تقييم ومحاكاة للإجهادات والتشوهات لرجل صناعية لطفل بحالة بتر تحت الركبة

محمد محمد سوالم m.sawalem@eng.misuratau.edu.ly
هيثم إسماعيل الضراط h.elderrat@eng.misuratau.edu.ly

قسم الهندسة الميكانيكية – كلية الهندسة – جامعة مصراتة

الملخص
تعتبر الأطراف الصناعية واحدة من أفضل الحلول التي ساعدت كثيرا من المبتورين لمتابعة الحياة بشكلٍ شبه طبيعيٍّ دون الحاجة لمساعدة الآخرين، وقد تطورت عدة تقنيات لصناعة وتركيب الأطراف الصناعية لتناسب مختلف الحالات الطبية
تم في هذا البحث دراسة الأرجل الصناعية كبديل لرجل بشرية مفقودة، وإيجاد البدائل والحلول والتركيز على القوة المسلطة على المفصل المصمم وكذلك مناطق تركيز الاجهادات وذلك باستخدام مواد مختلفة ومحاولة المقارنة بينها بما يتناسب مع الجسم البشري من حيث القوة المسلطة على الرجل وتعرضها للإجهاد وأيضا تكلفتها المادية.
ومن خلال عمل محاكاة تصميمية لرجل صناعية لطفل بحالة بتر تحت الركبة باستخدام أربعة أنواع من المواد والسبائك (سبيكة الفولاذ AISI 4340 – سبيكة الالومينيوم 3003 – سبيكة التيتانيوم Ti-6AI-4V – سبيكة البوليمر (ABS)) وتسليط القوة بافتراض متوسط وزن الأطفال لا يتجاوز (45kg) تبين أن أنسب المعادن المستخدمة هي البوليمر ABS حيث أن لديها قدرة تحمل مناسبة وسهولة توفرها وتكلفتها المنخفضة وإمكانية تصنيعها باستخدام الطابعات ثلاثية الابعاد. كما أنه يمكن استخدام الألومنيوم نظرا لخفة وزنه وتوفره وسهولة تصنيعه وتكلفته المنخفضة ومقاومته للإجهادات والتآكل وغير قابل للصدأ.

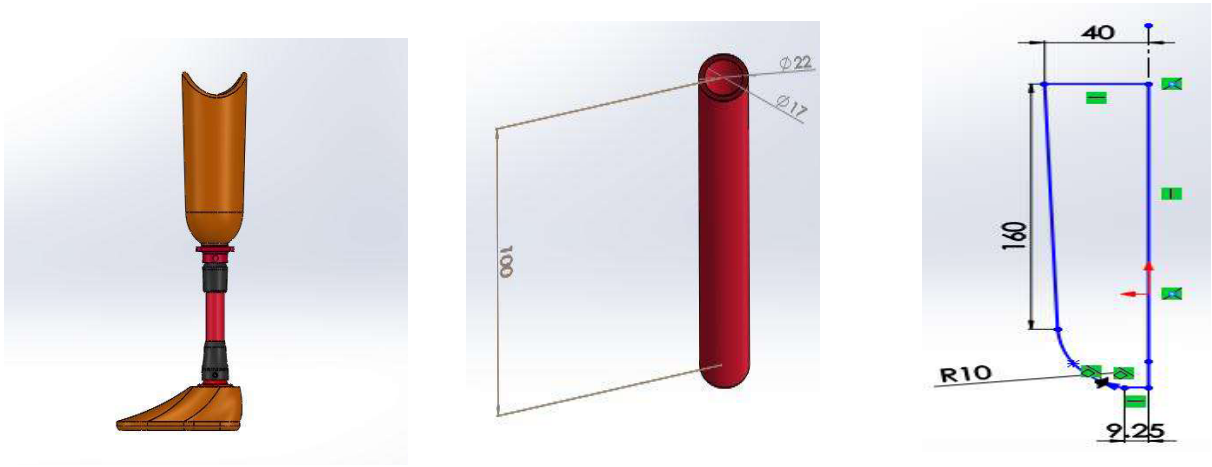
الكلمات المفتاحية: (طرف صناعي- بتر تحت الركبة - محاكاة)

