتي تتضمن المزج والتفاعل بين المكونات متعددة الأطوار تحد من التنبؤ بسلوك الاحتكاك والاهتراء.

قام Sachin G Ghalme وزملاؤه عام 2016 بدراسة المواد الحيوية المستخدمة في استبدال مفصل الورك لتحسين نوعية مرضى التهاب المفاصل (arthritis)، حيث اكتسب استبدال المفصل التالف بمفصل اصطناعي إقبالاً وأصبح ضرورياً في هذه الحالات.

تمثلت الغاية الأساسية لهذه الدراسة في إجراء تقييم المواد الحيوية التي تم تطويرها لاستبدال مفصل الورك من البداية إلى وقتنا الحاضر، والتي من الضروري أن تتمتع بمعدل اهتراء واحتكاك أقل مع زيادة المتانة. حيث تم إجراء محاولة لتلخيص تطور المواد الحيوية من الأيام الأولى للمعادن والبوليميرات إلى الأيام الحالية للسيراميك المستخدم في مجال

تقويم العظام لاستبدال مفصل الورك. حيث لا يزال هناك حاجة إلى تقييم مواد THR المثالية مع تغيير السطح المعدني وتحسين البولي إيثيلين وتطوير المواد المركبة السيراميكية [7].

قام Jesica Anguiano- Sanchez وزملاؤه عام 2017 بدراسة تأثير الأغلفة المصنعة من مادة PEEK على تحجيب إجهاد زرعة الورك، والتحليل بطريقة العناصر المنتهية. يعتبر تحجيب الإجهاد (Stress Shielding) عامل فشل في عمليات الاستبدال الكلي للورك. تقترح هذه الدراسة مفهوم تصميم غرسات الورك باستخدام مزيج من الجذع المعدني مع غلاف بوليميري ((Poly ether ether ketone (PEEK) ، تمت محاكاة استجابة التصميم المقترح باستخدام جذوع (stems) من سبائك التيتانيوم وأغلفة PEEK بسماكات تتراوح بين 100-400 μm عند التركيز على المنطقة القريبة من الزرعة يصل انتقال الإجهاد المتزايد إلى العظم الاسفنجي بين (47- 60) %، ويمكن أن توازن هذه الزيادة في الحمل لأثر فقدان مكونات العظام المعدنية بسبب تحجيب الإجهاد وهو ما يؤمل بإطالة عمر الزرع [8].

يؤدي النقل غير الكافي للحمل بين العظم والزرعة إلى فقدان العظم المعدني وبالتالي عدم الاتصال بين العظم ومفصل الفخذ الصناعي، وهو ما يعرف بتحجيب الإجهاد. تظهر الدراسات طريقتين للتعامل مع هذا النوع من الإجهاد في زرعات الورك وهما: التصميم والمواد. ركزت العديد من الدراسات على تغيير هندسة زرعة الورك لتقليل تأثير هذا الإجهاد. فمثلاً قامت تلك الدراسة باقتراح مفهوم تصميم يجمع بين بين الجذع المعدني (metallic stem) وغلاف البوليمير المصمم من مادة (PEEK) والتي تعرف بتوافقها الحيوي، مما يتيح استخدامها في الزرع العظمي وجراحة العمود الفقري وزرع الأسنان. ويوفّر التحليل بطريقة العناصر المنتهية الإثبات الأولي لمفهوم تصميم زرعة مفصل الورك. أظهرت نتائج هذه الدراسة أن غلاف PEEK على زرعة الورك يمكن أن يحسّن ويسهل انتقال الحمل إلى العظم، مما يقلل من تأثير Stress shielding ويطيل عمر الزرع نظراً لأن هذا البوليمير يحتوي على معامل يونغ مشابه للعظم. وأظهرت النماذج ذات الحالة المغلفة تغييراً كبيراً في إجهاد العظم الاسفنجي (cancellous bone stress) بزيادة بين 81- 91%.

قامت Natalia Zalc Leonhardt وزملاؤه عام 2017 بدراسة كسور عنق الفخذ I Gharden و II وتقييم الانحراف في المستوي السهمي. حيث كان الهدف من هذه الدراسة هو تقييم معدل الانحراف في التأثير الشعاعي الجانبي للمرضى الذين يعانون من كسر في عنق الفخذ المُصنّف على أنه غير منحرف في الجهة الأمامية الخلفية (Garden I and II). تمّ تقييم 19 مريضاً يعانون من كسور عنق الفخذ المصنّفين في Garden I and II وتقييم الانحراف في المستوي السهمي (Lateral view) حيث أظهرت نتائج 15 حالة انحرافات في الجهة الجانبية بمتوسط 18.6 درجة (± 15.5)، كما كانت كسور عنق الفخذ شائعة في الأشخاص المسنين وهي تمثل 50 % من كسور الورك [9].

قام R. De Santis وزملاؤه عام 2017 بدراسة المواد المركبة في مفصل الورك الاصطناعي، حيث يمثل كسر الورك مشكلة صحية رئيسية تواجه كبار السن. قدمت هذه الدراسة الخصائص الميكانيكية الحيوية الأساسية للأنسجة المكونة لمفصل الورك ووضحت مفهوم المادة المركبة وتباين الخواص heterogeneity ، بعد ذلك تم توضيح أحدث تقنيات صناعة المواد المستخدمة في تصنيع مكونات مفصل الورك الصناعي بالكامل وهي مقسمة إلى ثلاثة أقسام فرعية وتم النظر في: الاسمنت العظمي (bone cements) ، كأس الحُق (acetabular cup) ، جذع الورك (the hip stem) وكذلك تم نمذجة اختبار المواد المركبة ذات الأساس البوليميري لجذع الورك [10].

قام Massimilian Merola وزملاؤه عام 2019 بدراسة المواد المستخدمة في مفصل الورك الاصطناعي والبحث في اعتبارات الاهتراء والتحميل. هدفت هذه الدراسة إلى مراجعة طرق تصنيع المواد الحيوية المستخدمة في زراعة مفصل الورك، حيث تمّ تطبيق غرسات ورك مصنعة من مجموعة مختلفة من المواد مثل: المعادن، السيراميك، والبوليميرات. تم

في هذه الدراسة تحليل الخصائص المحددة المطلوبة للمواد الحيوية المستخدمة في تقويم مفصل الورك من حيث كونها متوافقة حيوياً، مقاومة للإجهاد الحاد (resisting heavy stress)، مقاومة قوى الاحتكاك المنخفضة للانزلاق، ومعدل الاهتراء المنخفض. وتم اقتراح بعض التعديلات على مفصل الورك الاصطناعي الحالي، وتحليل الدراسات العلمية وجمع المعلومات عن الاستجابة الميكانيكية للمواد المقترحة واستجابة جسم الإنسان لها [11].

