توظيف تقنية الطباعة الثلاثية الأبعاد في صناعة الأطراف الإصطناعية الذكية : مع التطبيق على اليد الواحدة

علياء محمد المهدي [١] ميسون قطب [٢]

١. باحث حر- قسم الطباعة والنشر والتغليف- كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان – الجيزة – مصر
٢. أستاذ وعميد كلية الفنون التطبيقية- قسم الإعلان- كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان – مصر

Submit Date: 2023-07-18 19:58:23 | Revise Date:2024-03-15 20:57:03 | Accept Date: 2024-04-01 08:33:09

DOI:10.21608/jdsaa.2024.223867.1353

ملخص البحث:-

لقد أصبح في وقتنا الحالي الإعتماد على إستخدام تطبيقات الحاسوب لتعزيز وتحسين عمليات الإنتاج وتصنيع المنتجات أمرًا مطلوباً مثل تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد أو التصنيع بالإضافة والتي تعد تقدمًا هائلاً في صناعة الطباعة والتغليف لتصنيع الأجزاء المخصصة والمعقدة. لكن هذه التقنية تواجه بعض التحديات مثل صعوبة الحصول عليها في البلدان النامية، إما بسبب عدم الدراية الكافية بهذه التقنية أو عدم وجود متخصصين بشكل كافٍ لها كما هو على المستوى المحلي ,ولقد تم إستخدام المنهج الوصفي التحليلي والمنهج التجريبي من خلال طبع أحد أصابع اليد بأحد خامات البلاستيك بولي لاكتيك (PLA/polylactic acid) بإستخدام أحد تقنيات الطباعة الثلاثية الأبعاد (طريقة ترسيب المجسم المنصهر) ومن ثم تحليل عناصر التكلفة وزمن الإنتاج ومن خلال تحليل النتائج تم التوصل إلى أنه يمكن الإستعانة بالطباعة الثلاثية في إنتاج الأطراف الإصطناعية الذكية وإن كان يستلزم توفر الخبراء والمدربين بهذه التقنية.

الكلمات المفتاحية:-

التصنيع بالإضافة (Additive manu-facturing), أطراف إصطناعية ذكية(Smart Prosthetics) , الطباعة الثلاثية الأبعاد(3dprinting) , الطباعة الحيوية (Bio printing)

المقدمة:

زاد الإهتمام بتقنية الطباعة الثلاثية الأبعاد في العديد من المجالات العلمية بما في ذلك الطب وخاصة في مجال إنتاج الأطراف الإصطناعية الذكية (Smart Prosthetics), حيث يمكن إستخدام الطابعات الثلاثية الأبعاد لطباعة أي نوع من الأطراف الإصطناعية التي تتوافق مع متطلبات المريض وذلك عن طريق تصميم الأطراف بإستخدام برامج الكمبيوتر (CAD). وقد ساعدت هذه التقنية على دمج تقنيات الذكاء الإصطناعي وإنترنت الأشياء (The internet of things/IoT) مما جعل إستخدامها أكثر سهولة للمرضى. ومع ذلك تواجه هذه التقنية بعض التحديات مثل صعوبة الحصول عليها في البلدان النامية إما بسبب عدم المعرفة الكافية بهذه التقنية أو عدم وجود متخصصين لها بشكل كافٍ ، وفي هذا البحث سيتناول كيف يمكن حل هذه المشكلات.

(Abhinav Rohan et al,p.501,2023),(Pre Scouter (2017)

أولاً : تعريف الطباعة الثلاثية:

" وهي عملية تصنيع لمجسم ثلاثي الأبعاد بإضافة طبقة تلو الأخرى من خلال التصميم بمساعدة الكمبيوتر (Computer Aided Design\ CAD) وهي تعرف أيضاً التصنيع بالإضافة Additive Manufacturing ولاتحتاج إلى التثقيب أو التقطيع لأن كلها أدوات تقليدية لاتحتاج لها.

ثانياً: تقنيات الطباعة الثلاثية : وهي تشمل :

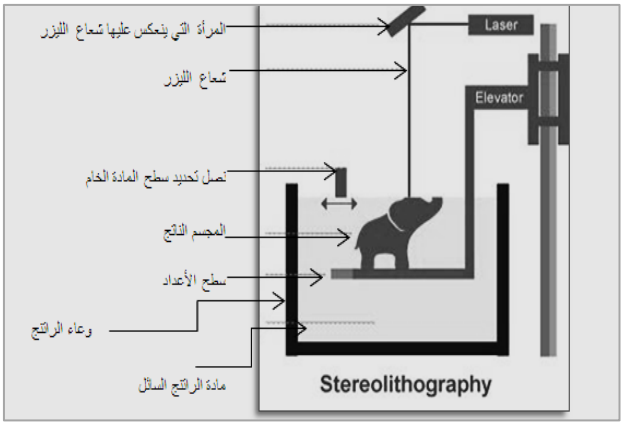
أ. الطباعة القائمة على البلمرة الضوئية (Vat- Polymerization Based Printing):

في هذه الطريقة يتم توجيه شعاع الليزر (UV) بتردد معين على راتنج سائل كمادة لإنتاج المجسم لتحديد طبقات المجسم من التداخلات والإنحناءات طبقة تلو الأخرى وفي وفي الوقت نفسه يحدث تصلب لطبقات المجسم من خلال شعاع الليزر. من أنواع هذه الطريقة :

- Stereolitography/SLA (شكل -١)

-Digital Light Processing/DL .

