

## تقييم معامل الأمان السكوني للزرعات الفخذية المغلقة بالمواد البوليميرية والمركبة

د. م. محمد أيهم درويش (1) م. حسن محمد نزهه (2)

### الملخص

تركز هذه الدراسة على إجراء تحليل عناصر منتهية لتقييم معامل أمان التعب السكوني لزرعات سبانك التيتانيوم الفخذية المغلقة بمادة البولي إيثر إيثر كيتون النقية والمركبة المدعمة بألياف الكربون باستخدام تحليل العناصر المنتهية وفقاً للنشاطات الحيوية المختلفة (المشي الطبيعي، صعود الدرج، الوقوف)، ومن ثم فإن الهدف الأساسي من هذا البحث هو تعرف النموذج الذي يبدي أداء أفضل من بين كل النماذج المدروسة في نظام العظم - الزرعة عن طريق مقارنة معامل أمان التعب للزرعات المغلقة وغير المغلقة منها. أظهرت النتائج أن معامل أمان تعب الزرعات المغلقة الفخذية يزداد بشكل واضح (71.6% على الأقل في حالة المشي الطبيعي، 49.76% على الأقل في حالة صعود الدرج و141.15% على الأقل في حالة الوقوف) مقارنة مع الزرعات غير المغلقة. وتجدر الإشارة إلى أنه تم الحصول على معامل الأمان الأعظمي عند استخدام الزرعات المغلقة بالمادة المركبة ذات الترتيب الأول لألياف الكربون ( $0^\circ/45^\circ - 45^\circ/90^\circ$ )، حيث بلغت الزيادة في معامل الأمان 62.56% على الأقل. يوصى باستخدام المواد المركبة المدعمة بألياف الكربون المتوسطة وفق الترتيب الأول المقترح نظراً لدورها في زيادة قيم معامل أمان التعب السكوني للزرعات؛ الأمر الذي يعني إطالة العمر الخدمي لنظام العظم - الزرعة الفخذية.

**الكلمات المفتاحية:** الزرعات الفخذية، معامل أمان التعب، التحليل السكوني، تحليل العناصر المنتهية، التغليف بالمواد البوليميرية، التغليف بالمواد المركبة.

(1) أستاذ مساعد في كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس، طرطوس، سورية.

(2) مهندس في كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس، طرطوس، سورية.

## Evaluation of static safety factor for hip implant stems coated with polymeric and composite materials

Dr. Eng. Mohamad Ayham Darwich<sup>(1)</sup>

Eng. Hasan Mohammad Nazha<sup>(2)</sup>

### Abstract

This study focused on finite element analysis of fatigue safety factor evaluation of hip implant stems coated with Virgin-PEEK and CFR-PEEK coating materials corresponding to different human activities: standing up, normal walking and climbing stairs under dynamic loadings. The aim of this study is to find out which of all these models have a better performance in the prosthesis-bone systems by comparing the fatigue safety factor of coated and uncoated prosthesis.

The results showed that the fatigue safety factor of coated hip implants increased significantly (at least 71.6% in normal walking, 49.76% in climbing stairs and 141.15% in standing up) compared to uncoated implants. The maximum safety factor was obtained when using carbon fiber coated composites with first configuration of carbon fibers ( $0^{\circ}/45^{\circ}-/45^{\circ}+/90^{\circ}$ ), where the increase in safety factor was 62.56% at least.

It is recommended to use the composite materials reinforced by carbon fibers with the proposed configuration because of its role in increasing the values of the static safety factor of hip implants, which means to prolong lifetime of the prosthesis-bone system.

**Keywords:** Hip implants, Fatigue safety factor, Static analysis, Finite element analysis, Polymeric coating, Composite coating.