1. مقدمة

تتأثر الأطراف الصناعية بشكل مباشر بالمواد التي تصنع منها، وقد ينتج عن استخدام بعض المواد اختلاف في إمكانيات الطرف الصناعي المستخدم، حيث يعتبر الطرف الصناعي منخفض التكلفة وخفيف الوزن كافيا بشكل جيد للمشي فقط وهذا في الواقع مناسبٌ جدًا للمسنين والاطفال. وتعمل المنظمات العالمية المعنية على تقديم المزيد من الأفكار والحلول لتصميم أطراف صناعية منخفضة التكلفة عن طريق استخدام مواد تساعد على ذلك، وبالرغم من بعض المشاكل المتعلقة بالمتانة إلا أنها قد تكون حلًا جيدًا في الدول التي تتعرض لكوارثٍ أو في حالات وجود أعدادٍ كبيرةٍ من المبتورين [1]
وقد اهتم العديد من البحاث بإيجاد حلول للمشكلات التي قد تنتج عند تصميم هذه الأطراف، فقد حاول راضي واخرون [2] تحليل سلوك الوقب الصناعي تحت الركبة لتأمين الراحة والاستقرار للمريض بينما تمكن راضي [3] من إيجاد مسار الاجهادات لوقب سفلي متوسط الطول .كما قام اكرام وأخرون [4] بتصنيع وقب سفلي جديد بطريقة (Modular Socket System) بينما ركز بحاث أخرون ، بكر [5] و كومبالكار وأخرون [6] على دراسة وقب الركبة .
وفي ليبيا تضاعف عدد المبتورين في اخر عشر سنوات نتيجة الحروب وحوادث الطرق وأيضا التشوهات الخلقية. من أجل ذلك يعمل مركز الأطراف الصناعية التابع لجامعة مصراتة بليبيا على مساعدة مبتوري الأطراف في توفير أجهزة أو أطراف مساعدة لهم في حياتهم اليومية، لكن الأطراف الصناعية المتوفرة في المركز تكون مناسبة للبالغين فقط، لذلك يهدف هذا البحث لعمل محاكاة تصميمية لرجل صناعية للأطفال بحالات البتر تحت الركبة، ومحاولة دراسة ومعرفة المناطق الأكثر عرضة للإجهاد باستخدام معادن وسبائك مختلفة، والمقارنة بينها من حيث التحمل وكذلك التكلفة بسبب أن الأطفال يكونون في حالة نمو مستمر مما يستوجب استبدال الطرف الصناعي دوريا بحسب نمو الطفل. حيث يُأمل ان يعطي هذا البحث إضافة لمراكزنا الطبية التي تقوم بتركيب الأطراف الصناعية نظرا لقلة الأبحاث المتعلقة بذلك محليا.

2. المواد وخطوات العمل

تعتبر عمليات البتر تحت الركبة من أكثر أنواع البتر شيوعًا، حيث تمثل حوالي نصف حالات بتر الأطراف الرئيسية[7] غالبًا ما يشار إليها باسم "بتر تحت الركبة" أو بتر "Below Knee Amputation" BKA ولديها معدلات نجاح عالية جدًا في إعادة التأهيل البدني، وقد تم إدخال بيانات مكونات الطرف الصناعي المختلفة وتجميع القطع في برنامج حاسوبي (SolidWorks)، باستخدام مقاسات حقيقية لطرف صناعي لطفل لا يتجاوز عمره 6 سنوات مخصص لبتر قدم تحت الركبة، تم الحصول عليها من مركز مصراتة للأطراف الصناعية التابع لجامعة مصراتة كما مبين بالشكل (1).



(أ) (ب) (ج)

شكل 1 الرجل الصناعية: أ. أبعاد مقبس الطرف – ب. أبعاد الساق الصناعية . ج. الرجل الصناعية بعد تجميع القطع.

ونظرا لأن برامج المحاكاة يمكنها حساب الاجهادات والتشوهات المحتمل حدوثها نتيجة تسليط القوى، حيث توفر برامج المحاكاة الوقت والجهد عوضا عن الحسابات اليدوية، فقد تم محاكاة الطرف الصناعي باستخدام عدد من المواد مع مراعاة بعض الشروط والتي منها:

- يجب أن لا تكون المادة المصنعة سامة.
- يجب أن لا تفقد المادة خصائصها الفيزيائية أو الميكانيكية بسبب طول فترة الاستخدام .
- يجب أن لا تصدأ بسبب التعرق أو غسل الجزء وسهلة التعقيم والتنظيف.
- يجب أن تكون خصائص المتانة والتعب متلائمة مع شكل العضو لتلائم الإجهاد المسموح خصوصا عند تركيز نقاط الإجهاد.
- يجب ان تصنع المادة من مواد قابلة للإزالة والاستبدال في حال عطلها أو فشلها.

تم اختيار المواد المستخدمة في التصميم بحيث تكون هذه المواد متوفرة وغير مكلفة وسهلة التصنيع وتتماشى مع خصائص المواد المستعملة في الأطراف الصناعية.

1.2 سبيكة الفولاذ AISI 4340 alloy steel :ولها الخصائص الفزيائية والميكانيكية المبينة في الجدول 1 .

جدول (1) الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لسبيكة الفولاذ

Property	Value	Units
Elastic Modulus	205000	N/mm^2
Poisson's Ratio	0.285	N/A
Shear Modulus	80000	N/mm^2
Mass Density	7850	kg/m^3
Tensile Strength	745	N/mm^2
Compressive Strength		N/mm^2
Yield Strength	470	N/mm^2
Thermal Expansion Coefficient	1.23e-005	/K
Thermal Conductivity	44.5	W/(m·K)

2.2 سبيكة التيتانيوم Ti-6AI-4V Titanium : لهذه السبيكة الخصائص الفزيائية والميكانيكية المبينة في الجدول 2.