ومن المواد الأكثر استخداماً هي: سبائك التيتانيوم، الفولاذ المقاوم للصدأ، سبائك خاصة عالية المتانة، الألومينا، الزركونيا، الزركونيا المقواة بالألومينا (Zirconia toughened alumina (ZTA)) حيث غالباً تتكون الجذوع (Stems) والعنق (necks) من المعادن، في حين أن رؤوس الفخذ يمكن أن تكون من المعدن والسيراميك، وعظم الحُق يمكن أن يصنع من المعادن، السيراميك، أو البوليميرات. هناك العديد من التركيبات التي يمكن تحقيقها باستخدام هذه المواد بهدف الاقتران بأقل قدر من المخاوف وأعلى احتمالات النجاح على المدى الطويل.

أكدت تلك الدراسة على استخدام المواد المتوافقة حيوياً والتي تكون قوية بما يكفي لتحمل أنماط الحياة الأكثر نشاطاً للعديد من المرضى، مع إنتاج الحد الأدنى من بقايا الاهتراء (wear debris) نظراً لأن الموضوع الرئيسي الذي يؤثر على متانة الطرف الاصطناعي على المدى الطويل هو الاهتراء وانتشار جزيئات الاهتراء، ويتم حالياً إجراء أبحاث واسعة النطاق لتحسين هذه المواد الحيوية لإعطاء فترة خدمة أطول للأطراف الاصطناعية، لذلك فإن تحليل مكونات الاهتراء ضروري للتقدم في المستقبل.

تم إثبات أن زرات ceramic- ceramic توفر معدلات اهتراء أقل مقارنة بخيارات المواد الأخرى المحتملة لمفصل الورك، كما تتأثر الاتجاهات في تطوير المواد بشدة بالرغبة في تحسين وظيفة الورك وثباته من خلال استخدام أقطار أكبر للرأس. قام Romeu Rony Cavalcante da costa عام 2019 بدراسة تصميم الجذع الفخذي من مادة مركبة بوليميرية لزراعة مفصل الورك. إن الأطراف الاصطناعية لمفصل الورك هي مكونات هيكلية لا تزال تواجه بعض المشكلات مثل: تفاعل الخصائص الفيزيائية والحيوية بين الجذع (stem) وعظم الفخذ البشري. حيث تسمح المواد المركبة بالحصول على هياكل ذات متانة عالية مع مجموعة كبيرة ومتنوعة من معاملات المرونة والخصائص المناسبة في مجال زراعة العظام (orthopedic implants) لذلك كان الهدف من هذه الدراسة هو تطوير نموذج اصطناعي مع مادة استئصال بوليميرية متوافقة حيوياً وهي البولي يورثان (Polyurethane (PU)) المستخرج من زيت الخروع (Castor oil) المدعم بالألياف الزجاجية. تم صنع الزرات من كل من PU النقي، PU المدعم بألياف الزجاج، و PU المدعم بألياف الزجاج وكربونات الكالسيوم معاً. حيث تمت إضافة هذه المواد بنسب وزنية مختلفة من الألياف تتوافق إما مع 8 أو 16 حزمة ليفية. تم إنشاء مواد التقوية على شكل نواة (core) يتم إدخالها في الطرف الاصطناعي للورك، حيث تم إنتاج نماذج الجذع (stem) والنواة (core) باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد. أظهرت النتائج إمكانات ميكانيكية جيدة لهذه المواد في تطبيقات جراحة العظام [12]

قام Jia Li وزملاؤه عام 2019 بدراسة مقارنة بين ثلاث غرسات مختلفة للتثبيت الداخلي في علاج كسر عنق الفخذ وتحليل العناصر المنتهية. حيث تستخدم التداخلات الجراحية الحالية لكسور عنق الفخذ إما براغي مقناة (CCS) أو برغي واحد كبير بزوايا ثابتة مع صفيحة جانبية [13].

على الرغم من هذه التدخلات، لا تزال الحاجة إلى إعادة الجراحة عالية (10.0 - 48.8 %) ولم تتغير إلى حد كبير خلال الثلاثين عاماً الماضية. يرتبط كسر عنق الفخذ بحالات مرضية ووفيات وتكاليف كبيرة. تم في هذه الدراسة

تصميم مجموعة صفيحة التي تجمع بين القوة وكلاً من نوعي CCS والبرغي المنزلق في الورك من خلال توفير ثلاثة براغي ديناميكية عند زاوية ثابتة مع صفيحة جانبية وهي الضغط الانزلاقي التشريحي لعنق قام William M. Mihalko MD وزملاؤه عام 2020 بدراسة مواد جديدة لاستبدال مفصل الورك والركبة. حيث على مدى العقود الثلاثة الماضية كان هناك تطورات كبيرة في تقنية استبدال الركبة والورك والتي كانت تتعلق بمشكلة حساسية النسيج الحيوية وآليات التخلص من الانحلال العفن (septic loosening). استعرضت هذه الدراسة تقنية مواد الزرع الحالية في جراحة استبدال مفصل الركبة والورك، وناقشت بعض الاحتياجات التي تتم تلبيتها في مجال المواد الحيوية والتكنولوجيا التي تكون قادرة على حل المشكلات الأكثر شيوعاً في جراحة استبدال مفصل الورك والركبة [14].

قام Hemant Kumar Raut عام 2020 بدراسة التوافق الحيوي للمواد الحيوية لتجديد الأنسجة واستبدالها. حيث تظهر المواد الحيوية الناشئة لتطبيقات هندسة الأنسجة عدداً كبيراً من التفاعلات (على طول واجهتها وداخلها) مع الأنسجة البشرية. وركزت هذه الدراسة على الاستراتيجيات المنفذة في بعض المواد الحيوية التي تم تطويرها مؤخراً لا سيما لتجديد الأنسجة الرخوة والصلبة واستبدالها للتغلب على استجابة الجسم الغريب المحتملة وضمان الأداء الفعال للمادة الحيوية. ولخصت هذه الدراسة بعض التحديات الرئيسية التي تواجه التوافق الحيوي للمواد الحيوية المستخدمة في تجديد الأنسجة أو استبدالها وكيف تطورت معالجة هذه التحديات في السنوات الأخيرة مما مهد الطريق لمواد حيوية مصممة بشكل للاستخدام متعدد الوظائف. حيث كان من اعتبارات التوافق الحيوي :