---

<sup>(1)</sup>Associate Professor, Faculty of Technical Engineering, University of Tartous, Syria

<sup>(2)</sup>Engineer, Faculty of Technical Engineering, University of Tartous, Syria

## 1- المقدمة :

عظم الإنسان. هذه النتيجة تتفق أيضاً مع ما وصل إليه الباحث Scholz وزملاؤه [10] في دراستهم حول استخدام المواد المركبة في البدائل الصناعية الطبية. يتم عادةً تقييم الزرعات الفخذية بالاعتماد على دراسة إجهادات القص [11]، والإجهادات الرئيسية [12]، وكذلك الإجهادات المكافئة [13]، سواء في منطقة رقبة المفصل أو في منطقة الجذع أو ضمن التجويف الحقي.

قام Matsuyama بإنجاز دراسة تحليلية ثلاثية الأبعاد للاتصال الميكانيكي ما بين مفصل الفخذ والزرعة المعدنية، حيث تم استخدام البنية الهندسية للعظم وتقنيات التصوير المحوسب لإنتاج النموذج الرقمي للعظم الكثيف والإسفنجي، وكذلك إنجاز تحليل رقمي ثلاثي الأبعاد لاستجابة الزرعة الفخذية لحمولات التعب السكونية والديناميكية [14].

يتم تقييم الضرر المرتبط بفشل التعب وفق طريقتين، الأولى: سكونية معتمدة على قوى الوزن وقوى العضلات المطبقة وفق خطوات متقطعة زمنياً، والثانية: بالاعتماد على تحليل ديناميكي يعمل على تطبيق قوى مختلفة الشدة حسب مخطط دورة المشي والفعاليات المختلفة لجسم الإنسان، وهنا يعد التحليل السكوني لمعاملات الأمان من أهم التحاليل الاختبارية لتقييم الاستجابة الميكانيكية للزرعة في حالة الحمولات السكونية الدورية المرتبطة بالنشاطات المختلفة لجسم الإنسان [15].

ضمن هذا الإطار، تم تحليل إجهادات الزرعات الفخذية تحت تأثير الحمولات المتغيرة زمنياً ومطالياً [16] [17]، وهنا يبرز مفهوم معامل الأمان كأحد المتغيرات الرئيسية في تقييم كفاءة تصميم النموذج، وهو يعرف رياضياً وفق المعادلة الآتية [18]:

$$N_f = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_u}}$$

حيث  $\sigma_a$  و  $\sigma_m$  عن الإجهاد الوسطي والإجهاد الدوري في النموذج، وهي تعطى بالعلاقات الآتية:

يعد مفصل الورك من أهم مفاصل الجسم البشري، حيث يتلقى معظم أحمال الجسم خلال النشاطات الحيوية المختلفة [1]. عند تلف هذا المفصل يتم إجراء عملية الاستبدال الكامل (Total Hip Replacement, THR)، والتي تعد أنجح عملية جراحية لمساعدة المريض على العودة إلى نمط حياته المعتاد [2].

يتم تصميم الزرعات الفخذية والتي تسمى بزرعات مفصل الورك لعمر خدومي يقارب 20 سنة على الأقل، وهي تتعرض لحمولات سكونية وديناميكية متغيرة مع الزمن، وهو ما ينتج بدوره لإجهادات مختلفة، وهو ما يستدعي دراسة سلوك الزرعات الفخذية تجاه اختبار فشل التعب [3].

يعتمد نجاح أداء الزرعة الفخذية على مواصفات ارتباطها بالعظم، حيث تمثل تشققات البطانة والاتصال السيء مع العظم أهم أسباب فقد الارتباط [4]، ويحتمل أن يكون فشل التعب Fatigue Failure من أهم عوامل ارتخاء الزرعة وتمدها، وخصوصاً مع الأخذ بعين الاعتبار الأثر التراكمي والمتكرر للحمولات المطبقة على مفاصل الأطراف السفلية [5].