(Kumar, p.5342,2021)



(شكل -١) الطباعة القائمة على البلمرة الضوئية
(Stereolitography/SLA) (المهدي, 2017,p.170)

ب. الطباعة القائمة على المسحوق:

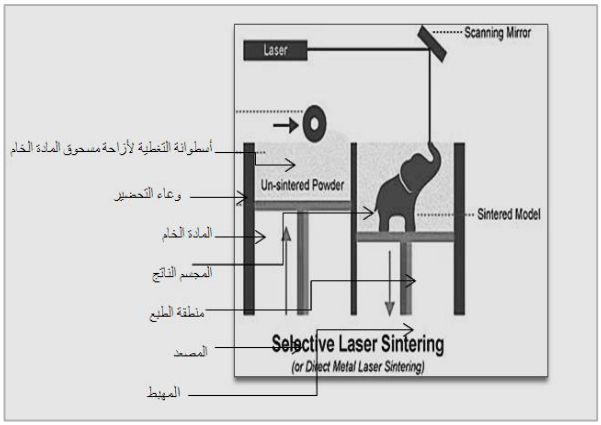
(Powder Based Printing)

وهي تقنية مشابهة للطريقة السابقة بإستثناء أن المادة الخام المستخدمة مسحوق بدلاً من الراتنج السائل ماعدا في طريقة (EBM) يستخدم معها مسحوق ناعم (شكل-٢)

من أنواعها :

- Electron Beam Melting / EBM
- Direct Metal laser Sintering / DMLS
- Selective laser Sintering /SLS
- Selective laser Melting/SLM

(Campbell,p.٢٥٥,2012)



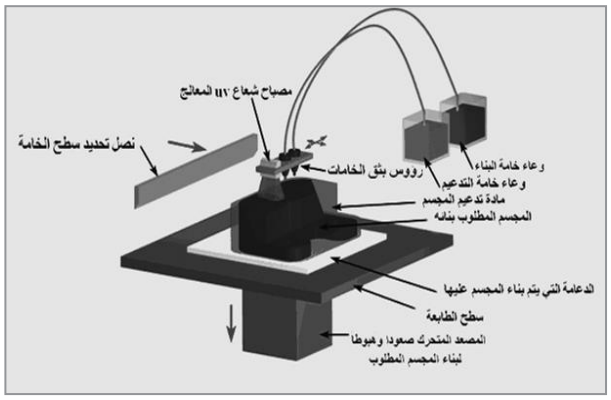
(شكل-2) الطباعة القائمة على المسحوق (Selective laser Sintering /SLS) (المهدي, 2017,p.170)

ج- الطباعة القائمة على القطرات:

(Droplet Based Printing)

يتم دفع قطرات السائل لتكوين طبقة أساسية , طبقة تلو الأخرى من أنواعها :

-Multi Jet Material /MJM (شكل -٣)
- Laser Induced Forward Transfer / LIFT
- Wax Deposition Modeling/ WDM



(شكل– ٣) الطباعة القائمة على الطباعة القائمة على القطرات (Droplet based printing) (المهدي, 2017,p.170)

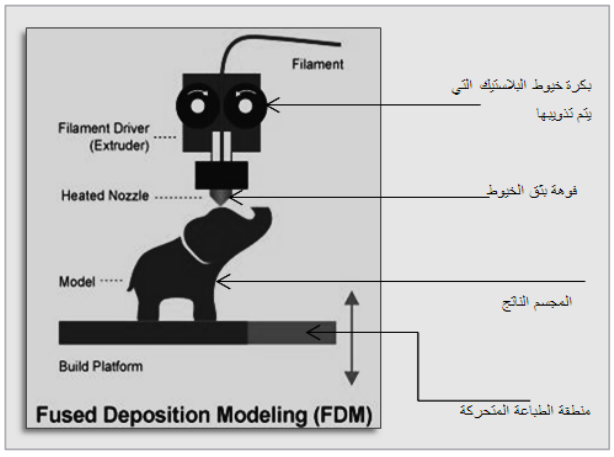
د. ترسيب المجسم النصهر

(Fused Deposition Modeling/FDM)

وهي طريقة تشبه مسدس الرسم حيث يتم إذابة الخيط البلاستيك – الذي يشكل مادة الجسم المطلوب طباعته – من قبل سخان موضوع على أحد النهايات ثم من خلال رأس متحرك يتم دفع الخيط المنصهر ذهابا وإيابا حتى يتكون الجسم المطلوب طباعته (Rangappa ,p.75,2021)(شكل- ٤) .

من أنواعها :

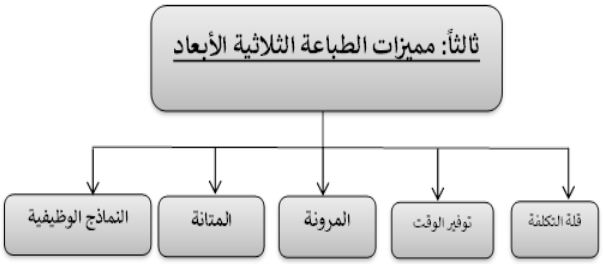
- Molten Polymer Deposition /MPD
- Fused Filament Fabrication /FFF



(شكل - ٤) الطباعة القائمة على ترسيب المجسم المنصهر Fused Deposition Modeling/FDM) Or (FFF) (المهدي, 2017,p.170)

ثالثاً: مميزات الطباعة الثلاثية الأبعاد وعيوبها (مخطط-١):

(مخطط - ١) مميزات الطباعة الثلاثية الأبعاد (تصميم الباحثة)



أ. قلة التكلفة : بعض طرق الطباعة الثلاثية يمكنها تحقيق ميزة تقليل التكلفة عن طريق إستخدام المواد الخام الأرخص وتقليل نسبة الخردة والفشل في الإنتاج.