- عوامل مستوى السطح: بما أن سطح المادة الحيوية هو أول من يلامس الأنسجة البشرية فمن الضروري ألا يتسبب في أية تأثيرات محلية غير مرغوب فيها من مضيها. تعتمد استجابة الجسم الغريب للمادة الحيوية على عدد من العوامل مثل: مدة التلامس، التشكل (morphology)، مدة التحلل (degradation rate)، الحجم، و sterility.
- عوامل مستوى الحمولة (bulk): يجب أن تعمل العديد من المواد الحيوية مثل: الغرسات، الدعامات (stents)، أجهزة الحساسات المرنة، وأجهزة التشخيص في البيئات الميكانيكية الحيوية. عند تصميم مثل هذه المواد الحيوية من الضروري مراعاة ظروف التحميل الفيزيولوجية (الدوران المحوري، استطالة الانثناء (flexion extension)، والانحناء الجانبي) التي ستعمل فيها في الوقت الفعلي. على سبيل المثال يجب أن تتمتع الغرسات بمتانة هيكلية كافية لتحمل القوى العاملة في تلك الظروف وبالتالي فإن الخواص الميكانيكية مثل: معامل المرونة، مقاومة الشد، المطيلية، عمر التعب، المتانة، عمر التعب بالاحت (fretting fatigue life)، وخصائص الاهتراء للزرعة لها أهمية. في الحالة المثالية يجب أن تتمتع مواد الزرع بحمولة تحميل (load-bearing implant materials) مثل: زرعة العظام أو زرع الأسنان بخصائص ميكانيكية (معامل المرونة والمتانة) مماثلة لتلك الموجودة في العظم الأصلي للمساعدة في تجنب تركيز الإجهاد أو توزيع الإجهاد غير المنتظم في الواجهة [15].

قامت Ellen Lutnick عام 2020 باستعراض العلاج الجراحي لكسور عنق الفخذ. إن كسر الورك هو سبب للقلق لدى كبار السن، إنه أحد الأسباب الرئيسية للإصابة المؤلمة في هذه الفئة السكانية ويرتبط بارتفاع مخاطر الحالات المرضية والوفيات لجميع الأسباب. يفرض تصنيف The Garden لكسور عنق الفخذ (femoral neck fractures (FNF)) العلاج عن طريق التثبيت الداخلي أو استبدال مفصل الورك بالكامل بما في ذلك الاستئصال النصفى للمفصل (hemiarthroplasty) أو تقويم مفصل الورك بالكامل [16].

تلخص هذه الدراسة الاختلاف في النتائج بين التثبيت الداخلي واستئصال نصف المفصل وتقويم مفصل الورك بالكامل لكسور عنق الفخذ (FNF) المزاحة وغير المزاحة في الأشخاص المسنين وبشكل أكثر تحديداً يسلب الضوء على مخاطر وفوائد التدعيم (cemented) وأسلوب عدم التدعيم (uncemented) ضمن الاستراتيجيات الجراحية. هناك أدلة متوافقة لدعم استخدام التثبيت الداخلي إما باستخدام براغي مقناة (cannulated screws) أو براغي انزلاقية في الورك لعلاج معظم المرضى الذين يعانون من FNF غير المزاحة. تؤدي هذه الأساليب بشكل عام إلى نتائج جيدة من حيث الألم وأداء وظيفة الورك. ومع ذلك نظراً لأن التثبيت الداخلي يأتي مع معدلات خطر أعلى لإعادة العملية يمكن اعتبار تقويم المفاصل في المرضى الذين لا يحتملون الإجراءات الثانوية. ومع ذلك فإن الاختبار بين HA و THA ودور (Cement) يبقى غير مؤكد. قد يكون THA مفضلاً للمرضى الذين يرتفع الطلب عليهم والذين يمكن الاستفادة من وظيفة ما بعد العملية الجراحية المحسنة وطول عمر الزرع.

قام Paulsson وزملاؤه عام 2017 بدراسة علاج كسور الفخذ باستخدام برغي منزلق في الورك (sliding hip screw) أو براغي مقناة وبدراسة تحليل Meta Analysis. تشمل خيارات العلاج التثبيت الداخلي (Internal fixation (IF)) واستئصال نصفي للمفصل (HA). ومع ذلك فإن التطبيق السريري لهذين الخيارين دائماً ما يكون مثيراً للجدل بسبب الأذية السريرية المحتملة والأداء ما بعد إجراء عملية الجراحة والمضاعفات البدائية وعوامل أخرى. تم تضمين تسعة دراسات شملت 1662 مريضاً (828 مريضاً بمجموعة (SHS (Sliding hip screw) و 834 مريضاً بمجموعة (CCS (cannulated compress screws)). في هذه الدراسة كان ل SHS معدل أعلى من النخر اللوعائي، وكان ل CCS معدل أعلى لإزالة الزرعة [17].

قام Muhammad Umar Khan وزملاؤه عام 2021 بدراسة التطورات الحديثة في المواد البوليميرية المركبة لهندسة الأنسجة والأدوية المتجددة. حيث يمكن الحصول على المادة البوليميرية المركبة ذات السمات المرغوبة عن طريق اختيار البوليميرات الحيوية المناسبة مع الإضافات المختارة للحصول على تفاعل البوليمير المحشو. يمكن تعديل العديد من البارامترات وفقاً لمتطلبات التصميم مثل: التركيب الكيميائي، حركية التحلل (degradation kinetics)، الخواص الميكانيكية للمواد البوليميرية الحيوية المركبة [18].

قام Ranjet Kumar Singh وزملاؤه عام 2021 بدراسة تقييم المواد الحيوية المستخدمة لاستبدال مفصل الورك. حيث إن استبدال مفصل الورك هو عملية جراحية يتم فيها استبدال مفصل الورك الطبيعي بمفصل ورك اصطناعي يساعد الإنسان على الحصول على نمط حياة أفضل عن طريق تقليل الألم الذي لا مفر منه وتحسين حركة الساق. يعتبر اختيار المواد والمتانة لاستبدال مفصل الورك ذو أهمية كبيرة لعملية الزرع، لأنه يحدد كيفية نقل الحمل عبر الجذع. عند اختيار المواد تم العثور على العديد من المشاكل المتعلقة باستبدال مفصل الورك مثل: تفاعل الأنسجة الضار، رد الفعل التحسسي ومقاومة التآكل والاهتراء. وللتغلب على هذه المشكلة يجب ابتكار مادة حيوية جديدة مختلفة. لذلك تقدّم هذه الدراسة وصفاً موجزاً حول المواد الحيوية المختلفة المستخدمة لاستبدال مفصل الورك [19].

