استعمال نظام التصميم CAD في تخفيض تكاليف تصميم المنتجات

الباحثة نور ياسين مخلف
Noor Yaseen Makhlef
كلية الادارة والاقتصاد / الجامعة العراقية
noorymakhlef@gmail.com

أ.م.د محّمد عبد الواحد فليّح
Ass.Prof.Dr.Mohammed Abdulwahid Felih
The College of Administration and Economics,
Al Iraqia University, Baghdad, Iraq.
Mohammed.hilf@aliraqia.edu.iq

تاريخ تقديم البحث: 2023/03/18
تاريخ قبول البحث: 2023/04/05

المستخلص

يهدف البحث إلى بيان مفهوم نظام التصميم بمساعدة الحاسوب (CAD) والتعرف على أهم ركائزه، ومن ثم معرفة التكامل بين تقنيتي التصنيع الإضافي وسلسلة القيمة من خلال مرحلة الانتاج وما مدى تأثيره على الكلفة سواء سلباً او ايجاباً تعد صناعة الأطراف الاصطناعية في السنوات الأخيرة أحد الصناعات المهمة في العراق، لا سيما مع استمرار اشتعال بؤر الصراعات المسلحة ووقوع التفجيرات الإرهابية، الا انها تعاني من ارتفاع كبير في التكاليف، فبالرغم من ارتفاع تكاليف الأطراف الاصطناعية إلا أنها قد لا تؤمن تصنيع إطراف ذات جودة عالية، وقد تم اختيار مركز صدر القناة للأطراف الاصطناعية والمساند الطبية لإجراء البحث، وهو أول وأكبر مركز على مستوى العراق متخصص بصناعة الأطراف الاصطناعية والمساند الطبية، وتوصل الباحثان إلى مجموعة من الاستنتاجات، أهمها: يمكن من خلال نظام التصميم بمساعدة الحاسوب (CAD) عمل تصميمات ذات الاشكال الهندسية المعقدة وبسهولة كبيرة، على عكس ما هو عليه في التقنيات التقليدية التي تعتمد على إزالة المواد والتي تواجه صعوبة في الحصول على الشكل الهندسي المطلوب ، فضلاً عن الهدر الكبير الحاصل في المواد.

الكلمات المفتاحية: نظام التصميم CAD، التصنيع الإضافي، تخفيض التكاليف

Abstract

The research aims to explain the concept of Computer Aided Design (CAD) system and to identify its most important pillars, and the extent of its impact on the cost, whether negatively or positively. Terrorist, but it suffers from a significant increase in costs, despite the high costs of prostheses, but it may not secure the manufacture of high-quality prostheses, and the Chest Canal Center for Prosthetics and Medical Supports was chosen to conduct the research, and it is the first and largest center in Iraq specialized in manufacturing Prosthetics and medical supports, and the two researchers reached a set of conclusions, the most important of which are: Through the computer-aided design (CAD) system, designs with complex geometric shapes can be made with great ease, in contrast to what is the case in traditional techniques that depend on removing materials, which have difficulty in Obtaining the required geometric shape, in addition to the large waste in materials.

المـقدمــة

تمتلك العقول المُبدعة في جميع أنحاء العالم القدرة على تخيل الأشياء التي من شأنها أن تُحدث ثورة في أي صناعة, نتيجة التغيرات المستمرة والسريعة في بيئة التصنيع المعاصرة، أصبحت نظم التكاليف التقليدية لا تلائم خصائص البيئة الحديثة, فيما كان لتبني الشركات الصناعية العالمية التقنيات التكنولوجية المختلفة دوراً جوهرياً في تخفيض التكاليف, ومن هذا المنطلق جاء التفكير بضرورة ادارة التكاليف من خلال استعمال نظم تصنيع معاصرة تعمل على خفض التكاليف دون المساس بجودة المنتج او الخدمة المقدمة، ومنها نظام التصميم بمساعدة الحاسوب (CAD) والذي زاد استعماله بشكل كبير في السنوات الاخيرة .