ب. توفير الوقت : تتيح الطابعات الثلاثية الأبعاد الحصول على المنتجات بسرعة أكبر عن الطرق التقليدية.

ج. المرونة : تستطيع الطابعات الثلاثية الأبعاد التعامل مع العديد من الخامات المختلفة، مما يتيح إمكانية التطبيقات المتعددة.

د. المتانة : تتميز المجسمات التي تنتجها الطابعات الثلاثية الأبعاد بالمتانة وعدم تغير الأبعاد مع مرور الوقت.

ه. النماذج الوظيفية : تتيح الطابعة الثلاثية الأبعاد إنتاج نماذج وظيفية تتلائم مع متطلبات المنتج النهائي في أي مجال.

رابعاً :عيوب الطباعة الثلاثية الأبعاد :

أ. تكلفة الطابعة : تعتبر بعض آلات الطباعة ثلاثية الأبعاد مكلفة جدًا مقارنةً بالتقنيات التصنيع التقليدية التي يمكن أن تصل تكلفتها إلى آلاف الدولارات وفقاً لحجم الجهاز ,وظائفه وتكاليف التشغيل .

ب. ضعف بنية المجسم المطبوع :

يعتبر هيكل المجسم الناتج عيبًا آخر في عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد لأن تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد تعتمد على إنشاء طبقات لتكوين المجسم .

لذا فمن الممكن أن تتعرض هذه الطبقات للكسر، مما يؤثر على صلابة النموذج وجودة المنتج النهائي.

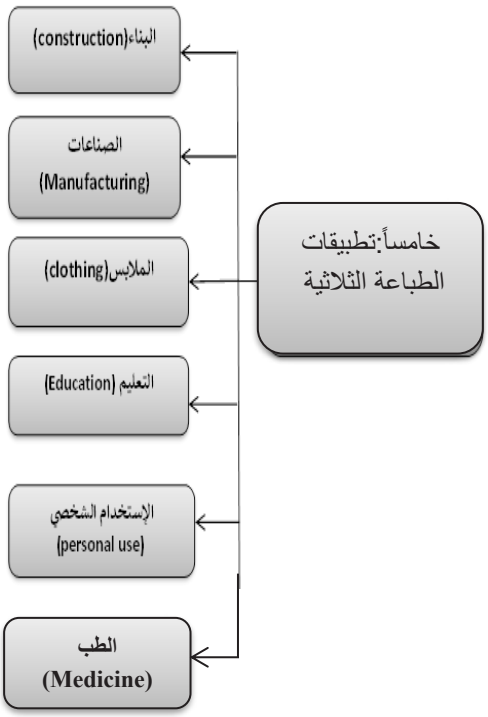
ب. تكلفة المواد الخام: تكون تكلفة بعض المواد الخام المستخدمة مثل الحديد والألومنيوم في بعض طرق الطباعة الثلاثية الأبعاد الأخرى مرتفعة ، وهذا يزيد من تكلفة الإنتاج.

ج. صعوبة التصميم: تتطلب الطباعة الثلاثية الأبعاد تصميمات ببرامج مختلفة عن تصميمات برامج التصميم التقليدية، مما يتطلب خبرة ومهارة في هذا المجال.

د. عدم وجود الخبرة الكافية : من عيوب تكنولوجيا الطباعة الثلاثية الأبعاد أنها تتم أوتوماتيكياً بشكل كامل مما يعني الحاجة في أغلب الأحيان إلى أيدي عاملة متخصصة والتي من الممكن أن تكون غيرمدربة بشكل كافي مما يعرض هذه الصناعة إلى الخطر.

ه. إنتهاكات حقوق الطبع والنشر: مع زيادة إمكانية الحصول على تكنولوجيا الطباعة الثلاثية الأبعاد، أصبحت حالات التزوير أمرًا لا مفر منه , حيث يمكن لأي شخص نسخ أي نموذج ثلاثي الأبعاد دون إذن، مما يؤدي في النهاية إلى إنتهاك حقوق الملكية الفكرية والمشاكل مع أصحاب براءات الاختراع الأصليين. (المهدي,2017,p.159) , (بدون تاريخ ,TWI Global)

خامساً: تطبيقات الطباعة الثلاثية الأبعاد (Alshammari et al,2019) (مخطط-٢):



(مخطط - ٢) تطبيقات الطباعة الثلاثية الأبعاد (تصميم الباحثة)

في مجال الطب (Medicine Field):

يتم الإستعانة بها في العديد من المجالات مثل :

- صناعة سماعات الأذن (Hearing aids)
- الطباعة الحيوية (Bio printing) مثل: طباعة الأعضاء – طباعة بعض الهياكل أو أجزاء من جبيرة الحوض البشري– طباعة الأوعية الدموية – طباعة العظام .
- طباعة الأسنان الرقمية (Digital dentistry):حيث يمكن من خلال الطابعات الثلاثية إنتاج أسنان أفضل إستعمالاًمن الأسنان الإصطناعية .
- **طباعة الأطراف الإصطناعية الذكية: (Smart prosthetic):**