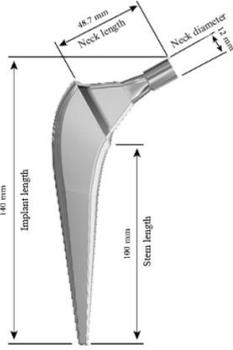
يؤثر تصميم الزرعات الفخذية في اندماجها العظمي [6]، ويعد تغليف جذع الزرعة الفخذية من أهم التقنيات التي تستخدم لتحقيق اندماج عظمي فعال [7]، كما يعمل على تحسين توزيع الإجهادات في منطقة رأس الفخذ؛ الأمر الذي يقود إلى تخفيض احتمال حدوث فشل للزرعات الفخذية [8].

## 2- الدراسات المرجعية :

باتت المواد المركبة المتقدمة واعدة في تطبيقات الزرعات الفخذية بسبب توافقيتها الحيوية العالية. قام الباحث Utzscheider وزملاؤه [9] بدراسة الخصائص الميكانيكية والكيميائية للمواد المركبة (Carbon/PEEK) في فئران التجارب، وقد وجدوا أن كثافتها ومقاومتها ومعامل يونغ الخاص بها كانت قريبة جداً من خصائص

البيني لجذع الزرعة مع العظم في حالة تطبيق الزرعة غير المغلفة فقد كانت احتكاكياً، ومقدار معامل الاحتكاك 0.2 [17].

تم بعد ذلك تصدير نماذج العظم والزرعات والتغليطات إلى برنامج ANSYS حيث تم تجميعهم بنموذج عناصر منتهية.

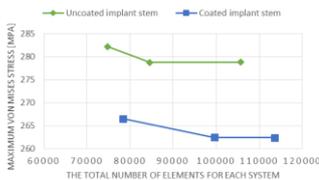


**الشكل (1): أبعاد الزرعة الفخذية المستخدمة في الدراسة.** فيما يخص طبقة التغليف فقد تم تصميمها لتكون ذات توزيع متجانس على كامل سطح الجذع بسماكة 2 mm.



**الشكل (2): نموذج العظم مع الزرعة الفخذية.**

فيما يتعلق بالشبكة الحجمية (Mesh) للمكونات المدروسة، تم استخدام الشبكة الحجمية ذات العناصر رباعية السطوح (Tetrahedrons)، ولضمان دقة التحليل تم إجراء تحليل التقارب بنسبة خطأ نسبي أقل من 1% كما هو مبين في الشكل (3). تم أيضاً اعتماد منحني التعب الوارد في دراسة kayabasi والمبين في الشكل (4).



**الشكل (3): اختبار التقارب لعناصر الشبكة الحجمية المستخدمة في التحليل.**

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

في حين تعبر  $S_u$  و  $k_e$  عن إجهاد الشد الأعظمي وإجهاد حد القدرة على الترتيب.

نلاحظ أنه كلما زادت الإجهادات الناتجة ضمن عناصر النموذج، انخفضت قيمة معامل الأمان، وزادت الخطورة واحتمالية الكسر.

بما أنه لم تتم الإشارة في الدراسات السابقة إلى تقييم معاملات الأمان السكونية للزرعات الفخذية المغلفة بمادة البولي إيثر إيثر كيتون النقية والمركبة المدعمة بألياف الكربون كمادة تغليف، فقد كان الهدف الأساسي من هذا البحث هو تعرف النموذج الذي يبدي أداءً أفضل من بين كل النماذج المدروسة في نظام العظم-الزرعة، وينطوي ذلك على تحقيق الأهداف الفرعية الآتية:

- 1- تحقيق نموذج رقمي للزرعة الفخذية المغلفة.
- 2- مقارنة قيم معامل أمان التعب السكوني للزرعات الفخذية المغلفة وغير المغلفة.
- 3- مقارنة الاستجابة الميكانيكية للزرعات الفخذية المغلفة خلال تنفيذ نشاطات حيوية مختلفة كالوقوف والمشي الطبيعي وصعود الدرج.