1- الجانب النظري

1-1 منهجية البحث

1-1-1 مشكلة البحث

يمكن صياغة المشكلة من خلال التساؤلان الآتيان :

1- هل ان نظام التصميم CAD يسهم في التغلب على المشكلات التي تعاني منها النظم التقليدية لمحاسبة الكلفة والادارية؟

2- هل إن إستعمال نظام التصميم CAD يساعد على تخفيض التكاليف في عينة البحث ؟

1-1-2 أهمية البحث

تنبع أهمية البحث من أهمية المتغيرات التي يتناولها، إذ أدى ظهور التقنيات الإدارية المعاصرة في التصنيع إلى إعادة التفكير لدى الوحدات الاقتصادية في عملياتها حول التفكير في كيفية تخفيض تكاليفها من خلال الأعتماد على تقنيات جديدة قادرة على تحقيق الأهداف التي تسعى اليها هذه الوحدات هو تخفيض التكاليف، من خلال القضاء على الهدر بكافة أشكاله فضلاً عن ذلك استبعاد الانشطة غير الضرورية التي تصاحب العملية الإنتاجية مما يؤدي إلى إنتاج منتج بجودة عالية وكلفة منخفضة.

1-1-3 أهداف البحث

يسعى البحث الى تحقيق الاهداف الآتية:

1. بيان المرتكزات المعرفية لنظام التصميم CAD
2. بيان المرتكزات المعرفية لتخفيض التكاليف وكيفية تحقيقه بالاعتماد على نظام التصميم CAD
3. تقديم بحث تطبيقي في المركز عينة البحث عن كيفية استعمال نظام التصميم CAD وذلك لتحقيق تخفيض التكاليف في المركز عينة البحث.

1-1-4 فرضية البحث

بالاعتماد على عرض مشكلة البحث ولتحقيق اهدافه تم صياغة الفرضية الاتية :

" **أن نظام التصميم CAD يسهم في تخفيض التكاليف** "

1-1-5 منهج البحث

يعتمد هذا البحث على منهجين وهما :

1- المنهج الاستنباطي: متمثلا بالاعتماد على المراجع والمصادر والدوريات والبحوث العربية منها والاجنبية , فضلا عن الاعتماد على شبكة الانترنت.

2- المنهج الاستقرائي: متمثلا بعدة وسائل للحصول على البيانات والمعلومات اللازمة من مركز صدر القناة للاطراف الاصطناعية والمساند الطبية لأنجاز هذا البحث واختبار فرضياته.

2-1 المرتكزات المعرفية لنظام التصميم بمساعدة الحاسوب CAD

يعد نظام التصميم CAD من النظم الحديثة في الوقت الحاضر، إذ يسعى الى تحقيق العديد من المزايا والفوائد عند تطبيقه في الوحدات الاقتصادية. يعد نظام التصميم CAD جزء لا يتجزأ من تقنية التصنيع الإضافي، اذ يقوم بتوفير اسهل الطرائق والبرامج لتصميم المنتجات بأكثر دقه وسهولة فضلاً عن اختصار الهدر الحاصل في الوقت والتكاليف.

1-2-1 التطور التاريخي لنظام التصميم CAD والتصنيع الإضافي

كان Hideo Kodama عام (1981) قد أدرك مشكلة الوقت وحاول إعادة اختراع كيفية إنتاج أجزاء نمإذج أولية بسرعة وبكلفة منخفضة ودون الحاجة إلى قدر كبير من العاملين، يعتقد Kodama أنه بدلاً من إزالة المواد لتناسب التصميم كما يتم في التصنيع التقليدي، يمكن لأجهزة الكمبيوتر والبرامج المتخصصة استعمال طريقة جديدة لتصنيع الأشياء الصلبة عن طريق التصنيع بمساعدة الحاسوب لتمكين النمإذج الأولية والتصنيع بوتيرة أسرع بكثير, وجد Kodama أن التصاميم ذات الأشكال المعقدة نوعًا ما يمكن تصنيعها بهذه التقنية، كان نجاحه في تصنيع ثلاثة أجسام صلبة باستعمال التصميم CAD في مثل هذا الوقت القصير بكلفة مادية قليلة جدًا، وبدون الحاجة إلى عمل يدوي نجاحًا واعدًا للغاية (Irons,2020:2-3)

على الرغم من أن عمل Kodama كان ثوريًا إلا أن فشله في الحصول على براءة اختراع للتصميم سمح للآخرين بدمج عمله في أعمالهم الخاصة، كان Charles Hull أول شخص يتقدم بطلب للحصول على براءة اختراع أمريكية لجهاز الطباعة الحجرية المجسمة [1](SLA) والتكنولوجيا المرتبطة به في عام (1984) وبالتالي أكد Hull على أنه اول من جاء بنظام التصميم CAD, كان الاختلاف الرئيس بين التقنيتين هو أن إصدار Hull كان قادرًا على إنتاج أجزاء مصممة بشكل أكثر تعقيدًا بفضل دقة أجهزته الأعلى (Ray,2015:2-5), والتي أعقبتها تطورات لاحقة حيث تم تسويق ثلاث تقنيات جديدة قائمة على التصنيع الإضافي ، اذ توجد أنواع مختلفة من آلات تصنيع المواد المضافة بمساعدة الحاسوب التي يمكنها تصنيع الأجزاء باستعمال مواد معدنية وغير معدنية (Ngo et al.,2018:172).