يمكن إستخدام الطابعات الثلاثية في تصميم وإنتاج أطراف إصطناعية ذكية والتي تكون ملائمة ومتوافقة مع جسم المريض، وتساعد في تحسين نوعية حياة مبتوري الأطراف كما يلي (Sandhu,p.1,2022) :

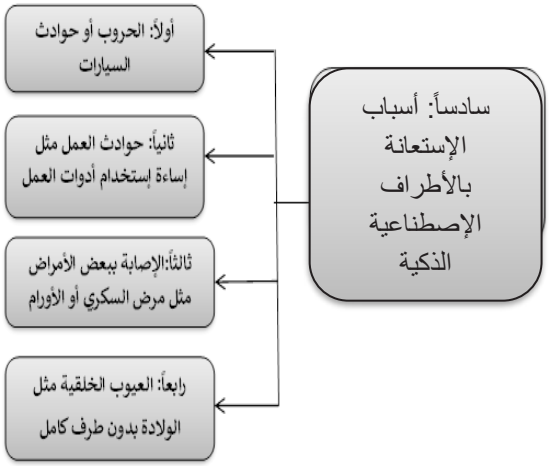
- **تعريف الطرف الصناعي :**

هو جهاز طبي مصمم لتعويض جزء من الجسم مفقود أو تالف مثل السن، العين، القدم، الساق، الذراع، أو اليد. ويتم تصميم الطرف الصناعي لأسباب وظيفية أو تجميلية، أوكلاهما.**أما الطرف الإصطناعي الذكي** فهو يعني طرف إصطناعي مزود بأجهزة كهربية تعمل بالتناسق مع الدماغ .

(صورة -١)(Ravi,2018)

(صورة-١) الإصبع الإصطناعي المطبوع ثلاثي الأبعاد (Abdeljawad,2017)

سادساً: أسباب الإستعانة بالأطراف الصناعية الذكية (مخطط-٣) (Al-Fakih,p.1,2023) :



(مخطط-٣) أسباب الإستعانة بالأطراف الإصطناعية (تصميم الباحثة)

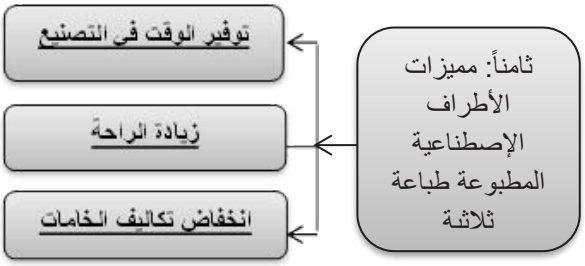
سابعاً: اتطور التاريخي للأطراف الإصطناعية الذكية :

(جدول -١)

(جدول – 1) يوضح التطور التاريخي للأطراف الإصطناعية الذكية
(Craelius,p.5,2022)

السنة	البلد	التطور التاريخي
الحرب الأهلية الأمريكية (١٨٦١-١٨٦٥)	الولايات المتحدة الأمريكية	بدأت الحاجة إلى أطراف صناعية حينما نتج عن الحرب الأهلية الأمريكية ٣٠,٠٠٠ ألف مبتور مما أدى بالحكومة الأمريكية إلى دعم الأطراف الصناعية
١٩٠٠	الولايات المتحدة الأمريكية	بعد ٥٠٠ عام من القرن الرابع عشر تم تسجيل براءة إختراع لطرف صناعي يعتمد على كبلات تعمل بطاقة الجسم وهو لايزال يستخدم حتى الآن . أما عن التطور الحالي فتم الإستعانة بالتكنولوجيا الروبوتية لإنتاج أرجل كهروميكانيكية مع مفصل للركبتين والكاحلين ومن أمثلتها C-leg, i-limb.
١٩٤٥	الولايات المتحدة الأمريكية	قدمت الأكاديمية الوطنية للعلوم برنامجاً بحثياً للأطراف الصناعية ساهم بعد ذلك في إنتاج تصميمات تجويف إصطناعي وهي عبارة عن أنابيب خشبية مخروطية الشكل توفر القليل من الراحة وتقلل مشاكل الجلد المبتور, ومع ذلك لاتزال بدائل فقيرة نسبياً للطرف الطبيعي
في الخمسينات أيً (١٩٥٠-١٩٥٩)	الولايات المتحدة الأمريكية	عملت العمليات الجراحية على تحسين العضل المتبقي مما أتاح ملائمة تجويف الطرف الصناعي وتقليل التورم بعد الجراحة مباشرة , والذي كان يليها فترة مابعد الجراحة وهي عبارة جراحة تعويضية فورية حيث يستخدم (immediate postoperative prosthetic / IPOP) وهي تعني ضمادة توضع فوق البقايا حتى يتم إستخدام ذراع أو ساق صناعية قابلة للتعديل يمكن إزالتها وإعادة تثبيتها بسهولة .[1]
٢٠١٤	المملكة المتحدة	تم الإستعانة بالطباعة الثلاثية الأبعاد في طباعة طرف صناعي لطفلة عمرها خمس سنوات , ولايزال يتم الإستعانة باالطباعة الثلاثية حتى يومنا هذا

ثامناً:مميزات الأطراف الإصطناعية التي يمكن طباعتها بالطباعة الثلاثية الأبعاد(مخطط-٤):



(مخطط -٤) مميزات الأطراف الإصطناعية المطبوعة ثلاثياً
(تصميم الباحثة)

أ. **توفير الوقت في التصنيع:** حيث يمكن إستخدام المسح الضوئي الثلاثي وبرامج (CAD) لإنتاج أطراف إصطناعية ذكية مخصصة لكل مريض في أقل وقت ممكن. .