جدول (2) الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لسبيكة التيتانيوم

Property	Value	Units
Elastic Modulus	104800.31	N/mm^2
Poisson's Ratio	0.31	N/A
Shear Modulus	41023.807	N/mm^2
Mass Density	4428.78	kg/m^3
Tensile Strength	1050	N/mm^2
Compressive Strength		N/mm^2
Yield Strength	827.37088	N/mm^2
Thermal Expansion Coefficient	9e-006	/K
Thermal Conductivity	6.7	W/(m·K)

3.2 سبيكة الالومينيوم 3003 Aluminum alloy : لهذه السبيكة الخصائص الفزيائية والميكانيكية المبينة في الجدول 3.

جدول (3) الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لسبيكة الالومينيوم

Property	Value	Units
Elastic Modulus	69000	N/mm^2
Poisson's Ratio	0.33	N/A
Shear Modulus	27000	N/mm^2
Mass Density	2700	kg/m^3
Tensile Strength	110.297	N/mm^2
Compressive Strength		N/mm^2
Yield Strength	41.3613	N/mm^2
Thermal Expansion Coefficient	2.3e-005	/K

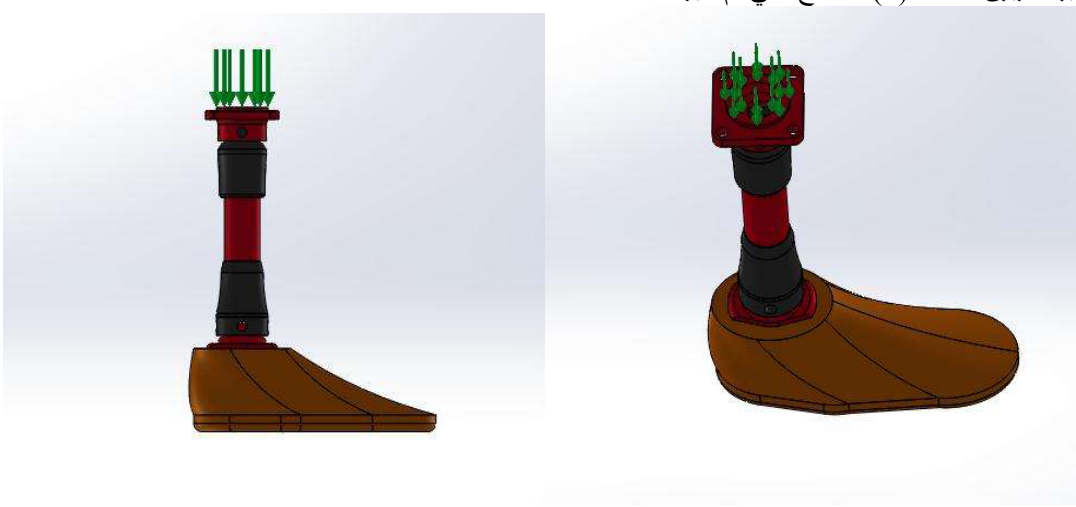
4.2 البوليمر Acrylonitrile butadiene styrene (ABS): لهذه السبيكة الخصائص الفزيائية والميكانيكية المبينة في الجدول 4 .

جدول (4) الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لسبيكة البوليمر (ABS)

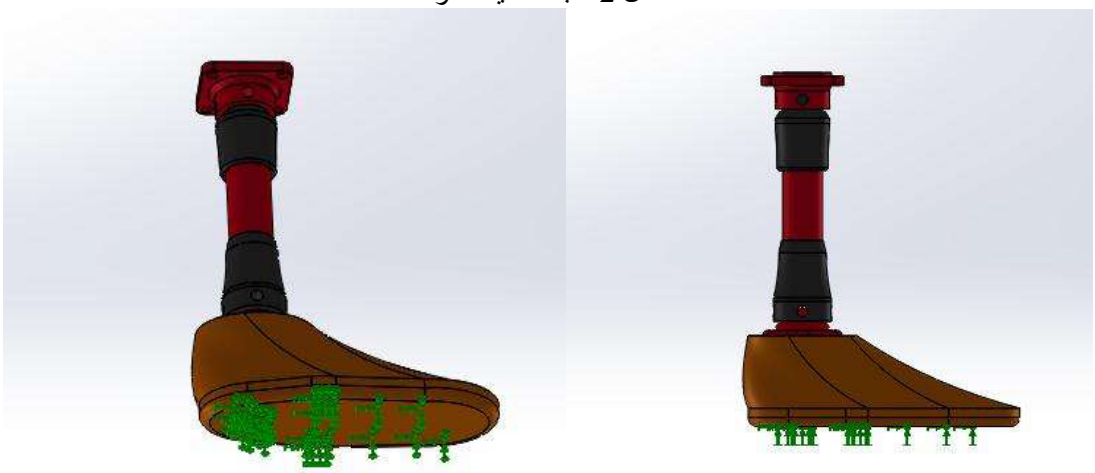
Property	Value	Units
Elastic Modulus	2000	N/mm^2
Poisson's Ratio	0.394	N/A
Shear Modulus	318.9	N/mm^2
Mass Density	1020	kg/m^3
Tensile Strength	30	N/mm^2
Compressive Strength		N/mm^2
Yield Strength		N/mm^2
Thermal Expansion Coefficient		/K
Thermal Conductivity	0.2256	W/(m·K)