### 3- طرائق البحث ومواده:

#### 3-1 نموذج العناصر المنتهية:

تم بناء نموذج عظم الفخذ بالاستناد إلى الصور المقطعية (CT) الخاصة بمريض وزنه 702 N وعمره 61 عام، وكان المفصل اليميني هو المفصل المدروس. ثم تم إنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد للزرعة الفخذية بالأبعاد المبينة في الشكل (1) باستخدام برنامج Autodesk® Inventor™. يبين الشكل (2) نموذج الزرعة في العظم، حيث كانت كل التماسات في الأسطح البينية لطبقة التغليف مع العظم وطبقة التغليف مع جذع الزرعة كانت مرتبطة بشكل تام [16، 8]، أما بالنسبة لسطح التماس

اعتبار العظم القشري خطي غير متماثل الخواص، أما العظم الإسفنجي فقد تم اعتباره خطياً متماثل الخواص [22]. بالنسبة لمواد التغليف المركبة فهي تتألف من مادة بولي إيثر إيثر كيتون PEEK كمادة أساس وطبقات من ألياف الكربون بتوجهات مختلفة كمادة داعمة؛ الترتيب الأول للألياف في المادة المركبة ( $0^\circ/45^\circ/90^\circ$ )، أما الترتيب الثاني للألياف في المادة المركبة ( $45^\circ$  / القشري والعظم الإسفنجي والمواد المركبة المستخدمة في هذه الدراسة. تجدر الإشارة إلى أن معيار معامل الأمان لمكونات المفاصل الصناعية المدروسة  $f \geq 1$ .

الجدول (1): قيم واتجاهات القوى السكونية المطبقة وفقاً

#### للنشاطات الحيوية المختلفة [20]

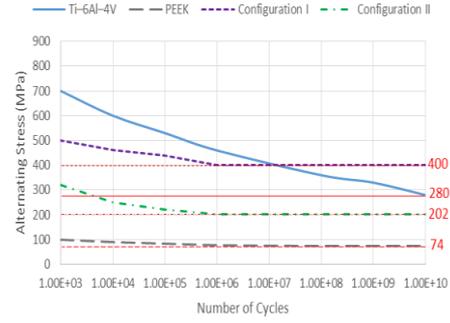
المشي الطبيعي	صعود الدرج	الوقوف
$\alpha = 31^\circ$ $\beta = 13^\circ$	$\alpha = 46^\circ$ $\beta = 14^\circ$	$\alpha = 16^\circ$ $\beta = 14^\circ$
F=1698.84 N	F=1909.44 N	F=1277.64 N

الجدول (2): توصيف النشاطات الحيوية.

النشاط	التوصيف
الوقوف	من وضعية الجلوس على كرسي دون مسند ذراع، ارتفاع المقعد 45 cm
المشي الطبيعي	مشي بمتوسط سرعة 1.1 m/s
صعود الدرج	درج دون درابزين، ارتفاع الدرجة 19.8 cm وعرضها 26.3 cm

#### 4- النتائج والمناقشة:

يعد اختيار المادة أمراً مهماً لتحقيق المقاومة المناسبة لحدوث فشل التعب. بناءً عليه، حاول العاملون في مجال المفاصل الصناعية تحسين خصائص هذه البدائل لزيادة معامل أمان التعب عن طريق توظيف مواد جديدة في التصميم. من هذا المنطلق، تم في هذا البحث اقتراح تحليل كل النماذج و مواد التغليف المختلفة بطريقة العناصر المنتهية، حيث تم إجراء حسابات التعب بالاعتماد على نظرية غودمان.