ب. **أكثر راحة من الأطراف التقليدية :** حيث يتم إنتاج كل قطعة بشكل تفصيلي مخصص لحالة كل مريض ومتوافقة مع عمره، مما يجعل الأطراف الإصطناعية المطبوعة أكثر صحة وراحة للمريض

ج. **إنخفاض تكاليف الخامات:** حيث يمكن إستخدام مواد بلاستيكية منخفضة التكلفة ومتوفرة مثل PETG/Polyethylene terephthalate glycol، (بولي إيثلين تترافيثالت جيليكول) والتي يمكن إستهلاك ما يصل إلى ٢ كجم منها لإنتاج أطراف إصطناعية بتكلفة منخفضة. (2021,Kueny)

تاسعاً: الخامات المستخدمة في الطباعة الثلاثية الأبعاد :

ولأن طباعة الأطراف الإصطناعية ليست مقتصرة فقط على طباعة الأطراف المعروفة مثل الأيدي أو الأرجل بل تمتد لتشمل طباعة أعضاء أخرى مثل الأسنان أو القلب ...إلخ , لذلك من الخامات التي تستخدم في الطباعة بها:

١) المواد البلاستيكية : والأكثر شيوعًا هي أكريلونتريل بوتادين ستايرين (ABS) وحمض البولي لاكتيك (PLA)...إلخ وغيرها من المواد البلاستيكية وذلك لتميز هذه الخامات بالقوة , المرونة وخفة الوزن .

٢) المعادن : مثل التيتانيوم والألومنيوم وهي تتميز بقوة تحملها,خفة الوزن و مقاومة التآكل (Xometry,2023)

٣) خامات أخرى مثل المطاط والسليكون وتستخدم في أيضاً في طباعة أطراف إصطناعية ذكية.

٤) المواد البيولوجية : مثل الهلاميات المائية القابلة للطباعة , السقالات المطبوعة ثلاثية الأبعاد والأحبار الحيوية ...إلخ والذي من الضروري فهم خصائص هذه المواد لمعرفة مدى ملائمتها مع الأنسجة والأعضاء .

(Sharretts Plating Company, بدون تاريخ)

عاشراً: تحديات وإمكانيات صناعة الأطراف الصناعية في مصر :

بدأت الدولة في الإهتمام بذوي الإعاقة الجسدية وذلك من خلال الإستعانة بالجهات المعنية للمساعدة في إنتاج الأطراف الصناعية عالية المستوى من حيث المواد الخام عالية الجودة. ووفقًا لإحصائيات الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء في عام٢٠١٧ بلغ نسبة الأشخاص الذي يواجهون صعوبات وتحديات في الحركة بدرجات متفاوتة من سن الخامسة ومافوق ٧,٦٪ بالإضافة إلى زيادة حالات البتر في مصر سنويًا(Elhosary,2021) مما يعني الحاجة إلى صناعة وطنية تلبي إحتياجات وظروف هؤلاء الأفراد الذين ليس لديهم أطراف. لهذا بدأت الدولة في التفكير في هذه الصناعة مما يساعد على توفير فرص عمل للخرجيين والباحثين وذلك من خلال:

- إتجاه وزارة التضامن الاجتماعي للعمل على توفير منظومة الأطراف الصناعية والأجهزة التعويضية لتكون بذلك الدولةعوناً للمصاب ومساعدته .

وتعمل الدولة على الإستعانة بالخبرات الأجنبية حتى يمكن إنتاج الأطراف الصناعية المتطورة في مصر وفقاً لأحدث التكنولوجيا وأعلى مواصفات فنية، مع توفير برامج التأهيل للتدريب على إستخدام تلك الأطراف.

- توفير برنامج دراسي : وهو برنامج يجمع مابين الطب ودراسة الهندسة لمدة عامين يستطيع الخريج بعدها إعداد عمل جهاز تعويضى يقوم على مساعدة مريض الذي لديه قصور في بعض أجهزة الجسم مثل عمل حزام الظهر الطبي ,الكراسي المتحركة وأجهزة الشلل النصفي أو الدماغي أو الرباعي وهوبرنامج متوفر في جامعة القاهرة الجديدة التكنولوجية وجامعة الدلتا التكنولوجية.

(خالد,٢٠٢٢)

- تطوير مصنع الأطراف الصناعية : والذي تم إنشائه في الستينات من خلال إستيراد ماكينات حديثة وتدريب الأطباء والعاملين من أجل توفير هذه اطراف لغير القادرين . (تمراز,٢٠٢٣)

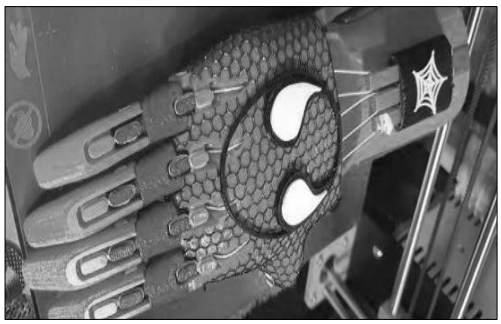
إبتكارات محلية في مجال صناعة الأطراف الإصطناعية الذكية :