قامت دراسة Kamran Hassani وزملاؤه عام 2021 بدراسة دور طبقات الألياف في استقرار وأداء مفصل الورك الاصطناعي. هدفت هذه الدراسة إلى إجراء تحليل ميكانيكي حيوي لأداء المفاصل المصنعة من المواد المركبة من (Carbon/ PEEK) التي تحتوي على ثلاث طبقات ألياف مختلفة بالمقارنة مع الفولاذ المقاوم للصدأ التقليدي (Stainless Steel (SS)). أظهرت نتائج هذه الدراسة ضغوطاً وإجهادات أقل في الأطراف الاصطناعية المصنوعة من المواد المركبة مقارنة بالأطراف الاصطناعية المصنوعة من SS. [20].

قام Deepika Shekhawat وزملاؤه عام 2021 بدراسة السلوك الترابيولوجي للمواد الحيوية في تقويم مفصل الورك، حيث يجب التقليل من توليد اهتراء الجزيئات في المحامل المفصلية من أجل زيادة متانتها. قَدّمت هذه الدراسة ملخصاً موجزاً عن المجال متعدد التخصصات في الترابيولوجيا الذي يتعامل مع السطح البيني بين سطحين أو أكثر بينهما حركة نسبية، فيما يتعلق بالمواد الترابيولوجية الناشئة ذات الكفاءة في استخدام الطاقة والقابلة للاستمرار على أساس طويل المدى فإن تحديد الخصائص الترابيولوجية (الاهتراء، الاحتكاك، التزيت والتشحيم) للمواد الحيوية في ظروف التشغيل المختلفة له أهمية قصوى. تم في هذه الدراسة مراجعة الاستجابة الترابيولوجية للمواد الحيوية (البوليميرات، المعادن والسيراميك) المرتبطة بمفصل الورك واستعراض موجز لأحدث مواد الزرع لاستبدال مفصل الورك. حيث يعتبر السيراميك مادة تحمّل أكثر ملائمة نظراً لخصائصها الميكانيكية والترابيولوجية التي تقترب من خصائص العظام الفعلية، في حين أشارت النتائج السريرية للدراسة لصعوبة إنتاج مواد حيوية سيراميكية مع تعديل السطح [21].

أهمية البحث وأهدافه:

1-3 أهداف البحث:

استخلاص نموذج ثلاثي الأبعاد لعظم العظم الفخذ انطلاقاً من صورة CT لمريض بالغ وحفر أماكن تواضع المفصل الصناعي وفقاً لمتطلبات العمل الجراحي في تحاليل العناصر المنتهية والتخطيط الافتراضي للعمل الجراحي. يمكن التعبير عن الهدف الرئيس لهذا البحث بالنقاط التالية:

- استنتاج نموذج ثلاثي الأبعاد مخصص للمريض بالاعتماد على الصور المقطعية ثلاثية الأبعاد.
- استثمار الوظائف الرسومية والتصميمية في برامج الرسم الهندسي لتصميم مفصل الورك الصناعي.
- استثمار وظائف الدمج والطرح الرقمي في برامج التجميع الهندسي لتكريب مفصل الورك ضمن البيئة الحيوية.

2- المواد والطرائق:

أجريت الدراسة في الجمهورية العربية السورية في الفترة ما بين 2019/4/2 - 2020/4/2 لتصميم و استخلاص نموذج ثلاثي الأبعاد لعظم الفخذ الطبيعي ثم حفره وإعادة تشكيله.

2-1 العينة المدروسة:

نموذج حاسوبي ثلاثي الأبعاد تم استخلاصه من صورة مقطعية محوسبة CT لمريض ذكر يبلغ من العمر 50 عاماً من مراجعي المشفى.

2-2 معايير اختيار العينة:

1. شخص طبيعي في العقد الخامس من العمر.
2. عدم وجود زرع في الفخذ للمحافظة على جودة الصورة الشعاعية و عدم تشوهها.
3. المريض الذي أخذت الصورة له خالي من أية أمراض جهازية.
4. عدم وجود أية إصابات رضية أو كسور سابقة أو أية شذوذات تشريحية في عظم الفخذ.

2-3 البرامج الحاسوبية المستخدمة في الدراسة:

برنامج Mimics: لإنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد لعظم الفخذ انطلاقاً من الصورة الشعاعية الطبقيّة المحورية (CT).

برنامج Solidworks: لتصميم مفصل الورك الصناعي بشكل ثلاثي الأبعاد و هي يتكون من الجذع المعدني و الرأس الفخذي و الكأس الحُقَيّ.

برنامج Powershape: لحفر نموذج العظم حسب متطلبات العمل الجراحي وتركيب نموذج مفصل الورك ضمنه مما يساعد في التخطيط الافتراضي للعمل الجراحي وعملية الترميم بالكامل.

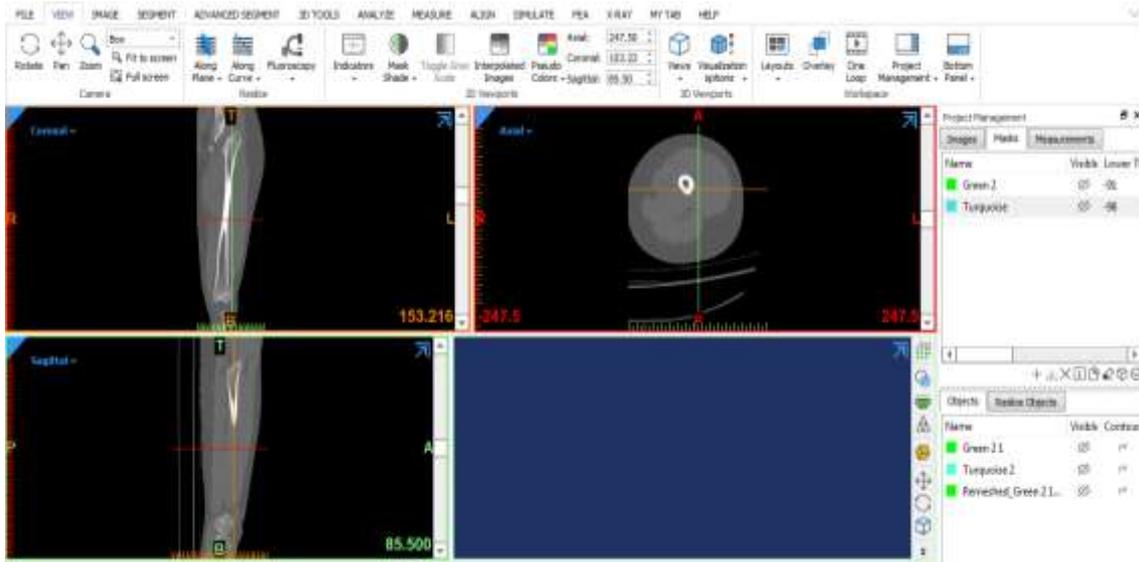
طرائق البحث ومواده:

2-4 طريقة العمل:

أولاً: تصميم النموذج ثلاثي الأبعاد لعظم الفخذ:

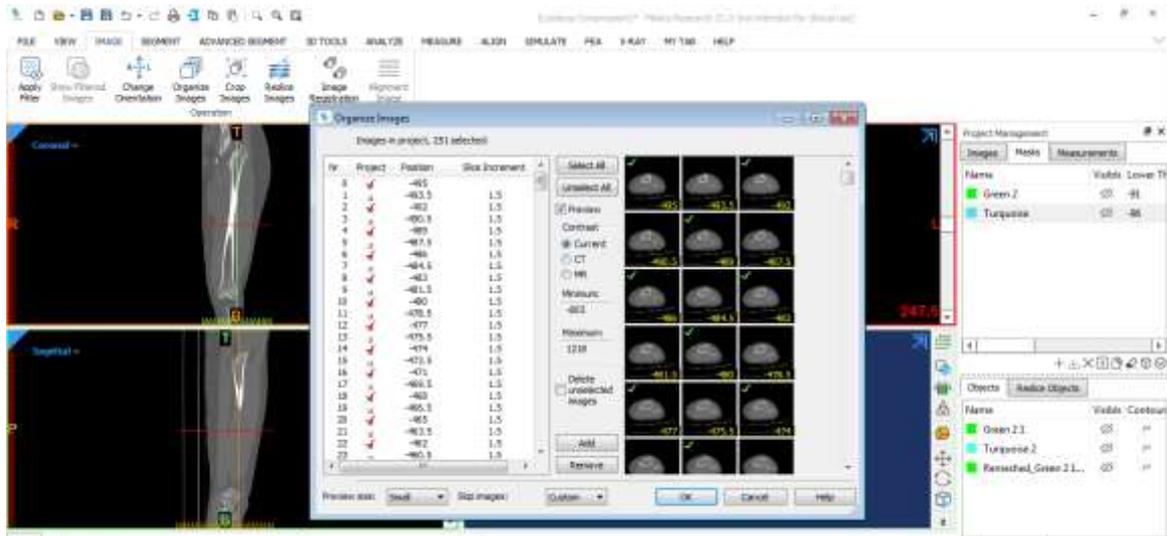
تمت محاكاة التفاصيل الدقيقة للبنية الحية في عظم الفخذ بالاعتماد على الصورة الشعاعية المحوسبة ثلاثية الأبعاد ال CT وفقاً للخطوات التالية:

1. تم استيراد مقاطع صور ال CT الخاصة بالحالة المدروسة بصيغة Dicom عن طريق عملية New project ضمن البرنامج و تم التأكد من التوجيه الصحيح للمقاطع في جميع الاتجاهات (العلوي السفلي - الامامي الخلفي - الأيمن و الأيسر) (الشكل رقم 1).



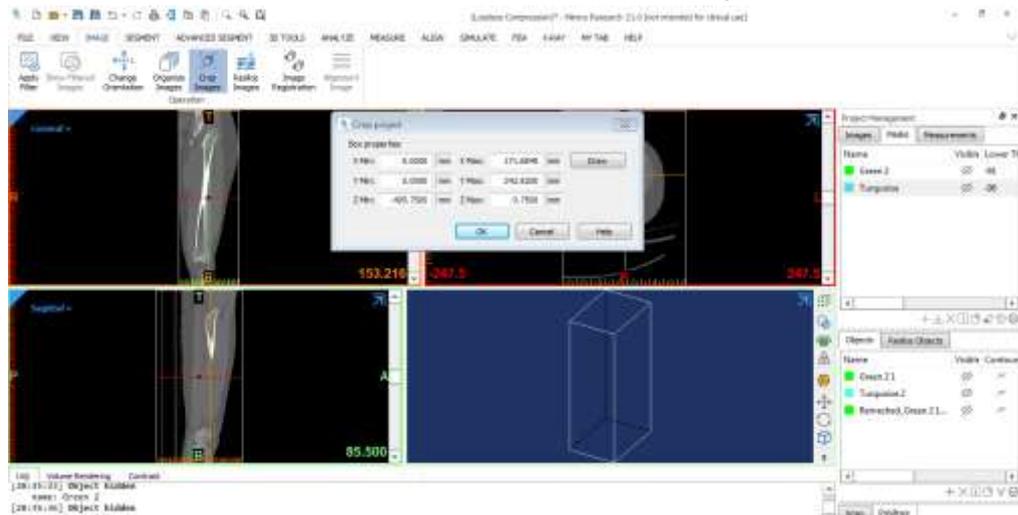
الشكل رقم (1): استيراد مقاطع الصور بصيغة ال Dicom و التأكد من صحة توجيه المقاطع المأخوذة.

2. تم تحديد المنطقة التشريحية المراد دراستها و هي منطقة عظم الفخذ و إلغاء باقي مكونات الصورة عن طريق أداة (Organize images) الموجودة ضمن خيار ال Images ضمن البرنامج. (الشكل رقم 2)