2-2-1 مفهوم نظام التصميم بمساعدة الحاسوب CAD

كان التصميم النهائي دائمًا مقيدًا بقيود تكنولوجيا التصنيع، يحتاج مصممو المنتجات ومهندسو التصميم إلى تحقيق توازن بين وظائف المنتج وجودته، مع تقليل التكلفة أيضًا. تم ذلك تقليديًا من خلال اتباع إرشادات تسمى التصميم للتصنيع والتجميع، والتي تركز على تقليل تعقيد المنتج لتقليل تكاليف التصنيع. ومع ذلك ، مع نظام التصميم CAD ، لم يعد تعقيد المنتج مرتبطًا بتكاليف التصنيع ، الأمر الذي حرر المصممين ، مما سمح بتحقيق نية المصمم بكلفة منخفضة (Hinchy,2019:3).

اختلفت وجهات النظر حول ايجاد تعريف شامل يوضح نظام التصميم CAD خلال سنوات، وقد حاول عدد من الباحثين تعريفه عده تعاريف التي توصل اليها الباحثين .

اذ تم تعريفه على انه " **هو استخدام أنظمة الكمبيوتر للمساعدة في إنشاء أو تعديل أو تحليل أو تحسين التصميم، يستخدم برنامج CAD لزيادة إنتاجية المصمم وتحسين جودة التصميم وتحسين الاتصالات من خلال التوثيق وإنشاء قاعدة بيانات للتصنيع، غالبًا ما يكون إخراج CAD في شكل ملفات إلكترونية للطباعة أو التشغيل الآلي أو عمليات التصنيع الأخرى**". (Sadrehaghighi,2022:3)

وتم تعريفه ايضاً الى انه تشير عادة إلى " **برنامج الكمبيوتر والعملية المستخدمة لتصميم نماذج ثلاثية الأبعاد صلبة أو سطحية لإنشاء تعريف رقمي للجزء** " (Tofail et al.,2018:35)

مما سبق اعلاه يمكن القول ان التصميم بالاعتماد على الحاسوب CAD " عبارة عن نظام تصميم يتم من خلالها تصميم نموذج ثلاثي الأبعاد (3D) و يتم فيه دمج سمات الكمبيوتر وخصائص المصمم معًا، .يستخدم برنامج CAD لزيادة إنتاجية المصمم وتحسين جودة التصميم وتحسين الاتصالات من خلال التوثيق وإنشاء قاعدة بيانات للتصنيع بوقت قصير وكلفة مادية أقل، وبدون الحاجة إلى عمل يدوي مما يحسن العملية الانتاجية ويقلل القيود الهندسية" .

[1] هي تقنية طباعة ثلاثية الأبعاد مبكرة وواسعة الاستخدام في أوائل الثمانينيات

1-2-3 مميزات نظام التصميم CAD

هناك مجموعة من المميزات التي يتمتع بها نظام التصميم CAD مما يجعله مصدراً مهماً وتتلخص مميزاته بالآتي:

1- المرونة: يعمل نظام التصميم CAD وفق سياسة تتميز بقدر كبير من المرونة في التصنيع من الممكن تصنيع اي شكل تقريباً.(Alogla et al.,2021:3)

2- انخفاض التكاليف : تقوم المنظمات بالاعتماد على نظام التصميم CADلكي توفر الكثير من التكاليف التي قد تُهدر بسبب التكاليف الباهظة عند مقارنتها بالأجزاء التي تصنع وفق الطريقة التقليدية.(Bauer&Malone,2015:3)

3- الجودة العالية : يتميز نظام التصميم CAD بإتباعه كافة خطوات ومعايير الجودة العالية مقارنة بغيرها من أنواع التصنيع الاخرى.(Wozniak et al.,2022:834)

4- انخفاض المخزون : لا تعاني الوحدات الاقتصادية التي تعتمد على نظام التصميم CADمن مشكلة امتلاء المخازن بالبضاعة والسلع والمواد الخام.(Durach et al.,2017:961)

5- تقليل مدة الانتظار: ان الاعتماد على عمليات نظام التصميم CAD، باتت الوحدات الاقتصادية لا تحتاج إلى وضع قوائم انتظار للزبائن، حيث ستقل فترات الانتظاروبالتالي يحسن نظام التصميم CAD العملية البيعية والرواج التجاري والاقتصادي للوحدة الاقتصادية. (Durach et al.,2017:963).