- حيث قام العديد من طلاب الهندسة على العمل على إنتاج أطراف إصطناعية ذكية تستخدم أحدث التقنيات لتتناسب مع فئات محدوي الدخل أيضاً. وتمت مكافأة إختراع طلاب الهندسة كواحد من أفضل ١٠ مشاريع في مسابقة Dell السنوية لأفضل مشاريع التخرج في الشرق الأوسط وأفريقيا. كما أحتل التصميم المركز الثاني في مسابقة البحث في جامعة أبوظبي . (فرج ,٢٠٢٣)

- دور طب النفس مع مبتوري الأطراف :

يقوم الأخصائي النفسي قبل تجهيز الأطراف الصناعية بتقييم الحالة النفسية للمريض حيث إذا ظهرت عليه علامات إكتئاب أو أفكار إنتحارية تتم إحالتهم إلى العيادة النفسية لتحديد مدى إستعدادهم لقبول البتر والتعامل مع الطرف الصناعي وخاصة مع الأطفال حيث يعاني العديد من الأسر من عدم التواصل الكافي مع أولادهم .

لهذا تم إنشاء مايسمى تصميم (أنتيمي/Antimi) وهويعني صديقي وهو تصميم أطراف مطبوعة ثلاثياً تحمل صوراً لألعاب الأطفال , مما يساعد الأطفال على الشعور بالثقة وقبول الطرف الإصطناعي بفضل إرتباطهم العاطفي باللعبة (2021, Ahram Online) (صورة-٢) ,(صورة-٣)



(صورة -٢) تصميم طرف إصطناعي عليه أحدأشكال لعب الأطفال (رجل الأخطبوط / Octopus man) (2021,Ahram Online)

(صورة -٣) تصميم طرف إصطناعي يماثل ألعاب الأطفال (باتمان /Batman)(BBC News,2018)

رأي الرياضيين المبتوري الأطراف في مصر في إستخدام الأطراف الصناعية:

إن الأطراف الصناعية ساعدتهم على صعود السلالم وركوب الدراجات, والفوز بميداليات في بطولات البارالمبياد في مصر (Elhosary,2021)

عيوب إستخدام الأطراف الإصطناعية في مصر :

- الأطراف الإصطناعية التي تعتمد على تكنولوجيا الكهرباء مكلفة للغاية وغير متوفرة .
- تحتاج إلى شحن يومي وبالتالي قد يكون من الصعب إرتداؤها في جميع الأوقات .
- يتعين على المستخدم التأكد من عدم تعرض الطرف الإصطناعي للبلل.
- يمكن أن يكون الأطراف الإصطناعية ثقيلة والشخص المصاب يفضل طرفًا أكثر عملية وأخف وزناً (البنا,2019)

المحور الثاني :الإطار العملي التطبيقي (The practical Framework) ويتضمن على :

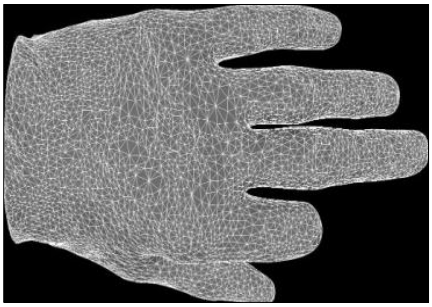
١) إختيار النموذج المطلوب طباعته كطرف صناعي .
٢) طباعة أحد أصابع اليد بالطباعة الثلاثية
٣) دراسة تحليلية لعناصر الجودة ,التكلفة وزمن التشغيل .

١) إختيار النموذج المطلوب طباعته كطرف صناعي :

- تم إختيارنموذج ليد إصطناعي مزودة بأصابع يد ذات مفاصل غير ثابتة يمكن تحريكها بعد الطبع (صورة - ٤)

(صورة- ٤) النموذج المطلوب طباعته(Shira,2016)

- بعد ذلك يتم تحويل ملف تصميم المجسم المطلوب طباعته إلي صيغة ملفات يمكن للطابعات التعامل معها وهي (Stereo lithography / STL) من خلال أحد برامج (CAD) الذي يسمى مع هذه الطابعة (Prusa slicer) حيث يقوم هذا البرنامج بتقسيم سطح المجسم المطلوب طباعته إلي مثلثات صغيرة مكوناً بذلك شبكة مثلثات يمكن للطابعة التعرف عليه لطباعتها على هيئة طبقات (صورة -٥)



صورة-٥) شكل الملف المحول الي(STL)
(الصورة من نتائج تطبيق عملي الباحثة)

- **الخامات المستخدمة في الإنتاج الطباعي لأحد أصابع اليد :**

البلاستيك , والمادة المستخدمة للطبع بها:
(PLA/حمض polylactic) بولي لاكتيك وهي مادة أصبح يتم صناعتها محلياً وصديقة للبيئة .