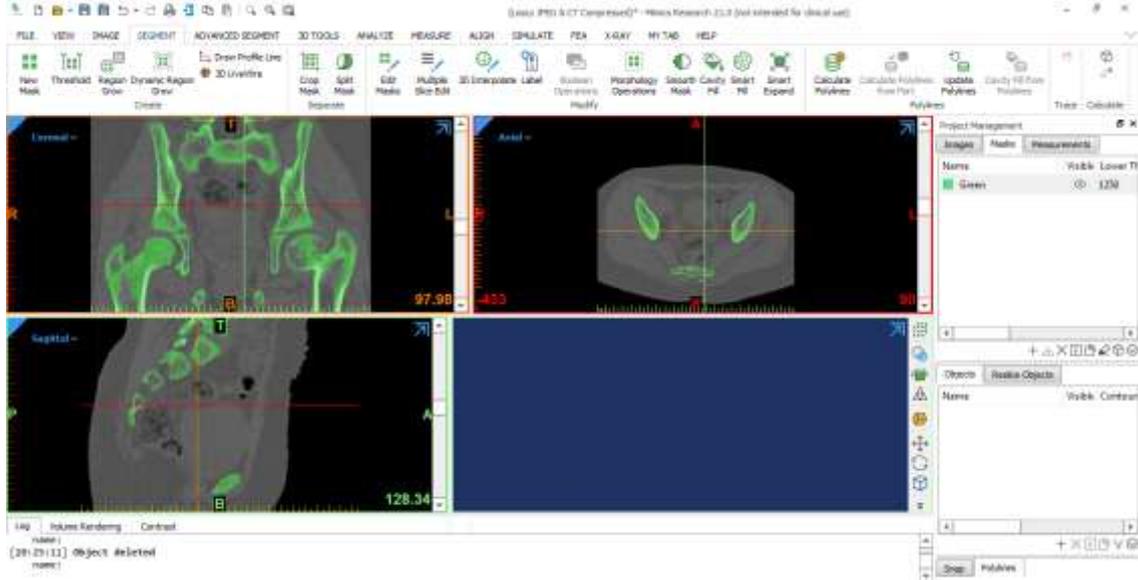
الشكل رقم (2): يبين منطقة العظم الفخذ المراد دراستها والتي تم تحديدها.

3. من خيارات File نختار الأمر crop project لإلغاء العناصر التي لا تتعلق بالعظم الفخذ و غير المرغوب فيها بهدف زيادة الدقة و تسريع العمل. (الشكل رقم 3).



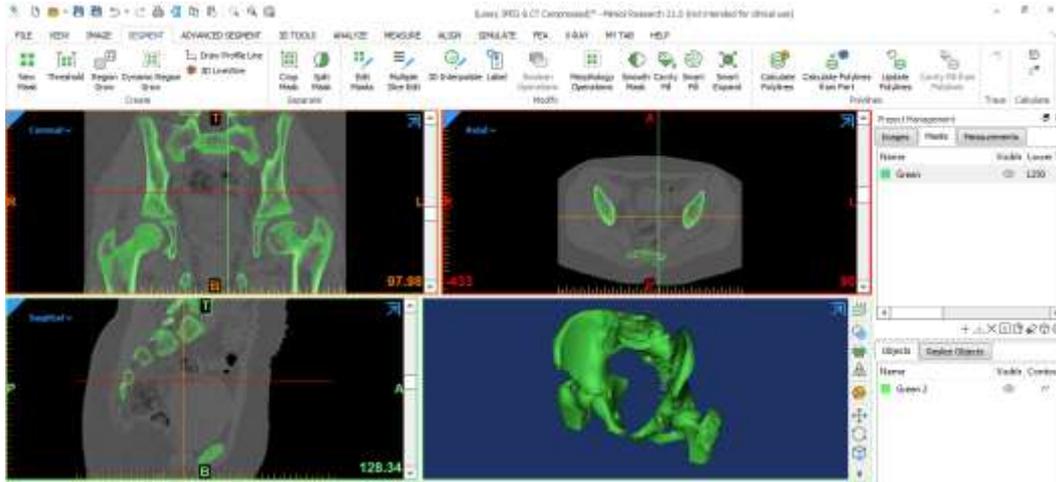
الشكل رقم (3): إلغاء العناصر غير المرغوبة والتي لا تتعلق بالعظم الفخذ.

4. عزل العناصر المطلوبة (عظم قشري و اسفنجي) عن باقي مكونات الصورة و من ثم فصل هذه المكونات عن بعضها عن طريق انشاء قناع خاص بكل مكون على حدى عن طريق الأداة New mask الموجودة ضمن خيارات التجزئة segment كما هو موضح في (الشكل 4).



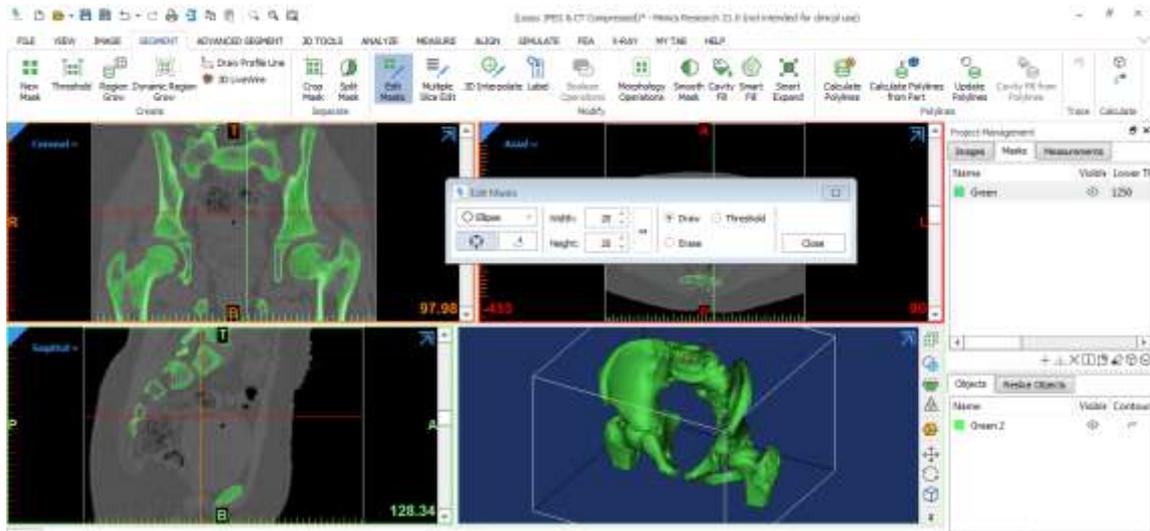
الشكل رقم (4): انشاء أقتعة خاصة بالعظمين الكثيف والإسفنجي.

5. تم تحويل الأقتعة إلى مجسمات ثلاثية الأبعاد عن طريق (Calculate 3D) كما هو في (الشكل رقم 5).



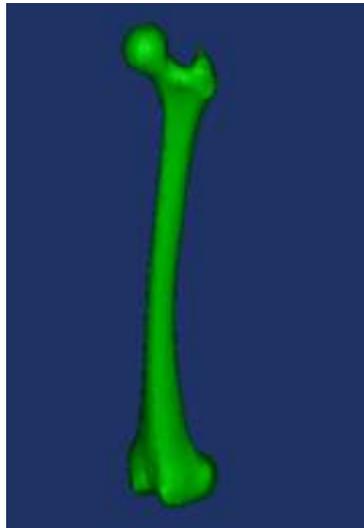
الشكل رقم (5): يوضح تحويل الأقتعة الخاصة بكل من العظم القشري و العظم الاسفنجي إلى مجسمات ثلاثية الأبعاد.