3. المحاكاة

قبل أن تتم عملية المحاكاة يجب تحديد اتجاه تسليط القوة وتحديد السطح الثابت. حيث تم تسليط القوة من الأعلى في اتجاه عمودي على الساق الصناعية بمقدار 450 نيوتن أي ما يعادل تقريبا 45 كيلو جرام بفعل وزن الجسم، وهو تقريبا ضعف متوسط وزن الأطفال دون 6 سنوات. كما تمت عملية التثبيت من الأسفل عن طريق القدم .ويبين الشكل (2) اتجاه تسليط القوة بينما يبين الشكل (3) السطح التي تم تثبيته.



شكل 2 اتجاه تسليط القوة

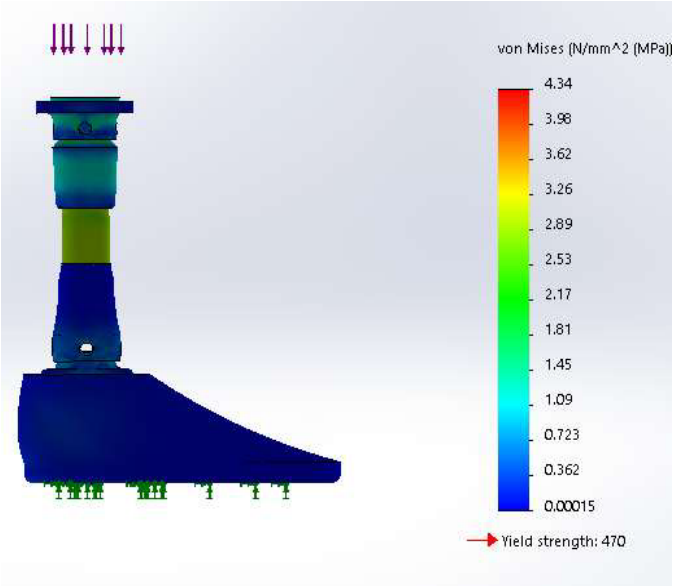


شكل 3 تثبيت القدم

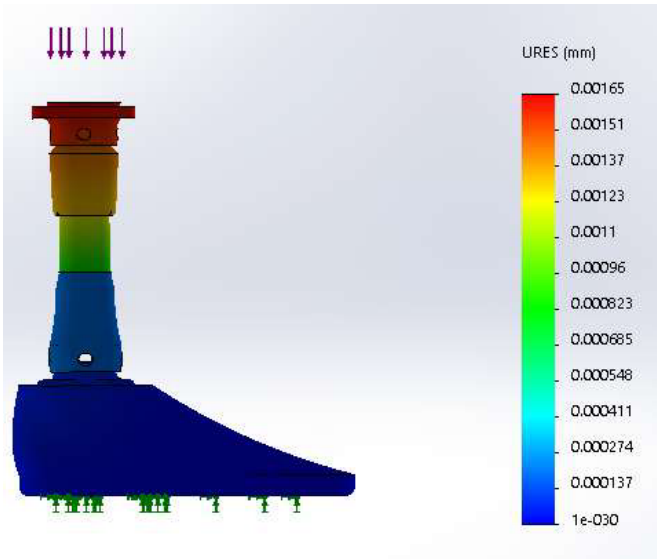
4. النتائج والمناقشة

فيما يلي نتائج الاختبار لأربع مواد، حيث تم أخذ حالتين للساق لكل مادة (مصمت – مجوف)، وبتسليط القوة بنفس شروط التثبيت تم حساب مقدار الاجهادات والتشوهات في كل حالة. تبين الاشكال من (4 الي 19)نتائج المحاكاة لكل مادة.