1-3 تخفيض التكاليف بالاعتماد على تطبيق نظام التصميم CAD

بالنسبة لتقنيات التصنيع التقليدية ، هناك صلة مباشرة بين تعقيد المكونات والتكلفة، مع زيادة تعقيد المكونات ، تزداد تكلفة التصنيع أيضًا. تُعزى هذه الزيادة في التكلفة بشكل أساسي إلى كل من تكاليف الأدوات ووقت المعالجة الممتد. عندما تصبح المكونات أكثر تعقيدًا، يجب أن تصبح الأدوات أكثر تعقيدًا وقد تكون هناك حاجة لمزيد من التركيبات، أحد المميزات الأساسية التي يحتفظ فيها نظام التصميم CAD على التصنيع التقليدي هو الافتقار إلى متطلبات الأدوات والتكاليف المرتبطة بها، من خلال ذلك ، تمكن مهندسي التصميم من إنتاج أي شكل هندسي تقريبًا من مجموعة من المواد ، بما في ذلك البوليمرات والمعادن والسيراميك، كما أن القدرة على إنشاء نماذج أولية سريعة لهذه الأشياء أثناء التطوير والاختبار تقلل أيضًا من الوقت اللازم للتسويق، حيث لا يلزم تصميم الأدوات المعقدة أو تصنيعها، يمكن القيام بذلك رقميًا دون الحاجة إلى تحديث الأدوات. (Salvador& Garcia,2018: 9-10)

هناك بعض الإرشادات الأساسية التي يجب على مهندس التصميم اتباعها لضمان تقليل تكاليف التصنيع إلى الحد الأدنى: (Hinchy,2019:5)

1- **تقليل وقت المناولة:** يمكن اعتبار التعامل مع الأجزاء بمثابة تحميل أحد المكونات في الماكينة أو معالجة جزء منها.

2- **سهولة الإدخال:** أثناء التصنيع ، يمكن تصنيع المنتجات بشكل أسرع إذا كانت عملية التجميع بسيطة ومباشرة. عند تصميم مجموعة ، من الممارسات الجيدة تصميم أجزاء يسهل تجميعها ؛ يجب تجنب عمليات التجميع الصعبة.

3- **تقليل عدد الأجزاء:** يعد تقليل عدد الأجزاء أحد المبادئ التوجيهية المهمة والذي بدوره يقلل التكاليف. من خلال دمج العديد من الأجزاء المنفصلة في أجزاء أقل ، يمكن تقليل وقت التصنيع والتجميع ، فضلاً عن تقليل التكاليف.

4- **تصميم معياري وأجزاء متعددة الوظائف:** من خلال استخدام تصميم معياري ، يمكن تقليل التكاليف ، وتكون المكونات الفرعية المستخدمة في التجميع أقل تنوعًا.

5- **تجنب عيوب التصنيع الشائعة:** إن عيوب التصنيع الشائعة مفهومة جيدًا. على سبيل المثال ، بالنسبة للقولبة بالحقن ، إذا كانت جدران القالب رقيقة جدًا ، فقد لا تمتلئ المادة تمامًا – مما يؤدي إلى فشل المنتج. وبالمثل ، مع معادن الصب ، إذا كانت جدران القالب شديدة البرودة ، فقد يتجمد المعدن المنصهر ، مما يتسبب في عيوب نموذجية مثل الإغلاق البارد. هناك قواعد قياسية لتقنيات التصنيع المختلفة والتي عند اتباعها تقلل من احتمالية الفشل.

2-الجانب العملي

2-1 نبذه تعريفية عن المركز عينة البحث

يُعد مركز صدر القناة للأطراف الصناعية والمساند مركز متخصص لصناعه الاطراف الاصطناعية والمساند الطبية بأنواعها، فضلاً عن تقديم خدمات العلاج الطبيعي، وهو إحدى تشكيلات وزارة الصحة التابعة الى دائرة صحة بغداد/ الرصافة، وأول و أكبر مركز على مستوى القطر متخصص بصناعة الأطراف الصناعية والمساند الطبية على مستوى العراق، حيث يتم فيه صناعة الاطراف الاصطناعية بنوعيها العليا والسفلى أضافة الى المساند التقويمية وتجهيزها وتقديمها مجاناً لمستحقيها، ويستقبل المركز المراجعين من العاصمة والمحافظات الاخرى، خاصة فاقدي الاطراف والمتضررين من عده اسباب منها حوادث الأرهاب والتفجيرات وداء السكري والتشوهات الخلقية.