6. تم إجراء التنقيح اليدوي لمعالجة التداخلات بين العظمين القشري و الاسفنجي عن طريق إزالة النقاط غير المرغوبة و التي لا تنتمي للمكون المدروس و ملء الفراغات و سد الثقوب للحصول على مكون متمادي خال من الفراغات و الثقوب بحيث يتم إجراء هذه العملية على كل مقطع من الصورة وفق المستويات السهمي و الجبهي و المعترض عن طريق أداة edit mask من ضمن خيارات التجزئة ال segment و منها إما أن نختار Draw للرسم و ملء الفراغات يدوياً أو نختار Erase لإزالة النقاط غير المرغوبة كما في (الشكل رقم 6).



الشكل رقم (6): يوضح التنقيح اليدوي لمعالجة التداخلات بين النسيجين

7. ثم تم إجراء تحويل للأقنعة مرة أخرى لمجسمات ثلاثية الأبعاد بعد التنقيح اليدوي عن طريق الأداة (Calculate 3D) و إجراء تنعيم لسطح الأقنعة التي تم الحصول عليها smooth mask و ذلك للحصول على المجسمات ثلاثية الأبعاد النهائية لكل من العظم القشري و الاسفنجي التي تم انشاؤها ضمن برنامج ال Mimics. (الشكل رقم 7)



الشكل رقم (7): المجسم ثلاثي الأبعاد لعظم الفخذ بجزئيه القشري و الاسفنجي انطلاقاً من مقاطع صور ال CT

8. تم تصدير المجسمات السابقة على شكل بنى سطحية ثلاثية الأبعاد بصيغة ملفات Stl و حفظ العمل ضمن برنامج ال Mimics.

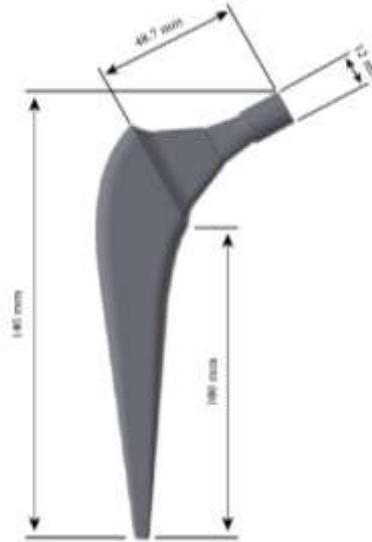
9. يتم استيراد ملفات ال stl السابقة إلى برنامج ال 3Matic لإجراء تبسيط و تنعيم لكافة سطوح المجسم ثلاثي الأبعاد مع المحافظة على دقة الشكل الهندسي.

10. يتم تقسيم سطح كل من المكونات الى سطوح رباعية الأضلاع باستخدام الأداة Automatic Rectangular Patches لتوليد سطوح من النمط NURBS.

11. يتم تصدير جميع المكونات بصيغة ملفات Iges لتسهيل نقلها بين برامج التصميم و النمذجة الحاسوبية.

ثانياً: استخدم برنامج ال Solidworks لتصميم نموذج ثلاثي الأبعاد لمفصل الورك الصناعي:

1. تم إنشاء رسم رقمي ثلاثي الأبعاد للزرعة المعتمدة بالدراسة وفق الأبعاد الوسطية الأكثر شيوعاً للاستخدام السريري و هي ذات مقطع بيضوي وطول 140 ملم من شركة Synthes المعروفة عالمياً و كذلك تم الحصول على رسم رقمي ثلاثي الأبعاد لأجزاء التمثيل المعدنية المزاوة بطول عنق 48.7 ملم وقطر 12 ملم لنواة المفصل، وذلك باستخدام برنامج ال Solidworks (الشكل 8).



الشكل رقم (8): مخطط ترسمي للزرعة و دعامتها المائلة

2. تم رسم و تصميم مادة الغلاف و دمجها مع نموذج الزرعة المعدنية باستخدام برنامج ال Solidworks (الشكل رقم 9).



الشكل رقم (9): يوضح دمج العارضة مع الدعامة و الزرعات باستخدام برنامج ال solid work

3. تم حفظ العارضة مع الزرعات و الدعامات كمجسمات صلبة بصيغة Parasolid و لاحقة ملفات x-t.

ثالثاً: العمل على برنامج Powershape:

1. تم استيراد نموذج عظم الفخذ بكل مكوناته بصيغة ملفات Iges.
2. استخدام الأداة (Create solid from selected surfaces) لتحويل نموذج Surfaces لجميع المكونات المحددة إلى مجسم صلب.
3. استكشاف و اصلاح الأخطاء في المجسم الصلب النهائي باستخدام الأداة (Fix solid).
4. حفظ الملف النهائي بصيغة Parasolid و لاحقة x-t.
5. استيراد النماذج الرقمية للزرعات و الدعامات التي تم إنجازها سابقاً باستخدام برنامج ال Solid work.
6. حفر مكان الزرعات ضمن كتلة عظم العظم الفخذ باستخدام الأمر Subtract من الأداة Boolean operations وفق متطلبات إجراء THA بحيث يتوضع المفصل بشكل شاقولي ومسائر لمحور العظم ويبرز الجزء المستدق المؤهل لتثبيت الجزء الكروي الذي يتم فصله مع الكؤيس الحقي (الشكل رقم 10)



الشكل رقم (10): يوضح العظم الفخذ و أماكن حفر الزرعات باستخدام برنامج ال Powershape بالمقطعين الجبهي و السهمي.

7. حفظ النموذج النهائي بصيغة Parasolid قابل للتصدير لبرنامج المحاكاة و تحليل العناصر المنتهية ال ansys لاستكمال أية تحاليل مراد إجراؤها لاحقاً.