- **المواصفات الفنية لطابعة (جدول -2) Prusa mk3printer)**

أبعاد الطابعة	500×550×400 مم
حجم المطبوع الناتج	21×21×25 مم
سمك طبقة الواحدة	٠,٠٥ - ٠,٣٥ مم
قطر الفوهة	٠,٤ مم , و للفوهة مجموعة متعددة الأقطار
قطر فتيل للمادة المطلوب الطبع بها	١,٧٥ مم
المواد المختارة للطبع بها	مجموعة واسعة من اللدائن الحرارية، بما في ذلك ، البولي بروبيلين، والبولي لاكتيك , النايلون، والحشو الخشبي وغيرها من المواد المملوءة.
أكبردرجة حرارة للفوهة	300 درجة مئوية
أكبر درجة حرارة لسطح الطبع	١٢٠ درجة مئوية
خصائص سطح الطبع	سطح ساخن من الصفيح الفولاذ الممغنط
معدل إستهلاك الطاقة	مع خامة البلاستيك (PLA) =80 وات مع خامة البلاستيك (ABS) = 120 وات

- **عناصر تجهيز ماكينة (Prusa mk3printe) (صورة -٦) للطبع بها (جدول-3):**

(صورة -٦) ماكينة (Prusa mk3printe)
(بدون تاريخ,Josef Prusa)

(جدول -3) عناصر تجهيز ماكينة (Prusa mk3printe) للطبع بها

قطر فتيل الطبع	١,٧٥ مم
درجة حرارة فوهة البثق	٢١٥ درجة مئوية
درجة حرارة سطح الطبع	60 درجة مئوية
سمك الطبقة المطبوعة	0.2 مم
حجم الخيوط المستخدمة	٢أو ٣ جم تقريباً
الكثافة	٢٠ %
سرعة الطبع	٦٠ مم / ث
توفر التهوية	متوفر

الوقت المستهلك للطبع :

ساعتين لطبع إصبع غير ألكتروني (صورة-٧)

(صورة-٧) الإصبع الذي تم طباعته طباعة ثلاثي
(الصورة من نتائج تطبيق عملي الباحثة)

- **التكلفة :** تقدر تكلفة طباعة هذا الإصبع محلياً ١٠٠ جنيه أم عن تكلفة طباعة يد بأكملها ١٠٠٠جنيه مصري لكن تكلفة إستيراد إصبع إصطناعي ذكي يتحرك إلكترونياً ٥٠٠ألف جنيه أو يزيد عن ذلك لأنه غير متوفر محلياً ومن ثم يتم إستيراده. وبالرجوع إلى شركة الحكمة ميديكال للأطراف الصناعية ذكر أحد المسؤلين أنه لايوجد غير قفازات من السيلكون ويقدر ثمنها ٧٥٠٠جنيها وهي مستوردة أيضاً .
- **تحقيق الجودة في الإصبع المطبوع :** وهو يعني عمليات التشطيب لما بعد الطبع مثل التلميع والتنظيف لتحقيق سطح أملس للأصبع المطبوع ,لكن لم يستعان بها هناوتم الإستعاضة عنها بتقارب الطبقات مع بعضها.

النتائج :

١) عدم الدراية الكافية بدور تقنية الطباعة الثلاثية الأبعاد وأهميتها في طباعة الأطراف الإصطناعية والإتجاه للإعتماد على الأطراف التقليدية محلياً .

٢) رغم دور الطباعة الثلاثية في طباعة الأطراف الإصطناعية إلا أنها غير مستخدمة محلياً.

٣) يعاب على هذه الطريقة عدم توفر خبراء أو فنيين متخصصين في تقنية الطباعة الثلاثية وبرامجها لتطبيقها على طباعة أي طرف من الجسم البشري مثل الأصابع بشكل يتناسب مع المرحلة العمرية لكل مريض.

٤) عدد جرامات المادة المطلوب الطبع بها غير متساوي من مادة لأخرى طبقاً إلى : حجم المطبوع (الأصبع) ,نوع المادة المطلوب الطبع بها والطريقة المستخدمة للطبع .

المراجع:

المراجع العربية (رسائل):

- المهدي، ع.م . ***تطوير التصميم الطباعي والبنائي للملحقات الإعلانية المُدرجة داخل الصحف النصفية***. رسالة دكتوراه غير منشورة، (٢٠١٧), جامعةحلوان، كلية الفنون التطبيقية.

المراجع الأجنبية:

الكتب الأجنبية :

1) K. Abhinav Rohan, Niyaz A. Sindhwani, R. Nikitha, D. Kondayya, and J. John Rozario Jegaraj. -2023 - ***Development of IoT Enabled 3D Printed Smart Prosthetic Leg. Springer Nature*** – Singapore, pp. 501-513.
2) Kumar, P., Rajak, D. K., Abubakar, M., Ali, S. G. M., & Hussain, M. (2021). ***3D Printing Technology for Biomedical Practice: A Review***. Journal of Materials
3) Kueny, R. A., Dungan, J. L., & Byron, S. C. (2021). ***Three-dimensional printed prosthetics: A review of current*** technologies ***and clinical applications. Current Reviews in Musculoskeletal Medicine***, 14(3), 351-362. Springer Nature, London, UK.
4) (Craelius, 2022,***Modern prosthetic designs have been shown to be effective in restoring limb function***,pp1-16)
5) Sandhu, K., Singh, S., Prakash, C., Sharma, N. R., & Subburaj, K. (2022). Emerging ***Applications of 3D Printing During CoVID 19 Pandemic***. Springer, Singapore, 1-13.
6) Rangappa, S. M., Gupta, M. K., Siengchin, S., and Song, Q. (2021) ***Additive and Subtractive Manufacturing of Composites***. Switzerland: Springer, p. 75.

