المجلد الخامس- العدد الثاني – فبراير 2026
Volume 5 (Issue 2) February 2026

مجلة قورينا العلمية QSJ
Qurina Scientific Journal
ISSN: 2959 - 7463

يد رابتور الاصطناعية: تصميم وتطوير طرف علوي ميكانيكي منخفض التكلفة

سائد وليد مقداد[1]

[1] قسم الهندسة الطبية، كلية التقنية الطبية – بنغازي- ليبيا.

Abstract:
This study presents the design and testing of a low-cost, 3D-printed prosthetic hand based on the Raptor Hand model developed by the e-NABLE community. The goal was to create a functional upper-limb prosthesis using accessible materials and fabrication methods. We utilized CAD software to adapt the open-source Raptor design for a pediatric user, printed the components on an FDM 3D printer using PLA filament, and assembled them with conventional cables and springs to enable movement by wrist flexion. The hand's performance was evaluated through simple tasks and mechanical tests, measuring finger range-of-motion and grip strength. Results showed that the prototype achieved approximately 90° finger closure and demonstrated a grip force on the order of 10–15 N, which is comparable to values reported for similar 3D-printed designs. These results, while below those of high-end commercial prostheses, were sufficient for basic gripping tasks. Notable observations included slight loosening of elastic components after repeated use, echoing issues noted in the literature (Cuellar *et al.*, 2021). Overall, the study confirms the viability of a community-driven prosthetic solution: the printed Raptor Hand can perform basic functions effectively, offering a promising low-cost option. This work highlights the importance of material selection and design refinements for future improvements of open-source prostheses.

Keywords: 3D Printing; Assistive Technology; Biomedical Engineering; e-NABLE; Prosthetic Hands.

ملخص البحث:

يسعى هذا البحث إلى إنشاء وتطبيق طرف اصطناعي علوي بتكلفة منخفضة مستند على نموذج اليد الرابتور الذي ابتكرته مجموعة e-NABLE التطوعية. اعتمدنا على تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد (FDM) لإنتاج مكونات اليد باستخدام مادة PLA، ثم قمنا بتجميعها مع نظام شد تقليدي يعتمد على الأسلاك والزنبركات. تضمنت الطريقة استخدام نماذج ثلاثية الأبعاد مفتوحة المصدر، مع قياس الأداء الميكانيكي للنموذج المطبوع (اختبار قوة القبضة، زاوية الحركة). أظهرت النتائج أن النموذج المعروف برابتور يمكنه إغلاق الأصابع والإمساك بالأشياء البسيطة بأداء مقبول ضمن الحدود المتوقعة، حيث كان متوسط قوة القبضة حوالي 10 إلى 15 نيوتن، وهي أرقام مشابهة لتصاميم سابقة (Cuellar *et al.*, 2021). كما أظهرت بعض العيوب مثل تآكل الأربطة السلكية مع الاستخدام المستمر. بناءً على ذلك، يمكن اعتبار اليد الاصطناعية التي تم تطويرها خيارًا فعّالًا لتوفير أطراف صناعية للأطفال ذوي الاحتياجات الخاصة، مع ضرورة اتباع التوصيات لتحسين المواد وعناصر الشد.

الكلمات المفتاحية: الأطراف الاصطناعية، التصميم، الطباعة ثلاثية الأبعاد، الهندسة الطبية الحيوية، يد اصطناعية.

المقدمة:

تعتبر الأطراف الاصطناعية العلوية عنصرًا رئيسيًا في تحسين حياة الأشخاص الذين فقدوا أطرافهم، خاصة في الدول ذات الدخل المنخفض، حيث تظل تكاليفها مرتفعة للغاية. يسعى مشروع e-NABLE العالمي لتقديم نماذج بتكلفة منخفضة من خلال تقنية الطباعة الثلاثية الأبعاد. وقد تمكن هذا المشروع من استقطاب حوالي 7000 متطوع، مما أسفر عن توفير ما يقرب من 2000 طرف صناعي لأشخاص في 45 دولة. من

بين هذه النماذج، برز تصميم يد الرابتور (Raptor Hand) كتصميم حديث يضم مفاصل متعددة، يهدف إلى دمج أفضل الأفكار من التصاميم السابقة في يد اصطناعية بسيطة وسهلة الطباعة .(Simon, 2023) يتميز هذا التصميم بقدرة الطباعة دون الحاجة إلى دعم أو مسامير معدنية، بالإضافة إلى نظام شد مُحسّن يتيح تطويره في المستقبل.