الاستنتاجات والتوصيات:

ركزت هذه الدراسة على دور البرمجيات الهندسية في التخطيط الافتراضي لعمليات الاستبدال الكلي لمفصل الورك وذلك اعتماداً على تقنية التصوير الشعاعي وبرامج الرسم والتحليل ثلاثي الأبعاد. أتاحت برامج التصميم الرقمي إنتاج نموذج رقمي متكامل وقابل للتطبيق والاختبار حسب الأحمال السكونية والديناميكية التي يتعرض لها مفصل الورك في الحالة الطبيعية. مكنت الصور الطبية الشعاعية مع برامج التصميم ثلاثي الأبعاد من عزل المناطق العظمية و إنتاج نموذج رقمي خاص بالمريض قيد الدراسة، و كذلك سمحت حقبة ثالثة من البرمجيات بإجراء حفر و تشكيل لعظم الفخذ

لإنشاء دمج و تجميع هذا العظم مع المفصل الصناعي الذي تم تصميمه، وهو ما يسمح بدراسته وتحديد مناطق الضعف ووضع خطط التدعيم المحتملة ودراسة أثر المواد المستخدمة وتغيير الأبعاد على استقراره واختبار أثر تحجيب الإجهاد. توصي الدراسة باستخدام هذا المنهج في تصميم النماذج الرقمية الحيوية وذلك بغية تهيئتها للطباعة ثلاثية الأبعاد واختبار كفاءتها التصميمية والوظيفية عند سماكات مختلفة خلال مرحلة ما قبل التصنيع.

References:

1. Mathukumar, S., Nagarajan, V. A. and Radhakrishnan, A. (2019) 'Analysis and validation of femur bone data using finite element method under static load condition', *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 233(16), pp. 5547–5555. doi: 10.1177/0954406219856028.
2. Quinn-Laurin, V., Thejeel, B., Chauvin, N. A., Brandon, T. G., Weiss, P. F. and Jaremko, J. L. (2020) 'Normal hip joint fluid volumes in healthy children of different ages, based on MRI volumetric quantitative measurement', *Pediatric Radiology*, 50(11), pp. 1587–1593. doi: 10.1007/s00247-020-04744-8.
3. Soucie, J. M., Wang, C., Forsyth, A., Funk, S., Denny, M., Roach, K. E. and Boone, D. (2011) 'Range of motion measurements: Reference values and a database for comparison studies', *Haemophilia*, 17(3), pp. 500–507. doi: 10.1111/j.1365-2516.2010.02399.x.
4. Gautam, D., Gupta, S. and Malhotra, R. (2020) 'Total hip arthroplasty in acetabular fractures', *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, pp. 1090–1098. doi: 10.1016/j.jcot.2020.10.037.
5. Pimenta, A. R., Tavares, S. S. M., Dias, D. F., Correa, S. R., Sobreiro, A. L. and Diniz, M. G. (2021) 'Failure analysis of a titanium hip prosthesis', *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 21(1), pp. 28–35. doi: 10.1007/s11668-020-01041-2.
6. Affatato, S., Ruggiero, A. and Merola, M. (2015) 'Advanced biomaterials in hip joint arthroplasty. A review on polymer and ceramics composites as alternative bearings', *Composites Part B: Engineering*, 83, pp. 276–283. doi: 10.1016/j.compositesb.2015.07.019.
7. Ghalme, S. G., Mankar, A., & Bhalerao, Y. (2016). Biomaterials in hip joint replacement. *Int. J. Mater. Sci. Eng.*, 4(2), 113-125.
8. Anguiano-Sanchez, J., Martinez-Romero, O., Siller, H. R., Diaz-Elizondo, J. A., Flores-Villalba, E., & Rodriguez, C. A. (2016). Influence of PEEK coating on hip implant stress shielding: a finite element analysis. *Computational and mathematical methods in medicine*, 2016.
9. Leonhardt, N. Z., Melo, L. D. P., Nordon, D. G., Silva, F. B. D. A., Kojima, K. E., & Silva, J. S. (2017). Femoral neck fractures garden I and II: Evaluation of the deviation in lateral view. *Acta ortopedica brasileira*, 25, 107-109.
10. De Santis, R., Gloria, A., & Ambrosio, L. (2017). Composite materials for hip joint prostheses. In *Biomedical composites* (pp. 237-259). Woodhead Publishing.
11. Merola, M. and Affatato, S. (2019) 'Materials for hip prostheses: A review of wear and loading considerations', *Materials*. doi: 10.3390/ma12030495. Costa, R. R. C. D.,
12. Costa, R. R. C. Da, Almeida, F. R. B. De, Silva, A. A. X. Da, Domiciano, S. M. and Vieira, A. F. C. (2019) 'Design of a polymeric composite material femoral stem for hip joint implant', *Polimeros*, 29(4). doi: 10.1590/0104-1428.02119.
13. Li, J., Qi, K., Zhang, Y., Xue, C. and Xu, W. (2017) 'Epidural hematoma after total hip arthroplasty in ankylosing spondylitis patient', *Medicine (United States)*. doi: 10.1097/MD.00000000000006859.

14. W. M., Haider, H., Kurtz, S., Marcolongo, M., & Urish, K. (2020). New materials for hip and knee joint replacement: What's hip and what's in kneed?. *Journal of Orthopaedic Research*®, 38(7), 1436-1444.
15. Raut, H. K., Das, R., Liu, Z., Liu, X., & Ramakrishna, S. (2020). Biocompatibility of Biomaterials for Tissue Regeneration or Replacement. *Biotechnology Journal*, 15(12), 2000160.
16. Lutnick, E., Kang, J., & Freccero, D. M. (2020). Surgical treatment of femoral neck fractures: a brief review. *Geriatrics*, 5(2), 22.
17. Paulsson, J., Stig, J. C. and Olsson, O. (2017) 'Comparison and analysis of reoperations in two different treatment protocols for trochanteric hip fractures - Postoperative technical complications with dynamic hip screw, intramedullary nail and Medoff sliding plate', *BMC Musculoskeletal Disorders*, 18(1). doi: 10.1186/s12891-017-1723-x.
18. Aslam Khan, M. U., Abd Razak, S. I., Al Arjan, W. S., Nazir, S., Sahaya Anand, T. J., Mehboob, H., & Amin, R. (2021). Recent Advances in Biopolymeric Composite Materials for Tissue Engineering and Regenerative Medicines: A Review. *Molecules*, 26(3), 619.
19. Singh, R. K., & Gangwar, S. (2021). An assessment of biomaterials for hip joint replacement. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 13(1), 25-31.
20. Hassani, K., Nikkhoo, M. and Karimi, A. (2021) 'The role of the fiber ply configurations on the biomechanics of the hip prosthesis', *International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing*. doi: 10.1142/S1793962322500179.
21. Shekhawat, D., Singh, A. and Patnaik, A. (2020) 'Tribo-behaviour of biomaterials for hip arthroplasty', in *Materials Today: Proceedings*, pp. 4809–4815. doi: 10.1016/j.matpr.2020.11.420.