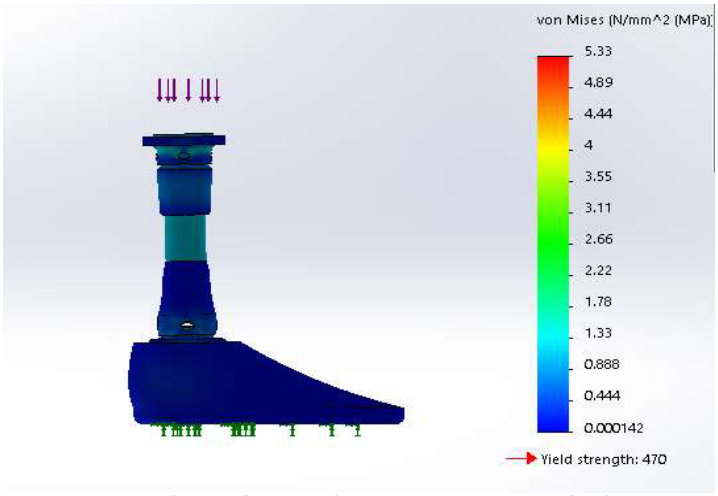
AISI 4340 alloy steel 1.4



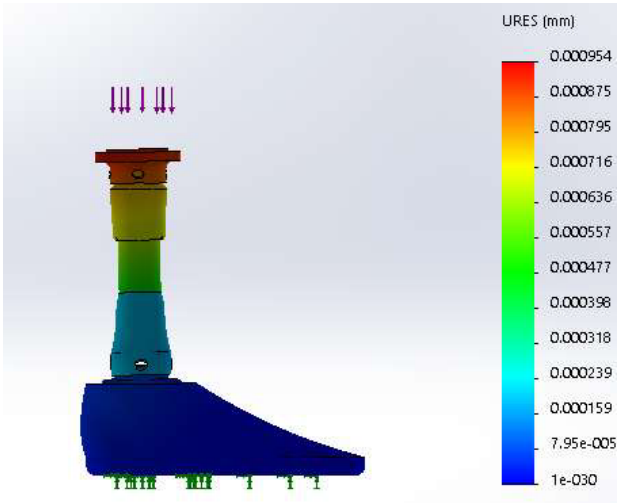
شكل 4 الاجهادات على ساق الفولاذ المجوفة



شكل 5 التشوهات على ساق الفولاذ المجوفة

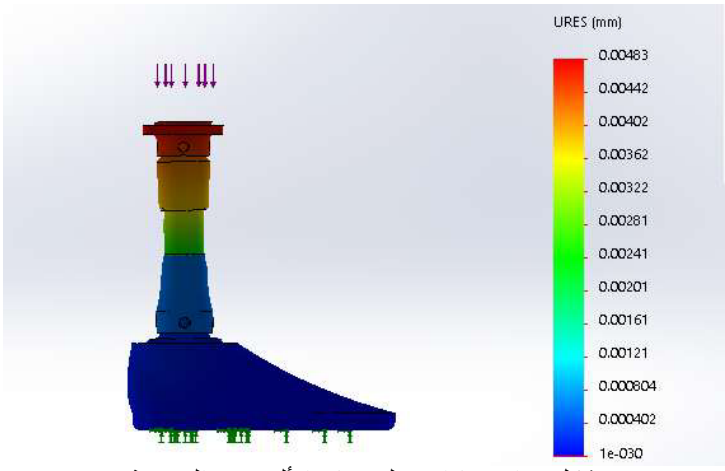


الشكل 6 مقدار الاجهادات على ساق الفولاذ المصمتة

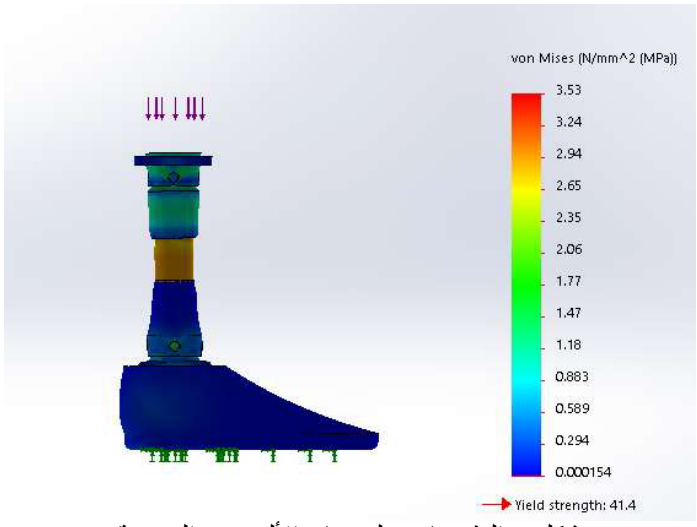


الشكل 6 التشوهات على ساق الفولاذ المصمتة

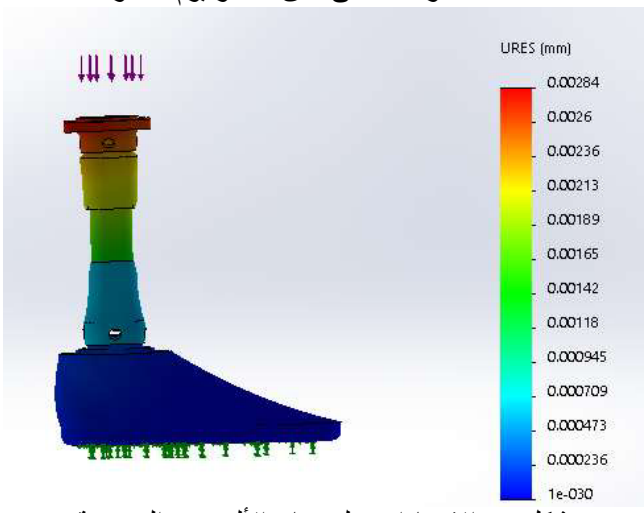
3003 aluminum alloy 2.4



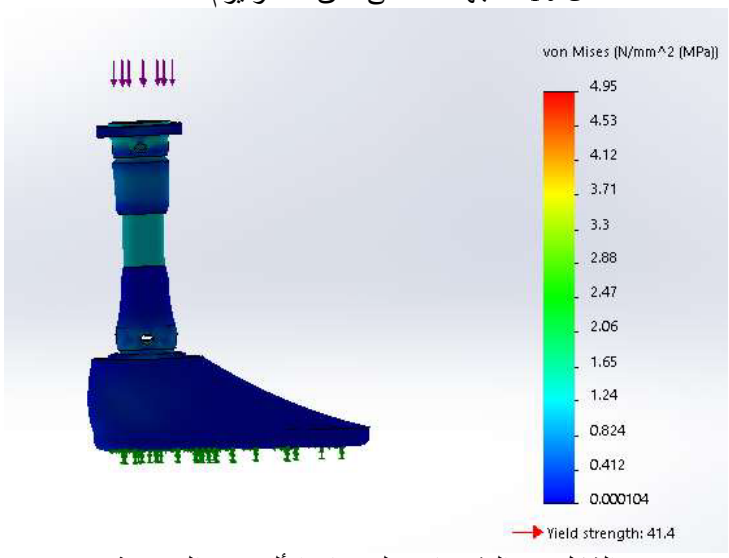
شكل 8 الاجهادات على ساق الألمونيوم المجوفة