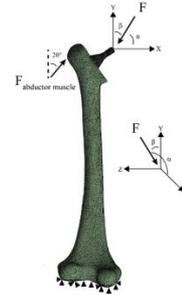
الشكل (4): منحنى التعب لجميع مكونات الزرعة

الفخذية [19]

#### 2-3 الشروط الحديدية:

تم تطبيق الأحمال السكونية الناتجة عن وزن الجسم ومحصلة عضلات مفصل الورك بالاعتماد على القيم والاتجاهات المقاسة باستخدام الحساسات والواردة في دراسة Bergmann et al. والموصفة في الجدول (1). تم تطبيق هذه الأحمال على رأس الزرعة الفخذية واعتماد القيم المقاسة خلال نشاطات حيوية مختلفة (المشي الطبيعي وصعود الدرج والوقوف) كما هو مبين في الجدول (2). تم أيضاً تطبيق القوة المحصلة لقوى العضلات بقيمة 1250 N بزواوية تميل عن الشاقول  $20^\circ$  وهي أيضاً قيمة مقاسة ضمن الدراسات السابقة [21].

تم أخيراً، تثبيت النموذج من النهاية السفلى للعظم كما هو مبين في الشكل (5).



الشكل (5): الشبكة الحجمية والشروط الحديدية للنموذج.

#### 3-3 خصائص المواد:

تم تعريف خصائص زرعة سبائك التيتانيوم (Ti-6Al-4V) الفخذية بمعامل مرونة ( $E = 114 \text{ GPa}$ ) ونسبة بواسون ( $\nu = 0.33$ )، كما تم تعريف خصائص تغليفة بولي إيثر إيثر كيتون البوليميرية النقية بمعامل مرونة ( $E = 3.7 \text{ GPa}$ ) ونسبة بواسون ( $\nu = 0.4$ ) [8]. تم

الجدول (3): خصائص العظم والمواد المركبة المدروسة.

المادة	المستوي	معامل المرونة E [GPa]	معامل القص G [GPa]	نسبة بواسون $\nu$
العظم القشري	xx	11.5	-	-
	yy	11.5	-	-
	zz	17	-	-
	xy	-	3.6	0.51
	yz	-	3.6	0.31
	xz	-	3.3	0.31
العظم الإسفنجي	-	2.13	-	0.3
	xx	4	-	-
المادة المركبة بالترتيب الأول	yy	9.8	-	-
	zz	9.8	-	-
	xy	-	3.5	0.3
	yz	-	3	0.3
	xz	-	3.5	0.3
	xx	4.5	-	-
المادة المركبة بالترتيب الثاني	yy	15.5	-	-
	zz	15.5	-	-
	xy	-	4	0.3
	yz	-	3.5	0.3
	Xz	-	4	0.3

الجدول (4): القيم المستحصلة للإجهادات المكافئة

ومعاملات الأمان في الزرعات المغلفة وغير المغلفة خلال

النشاطات المختلفة.

الزرعات المغلفة				النشاط	غير المغلفة	بولي إيثر إيثر كيتون	المادة المركبة بالترتيب الأول	المادة المركبة بالترتيب الثاني
المادة	المادة المركبة بالترتيب الأول	المادة المركبة بالترتيب الثاني	المادة					
351.1	334.7	378.8	649.1	المشي	الإجهاد [MPa]	صعود الدرج	751.3	713.0
751.3	713.0	787.2	1159	الوقوف				
225.3	225.3	225.3	542.9	المشي				
1.30	1.37	1.21	0.70	صعود الدرج	معامل الأمان	الوقوف	0.61	0.64
2.04	2.04	2.04	0.84	الوقوف				