2-1-1 مبررات الأختيار

وقع الأختيار على مركز صدر القناة للأطراف الصناعية والمساند الطبية ليكون عينة البحث، وذلك للأسباب الآتية :-

1- تعد صناعة الأطراف الصناعية والأجهزة التقويمية أو البديلة في السنوات الأخيرة أحد الصناعات المهمة في العراق، لا سيما مع استمرار اشتعال بؤر الصراعات المسلحة ووقوع التفجيرات الإرهابية.

2- ارتفاع تكاليف الاطراف الصناعية، وترجع أهم اسباب ارتفاع تكاليفها الى ارتفاع كلفة شراء المواد الأولية التي تدخل في صناعة الأطراف ووجود تعقيدات في تأمينها.

3- أن تصنيع الأطراف الصناعية يتطلب جهداً ووقتاً كبيران لكي يتناسب المنتج مع متتطلبات الزبون من حيث القياسات و الراحة في الاستخدام، فبالرغم من ارتفاع تكاليف المواد الداخله في تصنيع الاطراف الاصطناعية الا انها قد لا تؤمن تصنيع إطراف ذات جودة عالية.

فيما تم اختيار الطرف الصناعي السفلي فوق مفصل الركبة (AK)، وذلك للأسباب الآتية :

1- فقدان الأطراف السفلية يعد من الحالات الأكثر وروداً في المركز و الأكثر اقبالاً من قبل المراجعين.

2- أستمرار عملية الأنتاج أبتداء من المواد الأولية اللازمة في الأنتاج حتى الوصول الى المنتج النهائي، بالإضافة لتوافر البيانات اللازمة.

3- الأهمية الكلفوية والبيعية للمنتج قياساً بمنتجات الاطراف الأخرى.

2-1-2 الطرف الإصطناعي فوق الركبة (AK)

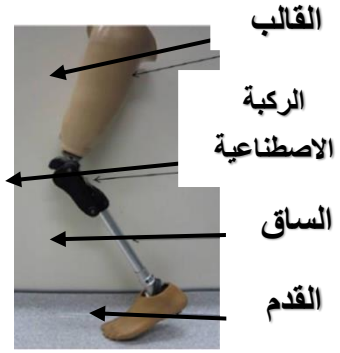
تتكون الأطراف الاصطناعية فوق الركبة كما في الشكل (3) عادةً من أربعة مكونات رئيسية ، وهي كالآتي:

1) **القالب (Socket):** هو الجزء الأكثر أهمية في الطرف الاصطناعي إذ هو الذي يحدد درجة نجاح الطرف، فهو الوسيط بين المريض والطرف الإصطناعي، بالإضافة الى انه الجزء الذي يتم تصنيعه في المركز خلاف بقية الاجزاء الاخرى.

2) **الركبة الاصطناعية (Prosthetic Knee):** يعتبر مفصل الركبة الاصطناعي أحد أهم مكونات الطرف الاصطناعي بالنسبة للمبتورين فوق الركبة.

3) **الساق (Pylon):** الغرض الأساسي من الساق هو نقل الأحمال الرأسية الناتجة عن وزن مريض البتر إلى القدم وعلى الأرض.

4) **القدم الإصطناعية (Prosthetic Foot):** هي الجزء السفلي من الساق الاصطناعية، يجب أن تقلد بشكل مثالي وظيفة القدم الحقيقية قدر الإمكان من خلال توفير منصة آمنة، والتعامل مع الاختلافات في التضاريس، والسماح للمستخدم بالسير بطريقة طبيعية ومتماثلة.