شكل 9 التشوهات على ساق الألمونيوم المجوفة

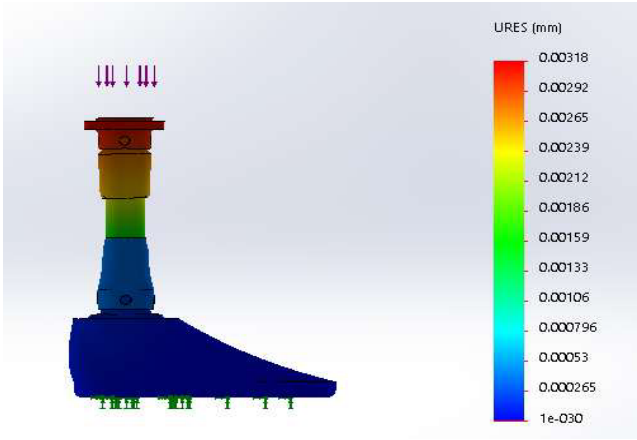


شكل 10 الاجهادات على ساق الألمونيوم المصمتة

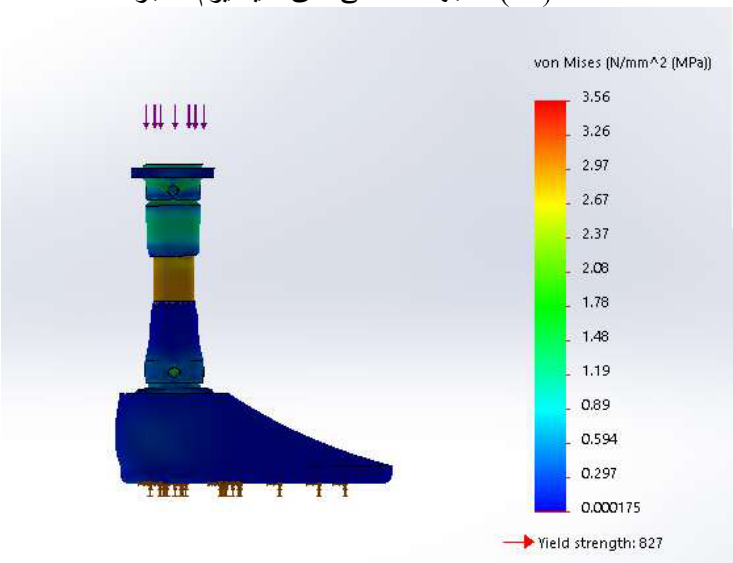


الشكل 11 التشوهات على ساق الألمونيوم المصمتة

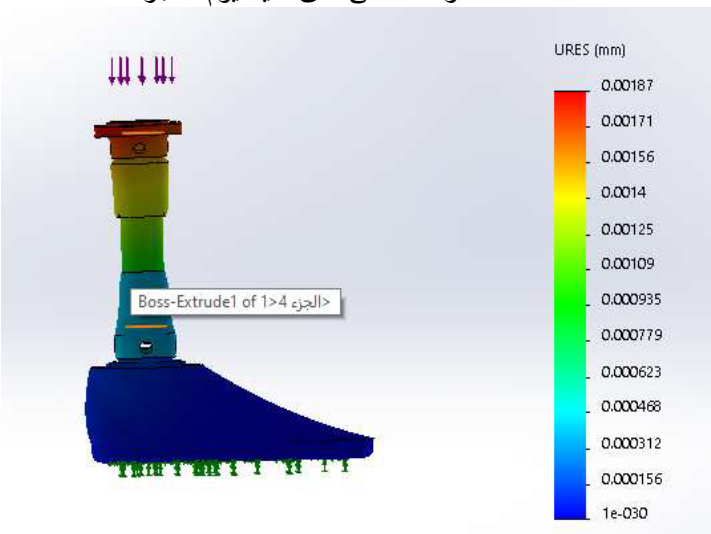
Ti-6Al-4V titanium 3.4



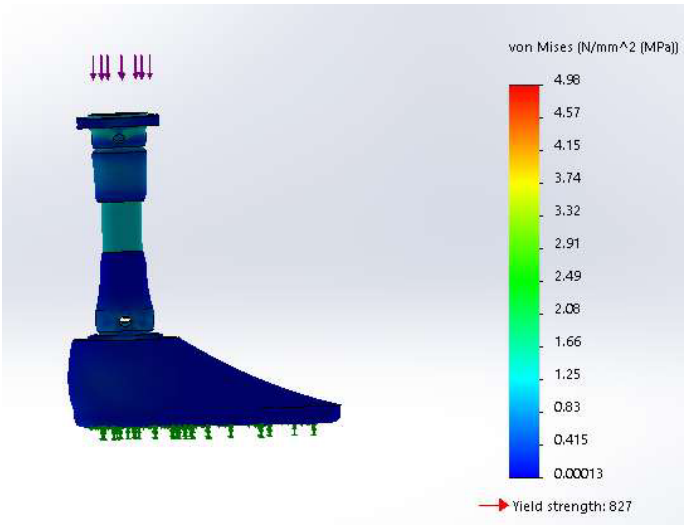
الشكل (12) الاجهادات على ساق التيتانيوم المجوفة