يظهر الشكل (5) ظهور قيم حرجة لمعامل الأمان عند منطقة عنق الزرعات الفخذية في كل الحالات المدروسة. بالنسبة للنماذج المغلفة، يبدو أن معامل أمان التعب يزداد بشكل واضح (71.6% على الأقل في حالة المشي الطبيعي، و49.76% على الأقل في حالة صعود الدرج و141.15% على الأقل في حالة الوقوف) مقارنةً مع النماذج غير المغلفة. وتجدر الإشارة إلى أنه تم الحصول على معامل الأمان الأعظمي عند استخدام الزرعات المغلفة بالمادة المركبة ذات الترتيب الأول للألياف، حيث بلغت الزيادة في معامل الأمان 62.56% على الأقل. بينما تم الحصول على أدنى قيم معاملات الأمان في الزرعات غير المغلفة في كل حالات الأنشطة الحيوية المدروسة. يمكن تفسير هذه النتائج أن طبقة التغليف هذه تتمتع بالقدرة على توزيع الإجهادات في نظام العظم - الزرعة نظراً للتوجهات المختلفة للألياف المدعمة لها؛ ما يحقق تجانساً في السلوك الميكانيكي الحيوي للنظام، حيث بإمكان هذه المادة توزيع الحمل المطبق ونقله إلى العظم؛ ما يؤدي إلى زيادة كثافة العظم وتخفيف آثار تدرج الإجهادات، وهذا يعني أن النموذج المغلف بهذه المادة سيكون أكثر أماناً واستقراراً مقارنةً مع غيره من النماذج.

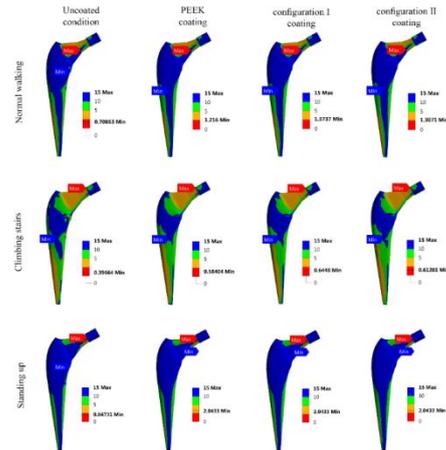
أشار الباحث Sanchez وزملاؤه [8] إلى أن استخدام مادة تغليف للزرعة الفخذية (بولي إيثر إيثر كيتون) تقود

مُثلت النتائج التي تم الحصول عليها من تحليل العناصر المنتهية بشكل رقمي ورسومي مع مقياس مدرج ملون يوضح القيم الدنيا والقيم العظمى لمعاملات أمان التعب السكونية في النماذج المدروسة، ليصبح من الممكن المقارنة بشكل مباشر بين النماذج على الوجه الأمثل.

يبين الجدول (4) القيم المستحصلة للإجهادات الأعظمية الظاهرة في عناصر نموذج الزرعة الفخذية الناتجة عن تحليل التعب المنفذ بالاعتماد على الحمل السكوني خلال فعاليات مختلفة.

يوضح الشكل (5) توزيع معامل الأمان في النماذج المختلفة المدروسة بالاعتماد على معيار عمر التعب (دورة N=1E10) تحت الأحمال السكونية. أظهرت النتائج العددية لمعاملات أمان تعب الزرعات الفخذية المختلفة أن طبقة التغليف بسماكة 2 mm كان لها تأثير إيجابي في زيادة معامل أمان الزرعات الفخذية المغلفة مقارنةً مع غير المغلفة منها.