في هذا البحث، نقدم شرحًا دقيقًا حول عملية تطوير نموذج مطابق ليد رابتور، ونسعى لتقييم أدائها في مهام الإطباق والقبضة مقارنة بالنتائج المتاحة في المراجع. سنبدأ بمناقشة الخلفية النظرية والأنظمة المشابهة للأطراف الاصطناعية، ثم نحدد مشكلة الدراسة وأهدافها، ونبرز أهمية هذه الدراسة في مجال الهندسة الطبية الحيوية. بعد ذلك، نستعرض الأبحاث السابقة المتعلقة بتصاميم الأطراف الصناعية بتكلفة منخفضة ونتائجها. وأخيرًا، نقوم بتوضيح المنهجية المتبعة والإطار النظري الذي يدعم هذه الأطراف، قبل عرض نتائجنا ومناقشته.

الشكل رقم 1: (Hand Raptor).

1.الاختبار الوظيفي: شمل قياس نطاق حركة الأصابع في حالتي الفتح والإغلاق باستخدام حاسبة بسيطة (مثلا" الزوايا المحصلة). كما قُيّمت قوة القبضة بقياس الوزن الأقصى الذي يمكن حمله بثبات (مثلا" إمساك كأس مملوء بالماء أو كتلة ثقيلة). استُخدِمت أدوات يدوية بسيطة مثل ديناميومتر لقياس القوة المرجعية عند الإمساك.

2. تحليل البيانات : تمت مقارنة البيانات المقاسة مع نتائج سابقة في الأدبيات .(Cuellar *et al.*, 2021) وقد اعتمدنا في التحليل على الأساليب الوصفية (مثل رسم منحنيات القوة مقابل الشد) لتحليل كفاءة اليد. كذلك طُبق تقييم نوعي من حيث سهولة التركيب والراحة النسبية للمستخدم.

الإطار النظري:

تقوم فكرة اليد الاصطناعية المدعومة بحركة الجسم على استخدام حركة المعصم أو الكتف لتحريك الأسلاك التي تجعل الأصابع تتقارب. في هذا البحث، تم تفعيل اليد عن طريق الأسلاك والنوابض، بحيث يؤدي انحناء المعصم إلى إغلاق اليد من خلال تقارب الأصابع. يختلف تصميم الأطراف العلوية حسب مستوى البتر، ولكن معظم هذه التصاميم تستخدم نظام غلق بسيط يعتمد على خيط موجه أو شجرة وير (Whiffle) لضمان توزيع الشد بالتساوي على الأصابع. في نموذج اليد الميكانيكية، يعد اختيار نقاط الارتكاز (محاور المفاصل) وزاوية الحركة الحاسمة مهمين لتمكين الإطباق الكامل (بزاوية 90º) وتجنب الامتداد الزائد (hyperextension) .

يهدف التصميم إلى إنتاج كفاءة جيدة في نقل القوة حتى يتوفر جهد كافٍ في طرف الأصابع) على سبيل المثال، بعض التصميمات تصل إلى حوالي 16 نيوتن .(Cuellar *et al.*, 2021) وهو أقل من الأطراف عالية التقنية ولكنه كافٍ لأداء المهام الأساسية.

يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار عوامل مثل سهولة الإنتاج والموثوقية؛ حيث أظهرت الدراسات أن المطاط التقليدي قد يفقد مرونته مع مرور الوقت .(Ferreira *et al.*, 2017) لذلك، كان التركيز على استعمال مواد بلاستيكية مرنة وعالية الجودة لتأخير تدهورها. علاوة على ذلك، يجب أن يكون التصميم مريحاً ومقبول الشكل من الناحية التشريحية. رغم أن اليد المنتجة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد غالباً ما تكون أقل تكلفة بكثير من الأطراف التقليدية، مع إمكانية تخصيصها بسهولة وفقاً لمقاسات الفرد.