الشكل (3) مكونات الطرف الاصطناعي الرئيسية
المصدر: "Rossi,et.al,(2017),"lower-limb prosthesis main components

2-2 حساب كلفة الطرف الصناعي فوق مفصل الركبة من واقع سجلات المركز

لتحقيق الهدف المطلوب من البحث؛ فقد تم تحديد تكاليف الطرف الصناعي فوق مفصل الركبة Transfemoral (above knee [AK]) كالآتي :

2-2-1 كلفة المواد الداخلة في إنتاج الطرف الصناعي

وحسب المسلك التكنولوجي لمعدلات صرف المواد الداخلة لتصنيع منتج قالب طرف الإصطناعي فوق مفصل الركبة يكون مجموع كلف المواد الداخلة لتصنيعه (5,514,741) دينار ، ونلاحظ ارتفاع تكاليف المواد الداخلة في ذلك لان اغلب المواد لايتم شراؤها من المجهز الرئيس ولكن عن طريق وسطاء مما يجعل المركز يتحمل الكثير من التكاليف؛ وذلك لان المركز لم يمنح صلاحيات كافية للدخول في عقود تجهيز المواد وعدم منحه صلاحيات صرف كافية للمبالغ الخاصة بالمواد وهذا أدى إلى هذا الارتفاع في تكاليف المواد.

2-2-2 تكاليف الاجور

تمثل تكاليف الاجور نسبة كبيرة من أجمالي عنصر كلفة الطرف الصناعي فوق الركبة بالمقارنة مع بقية العناصر وكانت سبب لأرتفاع كلفة المنتج، أن عدد الموظفين في المصنع بلغ (36) موظف توزعت بين (5) أقسام وبلغ إجمالي الإجور في الشهر الواحد بلغت (25,378,922) ديناراً، قد أعتمدت الباحثة الأجور الشهرية لوجود طلب كبير على الاطراف الصناعية فوق مفصل الركبة بلغ (22) طلباً ولشهر تموز والتي انجز منها (12) طلب فقط، ولو تم اعتماد الاجور السنوية والتي بلغت (304,547,064) ديناراً في حساب كلفة الطرف الاصطناعي لكانت كبيرة جداً وأدت الى تشوية كلفة الطرف.

2-2-3 التكاليف غير المباشرة

تشمل التكاليف غير المباشرة (مواد غير مباشرة،و أجور غير مباشرة، و التكاليف التي تصرف على أقسام خدمات الأنتاج أي الاقسام التي تقدم خدماتها لجميع المنتجات والتي تخص اكثر من منتج ويصعب ربطها وتخصيصها مباشرة على الوحدة الواحدة)، مقدار التكاليف غير المباشرة والبالغة (10,717,339) ديناراً، وتعد هي الجزء الاكبر من عملية تصنيع الطرف ويرجع السبب لزيادة الاجور غير المباشرة، إضافه لوجود العديد من المكائن المستعملة لعملية التصنيع.

2-2-4 التكاليف الأدارية

تشمل التكاليف الادارية اجور المناصب الادارية لشهر تموز لسنة (2021)، أن عدد الاداريين (6) موظفين، ومجموع التكاليف الأدارية لمنتج طرف صناعي فوق مفصل الركبة لشهر تموز بلغت (6,921,853) ديناراً ، بالأضافة لعدم وجود تكاليف تسويقية لمركز صدر القناة .

يتم حساب كلفة الوحدة الواحدة من منتج طرف صناعي فوق مفصل الركبة وذلك بالأعتماد على البيانات السابقة وحسب الجدول الآتي :

الجدول (1) قائمة التكاليف لمنتج الطرف الصناعي تحت مفصل الركبة لشهر تموز عام (2021)

ت	التكاليف	الطرف الصناعي فوق مفصل الركبة
1	كلفة المواد المباشرة[1]	82,721,115
2	كلفة الأجور المباشرة	25,378,922
3	التكاليف الصناعية غير المباشرة	10,717,339
4	التكاليف الأدارية	6,921,853
5	كلفة التلف	10,402,751
6	المجموع	136,141,980
7	÷ عدد الوحدت المنتجة	15
8	كلفة الوحدة الواحدة[2]	9,076,132

المصدر: أعداد الباحثة بالإعتماد على البيانات السابقة

وبالاعتماد على المعطيات السابقة، وفي ضوء المعلومات الخاصة بالمركز تم حساب كلفة الطرف الصناعي فوق مفصل الركبة وقد تبين أن كلفته مرتفعة جداً إذ بلغت (9,076,132) دينار.