- لتخفيض الإجهادات الناشئة فيها، كما أكد هذه النتيجة الباحثان Hedia & Fouda [23] مستخدمين مادة هيدروكسي ابنتيت لتغليف الزرعة الفخذية، وقد خلص الباحثون إلى أن ذلك سيعمل بدوره على إطالة العمر الخدمي نتيجةً لتحسن انتقال الأحمال إلى العظم، وهذا يتفق مع نتائج دراستنا.
- بالمقابل، لا بدّ من الإشارة إلى الدور الذي يؤديه التحليل باستخدام طريقة العناصر المنتهية في المساعدة على تخطيط التحاليل المختبرية والحيوية المستقبلية، وعليه تعد نتائج هذه الدراسة واعدة في تقييم سلوك المواد المركبة ممكنة التطبيق في زرعات الفخذ، حيث تبين النتائج أن استخدام النموذج المغلف بالمادة المركبة ذات الترتيب الأول للألياف يبدي أفضل أداء في النظام ويمكن أن يزيد من معامل أمان التعب.
- تُبدي الزرعات الفخذية غير المغلفة أسوأ أداء في نظام العظم - الزرعة.
- الزرعات الفخذية المغلفة بمادة بولي إيثر كيتون البوليميرية النقية أو المدعمة بألياف الكربون تبدي أداءً أفضل من الزرعات غير المغلفة، حيث يتم توزيع الأحمال فيها بشكل أكبر ويزداد معامل أمان التعب السكوني فيها.
- مادة التغليف ذات الأداء الأفضل كانت المادة المركبة ذات الترتيب الأول للألياف ( $0^\circ / -45^\circ / +45^\circ / 90^\circ$ )، حيث أبدت زيادةً في معامل أمان التعب السكوني للزرعات بنسبة 62.56% على الأقل؛ الأمر الذي يعني إطالة العمر الخدمي لنظام العظم - الزرعة الفخذية.



الشكل (5): توزع معامل الأمان لنماذج الزرعات الفخذية المختلفة بتأثير الأحمال السكونية.

## 5- الخلاصة:

قدمت هذه الدراسة منهجاً متكاملًا للتحليل الرقمي ثلاثي الأبعاد للسوك الميكانيكي للزرعات الفخذية المغلفة بالمواد البوليميرية والمركبة، وذلك اعتماداً على برامج الرسم والتحليل ثلاثي الأبعاد. أتاحت برامج التحليل الرقمي اختبار التصميم وتحديد مناطق الضعف ودراسة أثر مواد التغليف في معاملات أمان الزرعة والإشارة إلى مناطق الضعف والتي تمثل مناطق الكسر المحتملة وذلك قبل عملية التصنيع، وقد خلصت الدراسة إلى ما يأتي:

11. Arndt, C., Görgner, A., Klöhn, C., Scholz, R., & Voigt, C. (2017). "Shear stress and von Mises stress distributions in the periphery of an embedded acetabular cup implant during impingement". *Biomedical Engineering/Biomedizinische Technik*, 62(3), 279-288.
12. Fukuoka, K., & Todo, M. (2018). "Analysis of Principal Stress Projection in Femur with Total Hip Arthroplasty using CT-image Based Finite Element Method". *Int Arch Orthop Surg*, 1(3): 17-25.
13. Suhendra, N., Gustiono, D., Nugroho, E. A., & Yuliani, H. (2017). "Finite Element Analysis for Prediction of Shear and Stress Concentration & Distribution in Femoral Bone". In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 172, No. 1, p. 012033). IOP Publishing.
14. Matsyama, K., I. Y., G. Y.-M., K. H., S. T., N. S., K. I., and M. S (2016). "Finite element analysis of cementless femoral stems based on mid- and long-term radiological evaluation," *BMC Musculoskeletal Disorders*, vol. 17, no. 1. p. no pagination.
15. Jameel, D. Wedad I Majeed Alaa Mohammed Razzaq (2012). "Fatigue Analysis of Hip Prosthesis," *J. Eng.*, vol. 18, no. 10, pp. 1100–1114.
16. Rezaei F, Hassani K, Solhjoei N, Karimi A (2015). "Carbon/PEEK composite materials as an alternative for stainless steel/titanium hip prosthesis: A finite element study". *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine* 38: 569-80.
17. Caouette C, Yahia LH, Bureau MN (2011). "Reduced stress shielding with limited micromotions using a carbon fibre composite biomimetic hip stem: a finite element model". *Journal of Engineering in Medicine*, 225, 907-919.
18. Budynas RG, Nisbett KJ (2008). "Shigley's mechanical engineering design" Mc Graw Hill, 8th Edition.
19. Kayabasi, O. and B. Ekici (2007). "The effects of static, dynamic and fatigue behavior on three-dimensional shape optimization of hip prosthesis by finite element method," *Mater. Des.*, vol. 28, no. 8, pp. 2269–2277.
20. Bergmann, G., F. Graichen, A. Rohlmann, and H. Linke (1997). "Hip joint forces during load carrying," *Clin. Orthop. Relat. Res.*, no. 335, pp. 190–201.
21. Varady, P. A., U. Glitsch, and P. Augat (2015). "Loads in the hip joint during physically demanding occupational tasks: A motion