شكل 13 التشوهات على ساق التيتانيوم المجوفة

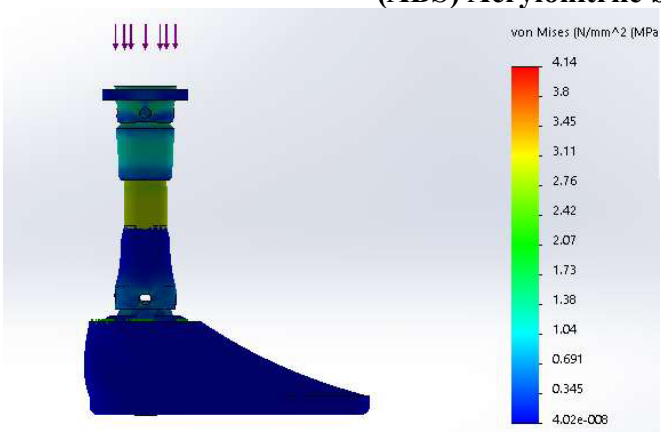


شكل 14 الاجهادات على ساق التيتانيوم المصمتة

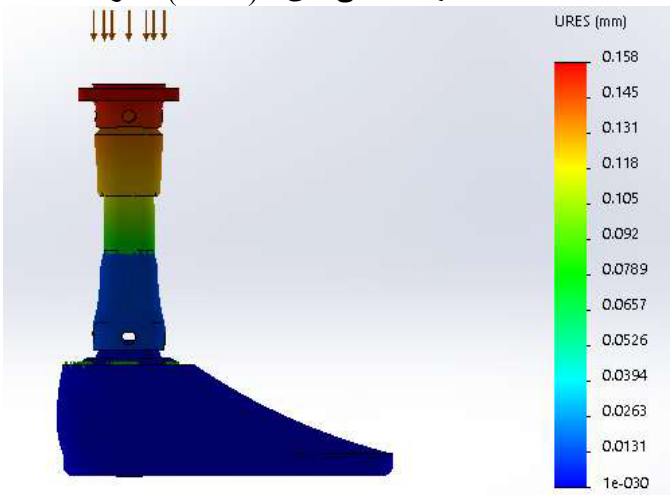


شكل 15 التشوهات على ساق التيتانيوم المصمتة

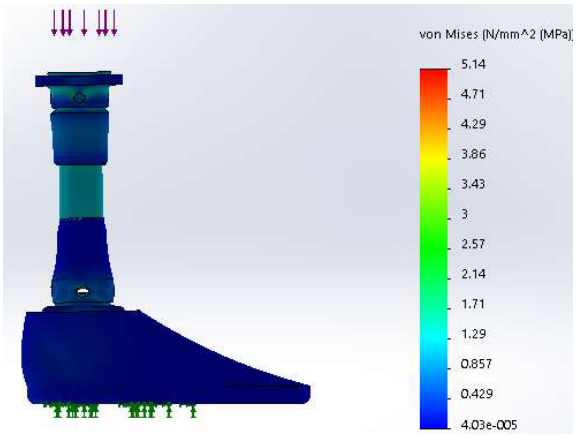
(ABS) Acrylonitrile butadiene styrene 4.4



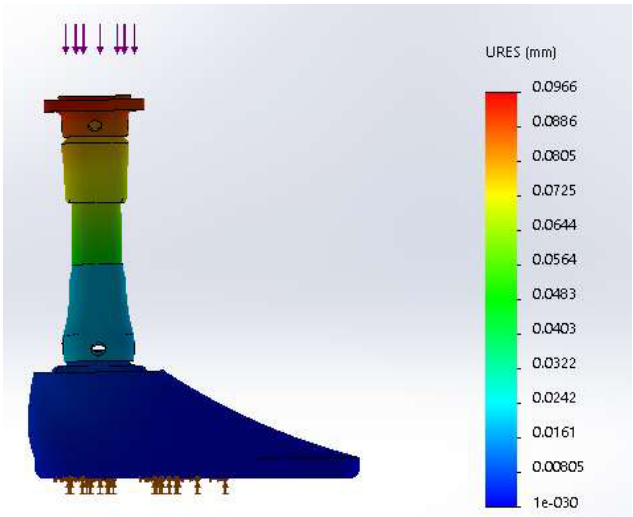
شكل 16 الاجهادات على ساق الـ(ABS)المجوفة