النتائج والمناقشة:

تمكنت من إنتاج النموذج المحسن بنجاح وتركيبه وفقاً للطريقة السابقة. أظهرت الاختبارات المتعلقة بالزوايا أن اليد تغلق بزاوية قريبة من 90 درجة في الأصابع الأربعة، مما يسهل القبض على الأجسام الدائرية. بالنسبة لقوة القبضة، لاحظنا أن اليد كانت قادرة على حمل أوزان خفيفة، مثل الإمساك بكأس مليء بالماء وزنه حوالي نصف كيلو جرام دون أن ينزلق. تراوحت قيم قوة القبضة التي قمنا بتقديرها بين 10 و15 نيوتن، وهو ما يتماشى مع القيم الموجودة في دراسات مشابهة .(Cuellar *et al.*, 2021) هذه القوة كافية لأداء مهام بسيطة مثل حمل كوب أو لعبة خفيفة، لكنها تظل أقل من الأطراف الصناعية المتطورة التي يمكن أن تتجاوز قوة 40 نيوتن في بعض النماذج. وفقاً للتحليل النظري، تبين أن اليد المعاد تصنيعها أدت الوظيفة المتوقعة لكن مع وجود بعض القيود: حيث لوحظت تآكلات متزايدة في سلك الشد بعد الاستخدام المتكرر، وهو ما أشار إليه الباحثون سابقاً: (Cuellar *et al.*, 2021) ، مما جعل الإغلاق الكامل سريعاً أمراً صعباً. كما أظهرنا أن الجسم البلاستيكي لليد قد يتعرض لتمزقات بسيطة في أطراف المفصل عند زيادة القوة خلال الاستخدام الطويل الأمد. بالمقارنة مع الأبحاث السابقة، تبقى النتائج متوافقة مع ما أورده كويلار وآخرون(Cuellar *et al.*, 2021) ، حيث وجدت قوتهم في الإطباق حوالي 16 نيوتن باستخدام مواد .PLA يتفوق تصميمنا على النتائج الأولية لليد الرابتور من حيث كفاءة التجميع وسهولة التصنيع، لكن لم نتمكن من تجاوز الحدود الخاصة بسرعة الأداء الميكانيكي التقليدية. تناقش هذه النتائج أهمية المتانة والدقة في أي تحسينات مستقبلية؛ مثل تحسين نظام الشد عبر استخدام نوابض ذات جودة أفضل، أو استخدام مواد مرنة أكثر تطوراً للرابط. في الختام، تؤكد الدراسة أن يد الرابتور تعتبر قابلة للاستخدام العملي كوحدة اختبار، مع ضرورة الاستمرار في العمل من أجل تحسين عيوب التصميم كما هو موضح في الأدبيات.

.

الشكل رقم 2: مقارنة (Hand Raptor).

التوصيات:

- استخدام مواد أكثر مرونة وقوة في الأربطة والأسلاك (مثل الأوتاد النابضة أو خيوط Kevlar) لمنع فقدان المرونة مبكرا.
- تحسين تصميم محور مفاصل الأصابع لضمان غلق أكثر انسيابية ودون اهتزازات.
- إجراء دراسات ميدانية إضافية مع مستخدمين فعليين (نماذج أولية للاختبارات البشرية) لتقييم الراحة والوظيفة على المدى الطويل.
- تدريب الطلاب والمتطوعين على عملية التصنيع والتركيب بالشكل الموصى به لزيادة فرص توزيع النموذج واستخدامه في مشاريع تطوعية ومؤتمرات مستقبلية.
- النظر في إضافة حساسات بسيطة (مثل مستشعرات قوة في المستقبل) لتقييم الأداء بشكل أكثر دقة خلال الاستخدام.
- يوصى بتوسيع نطاق نشر مشروع Hand Raptor لما يملكه من أثر إيجابي كبير، إذ يمكن لاعتماده على نطاق واسع أن يسهم في تحسين جودة حياة المستخدمين ودعم فئات عديدة بطريقة عملية وفعّالة.

الشكر وتقدير:

يتقدم الباحث بخالص الشكر والتقدير إلى فريق e-NABLE والمصمم Owen Ivan على إتاحة التصاميم المفتوحة المصدر، كما نشكر أساتذة قسم الهندسة الطبية الحيوية الذين دعموا هذا المشروع وإدراج نموذج اليد في فعاليات المؤتمر.

المصادر والمراجع:

- Cuellar, J. S., Plettenburg, D., Zadpoor, A. A., Breedveld, P., & Smit, G. (2021). Design of a 3D-printed hand prosthesis featuring articulated bio-inspired fingers. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 235(3), 336–345.
- Ferreira, D., Duarte, T., Alves, J. L., Ferreira, I., & de Carvalho, X. (2017). Development of low-cost customized hand prostheses by additive manufacturing. *Proceedings of Rapid Pro*.
- Simon, J. (2023, June 8). Introducing the Raptor Hand by e-NABLE. *3D Universe*.