2-3 تخفيض التّكاليف بالاعتماد على نظام التصميم CAD

2-3-1 نشاط التصميم

بما أنه يتم تنفيذ جزء كبير من هذا المشروع في بيئة تعتمد على الكمبيوتر خاصة نشاط التصميم ، فمن الضروري استعمال برامج خاصة بالتصميم والهندسة بالإعتماد على الكمبيوتر، فيما يخص هذه البرامج :

1. برنامجMeshmixer يعتبر من أفضل البرامج وأكثرها استخدماً لنمذجة التصاميم ثلاثية الابعاد و هو مجاني .
2. برنامج Solid works (SW) هو البرنامج الرئيسي للتصميم بمساعدة الكمبيوتر (CAD) يستعمل لتصميم النماذج الصلبة، (11,167,460) دينار عراقي الاشتراك السنوي مع رسوم الترخيص لمده (10) سنوات، أي: ما يعادل (93,002) دينار شهريا.
3. برنامج Abaqus/CAE هو تطبيق برمجي يستخدم لنمذجة وتحليل المكونات الميكانيكية والتجمعات ، يتوفر إصدار ABAQUS التعليمي مجانًا.

تلعب البرامج السابق ذكرها في نشاط البحث والتطوير دورًا كبيرًا في تقليل التكاليف المرتبطة بعملية التصميم، يقوم موظف التأهيل الطبي بأستعمال الماسح الضوئي EXOAscan للحصول على أبعاد وقياسات الجذع المبتور الخاص بالمريض بدون القيام بعمل قالب من الجبس

توضح المعادلة (1) حساب تكلفة الأجور لأنشطة المسح الضوئي والتصميم وإعداد الماكنة.

$$C_{L1} = (O_{L1} + O_{l2} + O_{L3}) \times T_{Perp} \dots\dots\dots\dots (1)$$

[1] (5,514,740.54 ≅ 5,514,741) * 15 وحدة منتجة

[2] 7,279,666.6 ≅ 7,279,667

C_{L1} = تكلفة الأجور قبل المعالجة

O_L = معدل تكلفة التقني

T_{Perp} = الوقت اللازم لإعداد البناء

بالإعتماد على البيانات السابقة يمكن حساب كلفة الأجور للمرحلة كالآتي :

$$C_{L1} = (14{,}547 + 138{,}106 + 34{,}064) \times 2.30$$

$$= (186{,}717) * 2.30$$

$$= 429{,}449.1 \text{ دينار}$$

يمكن الآن حساب التكاليف غير المباشرة لمرحلة ماقبل الإنتاج بعد توفر بياناتها من خلال المعادلة الآتية :

$$\boldsymbol{C_{oH1} = H_{H1} \times T_{Prep} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (2)}$$

C_{oH1} = التكلفة الصناعية غير المباشرة

H_{H1} = معدل التكاليف الصناعية غير المباشرة

T_{Prep} = الوقت اللازم للمعالجة المسبقة

في ما يخص حساب التكاليف غير مباشرة للمرحلة فقد تم حسابها كما يلي:

$$C_{oH1} = 20{,}439.3 \times 2.30$$

$$= 47{,}010 \text{ دينار}$$

بعد أن بلغت تكاليف الأجور (429,449.3) دينار وبلغت التكاليف غير المباشرة (47,010) دينار، يتم حساب تكاليف هذه المرحلة من خلال المعادلة الآتية:

$$\boldsymbol{C_{Perp} = C_{L1} + C_{OH1} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (3)}$$

C_{Perp} = تكاليف نشاط ما قبل المعالجة

C_{L1} = تكلفة الأجور

C_{OH1} = التكلفة الصناعية غير المباشرة

لذا يمكن حساب تكاليف مرحلة ما قبل الإنتاج بانشطتها الثلاثة، وكالآتي :

$$C_{Perp} = 429{,}449.3 + 47{,}010$$

$$= 476{,}459.3 \text{ دينار}$$

بلغت تكاليف مرحلة ما قبل الإنتاج (476,459.3) دينار لجميع أنشطة المرحلة، بعد الانتهاء من تصميم الأجزاء الاربعة الرئيسة للطرف الاصطناعي فوق الركبة، وتسخين الماكنة وإضافة المواد، يتم الانتقال مباشرة لمرحلة الإنتاج لبناء هذه الأجزاء .

2-3-2 نشاط التصنيع

لحساب كلفة عناصر مرحلة الانتاج لابد من تحديد معلمات الاجزاء الاربعة وتحديد الوقت وكمية المواد اللازمة لأنجازها، علماً ان معدل البناء (8.4) سم3 / ساعة و ان سُمك الطبقة الواحدة (0.3) سم3، بداية يتم تصنيع القالب والذي يمكن تحديد معلماته نسبياً بناءاً على الوزن المرضى المحدد سابقاً (90 – 70) كيلوغرام، يمكن تحديد الوقت وكمية المواد اللازمة لطباعة كل جزء، فالقالب يحتاج (2.3) ساعة لطباعته وكمية المواد اللازم استعمالها من التيتانيوم للبناء (0.543) غرام، والهيكل الداعم يحتاج الى(0.498) غراماً.