## المراجع References

1. Chalernpon K, Aroonjarattham P, Aroonjarattham K. (2015). "Static and dynamic load on hip contact of hip prosthesis and Thai femoral bones". *International Journal of Medical, Health, Biomedical, Bioengineering and Pharmaceutical Engineering*, 9(3), 251-255.
2. Holzwarth U, Cotogno G. (2012). "Total Hip Arthroplasty: State of the Art, Challenges and Prospects". *European Commission. Joint Research Centre.*
3. Griza, G., C. Kwietniewski, G. A. Tarnowski, F. Bertoni, Y. Reboh, T. R. Strohaecker, and I. J. R. Baumvol (2008). "Fatigue failure analysis of a specific total hip prosthesis stem design," *Int. J. Fatigue*, vol. 30, no. 8, pp. 1325–1332.
4. Capitanu, L., L. L. Badita, and V. Florescu. (2017). "Stability loss of the cemented stem of hip prosthesis due to fretting corrosion fatigue," *Tribol. Ind.*, vol. 39, no. 4, pp. 536–546.
5. Moulgada, A., M. M. Bouziane, B. Bachir Bouiadjra, S. Benbarek, A. Albedah, and T. Achour. (2014). "Finite element simulation of stress distribution in the different components of Ceraver-Osteal hip prosthesis: Static and dynamic analysis," *Mechanika*, vol. 20, no. 5, pp. 452–459.
6. Khanuja HS, Vakil JJ, Goddard MS, Mont MA: Cementless femoral fixation in total hip arthroplasty (2011). *J Bone Joint Surg Am* 93, 500-509.
7. Peramo, A., "Materials at the Interface Tissue-Implant A Focus on Regeneration (2012)." *Integrated Biomaterials in Tissue Engineering*, pp. 119–136.
8. Anguiano-Sanchez J, Martinez-Romero O, Siller HR, Diaz-Elizondo JA, FloresVillalba E, Rodriguez CA (2016). "Influence of PEEK Coating on Hip Implant Stress Shielding: A Finite Element Analysis. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*": 61, 836-79.
9. Utzschneider S, Becker F, Grupp TM, Sievers B, Paulus A, Gottschalk O, Jansson V (2010). Inflammatory response against different carbon fiber-reinforced PEEK wear particles compared with UHMWPE in vivo. *Acta Biomater* 6: 4296-4304.
10. Scholz M, Blanchfield JP, Bloom LD, Coburn B, Elkington M, Fuller J, Gilbert M, Muflahi S, Pernice M, Rae SI, Trevarthen J, White S, Weaver P, Bond I (2011). "The use of composite materials in modern orthopaedic medicine and prosthetic devices: A review". *Compos. Sci. Technol* 71: 1791-1803.

- analysis study,” J. Biomech., vol. 48, no. 12, pp. 3227–3233.
22. Darwich, A., Nazha, H., & Abbas, W. (2019). “Numerical study of stress shielding evaluation of hip implant stems coated with composite (carbon/PEEK) and polymeric (PEEK) coating materials”. Biomedical Research, 30(1), 169-174.
23. Hedia HS, Fouda N. (2015). “Improve the performance of coated cemented hip stem through the advanced composite materials”. Bio-medical Materials and Engineering, 25(3), 313-326.

Received	2019/12/5	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2020/7/23	قبول البحث للنشر