المجلات الأجنبية :

7) Al-Fakih, E. A., & Abu-Shehab, I. S. (2023). ***3D-printed upper limb prostheses: a review. Journal of Medical Engineering & Technology***, 47(1), 1-10. [online] Available at: https://www.researchgate.net/publication/313274657_3D-printed_upper_limb_prostheses_a_review [Accessed 23 March from 2023].

8) Campbell, I., Bourell, D. L., & Gibson, I. (2012). ***Additive manufacturing: rapid prototyping comes of age. Rapid Prototyping*** Journal, 18(4), 255-258.

9) Katarzyna Mikula ،Dawid Skrzypczak ، Grzegorz Izydorczyk ،Jolanta Warchoł ، Konstantinos Moustakas ،Katarzyna Chojnacka ،Anna Witek-Krowiak – (2020) -***3D printing filament as a second life of waste plastics :a review***- Journal of Environmental Science and Pollution Research – 28(Environmental Science and Pollution Research (28) ١٢٣٣٣-١٢٣٢١ [Accessed 13 September] at:https://www.researchgate.net/publication/313274657_3D-printed_upper_limb_prostheses_a_review [Accessed 23 March from 2023]. 5342-5355

المواقع الإلكترونية الأجنبية:

10) ***Advantages and Disadvantages of 3D Printing*** Technology,***from*** https://makercarl3d.com/blog/advantages-disadvantages (Accessed on 2March ,from 2023)

11) Alshammari, M., Alzahrani, A., Alghamdi, R., Aljohani, S., Alshammari, R., & Alshammari, A. (2019). 3D Printed Acetabular Cups for Total Hip Arthroplasty: A Review Article. Journal of Healthcare Engineering, 2019. Accessed on 2March ,from2023https://www.researchgate.net/publication/334093861_3D_Printed_Acetabular_Cups_for_Total_Hip_Arthroplasty_A_Review_Article.

12) Ahmed, H. (2021). ***"Egypt's prosthetics sector set to grow***". Ahram Online.from: https://english.ahram.org.eg/News/482192.aspx [Accessed:2/6/2023].

13) Amy Paturel, Summer 2014, ***Treat Neurological Conditions Like Never Before*** , Retrieved from: https://news.usc.edu/trojan-family/brain-trust/ [Accessed 23 March from 2023].

14) Abdeljawad, F. (2017*). "Third Artificial Thumb Enhances Human Capabilities*". 3QL. Retrieved from https://www.3ql.com/tech/%D8%A7%D9%84%D8%A5%D8%A8%D9%87%D8%A7%D9%85%D8%A7%D9%84%D8%AB%D8%A7%D9%84%D8%AB%D8%A7%D9%84%D8%A7%D8%B5%D8%B7%D9%86%

15) BBC News. (2018*). "3D-printing dad makes bike for children missing limbs"* ، from: https://www.bbc.com/news/uk-england-south-yorkshire-46607396 [Accessed:2/6/2023]..

16) Ravi, S. (2018*). "Top 5 Prosthetic Arms Made with 3D Printing." 3D Printing Industry*. Retrieved from https://3dprintingindustry.com/news/top-5-prosthetic-arms-made-3d-printing-132136/

17) Shira,2016,prosthetic hand, [Accessed:2/6/2023],from:https;//www.thingiverse.com /thing:1489003

18) Sharretts Plating Company. *"What Materials Are Used in the 3D Printing Process?* Retrieved from https://www.sharrettsplating.com/blog/materials-used-3d-printing/ [Accessed 13 September from 2023]

19) Sarah Elhosary . (2021*). "Egypt's prosthetics sector set to grow"* from: https://english.ahram.org.eg/News/482192.aspx [Accessed:2/6/2023].

20) PreScouter (2017). 3D Printed Prosthetics: The Next Generation of Limbs. [online] Available at: https://www.prescouter.com/2017/07/3d-printed-prosthetics/ [Accessed 23 March from 2023]

21) Team Xometry*, 4 Best Materials for Metal 3D, Retrieved* from (PrintingAugust 23, 2022from:https://www.xometry.com/resources/3d-printing/metal-3d-printing-materials/

22) TWI Global. *"What is 3D printing? Pros and cons".* Technical Knowledge FAQ. Retrieved on 2March, from2023, from https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-3d-printing/pros-and-cons.

23) Josef Prusa , "Original Prusa i3 MK3S+ 3D printer". Retrieved on 17 January , from2023, from https://www.prusa3d.com/category/original-prusa-i3-mk3s

المواقع الإلكترونية العربية:

٢٤) إيناس البنا "*الأطراف الصناعية مهمة ولكن لها عيوب أبرزها محدودية الحركة* والتكلفة 13) .Youm7 "يوليو ٢٠١٩.(متاح على : https://www.youm7.com/story/2019/7/13/الأطراف-الصناعية-مهمة-ولكن-لها-عيوب-أبرزها-محدودية-الحركة/٤٣٣٠٥٧١ [تم الدخول في ٣من يوليو ٢٠٢٣]

٢٥) إسلام خالد2022) ,El Balad News. *وزير الصناعة يفتتح مصنعًا لتصنيع الأطراف الصناعية بالعاشر من رمضان* https://www.elbalad.news/4988820/ . [تم الدخول ٢٠٢٣/٢/٦]

٢٦) بسمة فرج. (2021). *الأطراف الصناعية الذكية.. تقنية توفر الراحة للمرضى* : https://www.skynewsarabia.com/technology/1502758-3-] تم الدخول ٢٠٢٣/٢/٦