شكل 17 التشوهات على ساق الـ(ABS)المجوفة



شكل 18 الاجهادات على ساق الـ(ABS) المصمتة



شكل 19 التشوهات على ساق الـ(ABS) المصمتة

5. ملخص النتائج والمناقشة

بتسليط نفس قيمة القوة ونفس شروط التثبيت يمكن تلخيص النتائج المتحصل عليها بالجدول (5)

جدول (5)ملخص نتائج المحاكاة

ABS	Ti-6Al-4V Titanium	3003 Aluminum alloy	AISI 4340 alloy steel	نوع المادة	
5.14	4.98	4.95	5.33	مصمت	أقصي إجهاد *(MPa)*
4.14	3.56	3.53	4.34	مجوف	
0.0966	0.00187	0.00284	0.00095	مصمت	أقصي تشوه *(mm)*
0.158	0.00318	0.00483	0.00165	مجوف	
38.7	168.3	102.6	298.4	مصمت	الوزن المتوقع للساق الصناعية (G)
15.6	67.8	41.3	120.2	مجوف	

نلاحظ من الجدول (5) أن أقصي قيم الاجهادات لجميع المواد متقاربة، والتشوهات في جميع المواد تحت تأثير القوة المسلطة (قوة الضغط) صغيرة جدا وهي في الحدود المقبولة. سبيكة الفولاذ هي المادة الأقل تشوه والأكثر تحملا للإجهادات ولكنه المعدن الأثقل وزناً وهي خاصية غير إيجابية في تصنيع الأطراف الصناعية خصوصا للأطفال، بينما سبيكة التيتانيوم قريبة من مواصفات الألومنيوم من حيث الوزن وقوة التحمل ولكنه معدن غالي الثمن وغير متوفر محليا وهي أيضا خاصية غير مناسبة في تصميم الأطراف الصناعية نتيجة للنمو المستمر للأطفال واحتياجهم الي استبدالها بأطراف أخري باستمرار. أما الألومنيوم فهو معدن خفيف الوزن والتشوه فيه صغير، وأيضا البوليمر فكان التشوه فيه مقبول ونظرا لخفة وزنه يفضل تصنيعه بشكل مصمت لزيادة التحمل حيث أن وزنه وهو مصمت اقل من وزن المعادن الثلاثة وهي مجوفة، كما يمكن تصنيعه بالطابعة ثلاثية الابعاد.

6. الخلاصة

من خلال النتائج تبين أن جميع المواد التي تم استخدامها قد تحملت القوة المسلطة عليها ولم يحدث لها انهيار وأن قيم الاجهادات متقاربة كما أن التشوه تحت تأثير قوة الضغط في جميع العينات صغير ومقبول .لكن بأخذ أهم الاعتبارات التصميمية في الرجل الخاصة بالأطفال وهي الوزن والتكلفة فان المادة الأنسب للاستخدام هي البوليمر ABS حيث لديها قدرة تحمل مناسبة وسهولة توفرها وتكلفتها المنخفضة وإمكانية تصنيعها باستخدام الطابعات ثلاثية الابعاد. كما أنه يمكن استخدام الألومنيوم نظرا لخفة وزنه وتوفره وسهولة تصنيعه وتكلفته المنخفضة ومقاومته للإجهادات والتآكل وغير قابل للصدأ.

7. المراجع

[1] WHO Library Cataloguing-in-Publication Data World report on disability 2011.
[2] Radi S, Neama H. Analysis of A Below Knee Prosthetic Socket. Journal of Engineering and Development, V. 12, No. 2, June 2008
[3] Radi S, Stress Distributions of Lower Limb Prosthetic Socket .Journal of Engineering and Development, V. 11, No. 3, December 2007
[4] Ikram R. Abd Al-razaq, Kadhim Kamil Resan, Yasir Khalil Ibrahim , Design and Manufacturing of Prosthetic Below Knee Socket by Modular Socket System, Journal of Engineering and Development, V. 20, No. 2, March 2016.
[5] Bakr Noori Khudher, Weight Optimization of Syme Socket Prosthesis, Al-Rafidain Engineering, Vol.21 No. 3 June 2012
[6] M. A. Kumbhalkar, Umesh Nawghare, Rupesh Ghode, Yogesh Deshmukh, Bhushan Armarkar, Modeling and Finite Element Analysis of Knee Prosthesis with and without Implant, Universal Journal of Computational Mathematics Vol.1 No.2, 2013.
[7] التقرير السنوي لمركز الأطراف الصناعية ' (جامعة مصراتة- ليبيا) ' 2020