اما الساق فحتاج الى (0.36) دقيقة لكي يتم طباعتها بشكل كامل وكمية المواد اللازمة للبناء (0.335) غرام، ويحتاج الهيكل الداعم حوالي (0.272) غرام. لطباعة القدم والركبة يحتاج حوالي (1.2) ساعة، اما كمية المواد اللازمة للبناء للجزئين (0.545) غرام و يحتاج الهيكل الداعم للجزئين (0.439) غرام ، تبلغ اجور التقني للساعة الواحدة (34,064) ديناراً كما تم ذكرها سابقاً.

سوف يتم حساب تكاليف الاجزاء الاربعة لنشاط التصنيع مجمعة بدلاً من حساب ثلاث عمليات لتصنيع لتسهيل عملية الحساب وإظهار التكاليف بشكل واضح ، بما ان مادة البناء ومادة الدعم لهيكل البناء هي نفس المادة وهي التيتانيوم فستكون المعادلة كالاتي:

$$C_{MAT} = (W_1 + W_2) \times CM_v \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (4)$$

W_1 = وزن مادة البناء

W_2 = وزن مادة الدعم

CM_v = معدل تكلفة المواد المضافه

لذا يتم حساب تكاليف المواد المستعملة خلال مرحلة الانتاج وكالإتي :

$$= (1.423 + 1.209) \times 98{,}501$$

$$=(140{,}167+119{,}088)$$

$$= 259{,}255 \text{ دينار}$$

بلغت تكاليف المواد المباشرة للأجزاء الاربعة (259,255) دينار، وتعد كلفة المواد من خلال أستعمال التصنيع الإضافي منخفضة بشكل كبير مقارنة بتكاليف التصنيع التقليدي اذ تدخل في عملية التصنيع العديد من المواد فضلاً عن ان هذه المواد باهضة الثمن.

ايضاً يمكن حساب تكلفة الماكنة كما في المعادلة الأتية :

$$M_{MACH} = \frac{(C_{1+}\ M - S)}{T} \times T_{bs} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (5)$$

C_1 = قيمة شراء الماكينة

M = صيانة الماكنة

S = الخردة

T = العمر الانتاجي للماكنة

T_{bs} = الوقت المطلوب للإعداد والبناء

$$= \frac{(7{,}297{,}187 + 126{,}863 - 0)}{10} \times 4.16$$

$$= 51.78^{1} \times 4.16$$

$$= 215.4 \text{ دينار}$$

من خلال حساب تكلفة الماكنة لمرحلة إنتاج الطرف الإصطناعي بلغت (215.4) دينار، بعد ان تم تقسيمها على عدد ايام السنة والساعات المطلوبة لطباعة الاجزاء.

يمكن حساب تكلفة اجور التقني خلال عملية التصنيع من خلال المعادلة الإتية:

$$C_{L2} = O_2 \times T_{Processing} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (6)$$

C_{L2} = معدل تكلفة اجور التقني

O_2 = معدل تكلفة المشغل

$T_{Processing}$ = وقت البناء

لذا يمكن حساب تكلفة اجور التقني خلال مرحلة الانتاج كالأتي :

$$= 34{,}064 \times 3.9$$

$$= 132{,}849.6 \text{ دينار}$$

بلغت تكاليف الاجور (132,849.6) دينار للتقني خلال نشاط التصنيع، بلغت تكاليف الطاقة الكهربائية (1,638) دينار، تم حسابها على اساس كلفة الكيلو واط للساعة الواحدة والبالغة (60) دينار لآله الطباعة، يتضح ايضاً لعدم وجود تكاليف الماء، ذلك لان الآله الطابعة لاتحتاج اليه كما ورد في عملية التصنيع التقليدية .

اما فيما يخص تكاليف الاندثار الماكنة، فقد تم حساب تكلفة على اساس تقسيمه على عدد ايام العمل الرسمي خلال السنة .

بلغت التكاليف الصناعية غير المباشرة لمرحلة الإنتاج (58,866.5) دينار، ويلاحظ أن التكاليف الصناعية غير المباشرة قد ارتفعت مقارنة مع التكاليف المباشرة وذلك بسبب الاعتماد الأكبر على آلة الطباعة .

$$C_{OH2} = H_2 \times T_{bs} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (7)$$

H_2 = معدل التكلفة الصناعية غير المباشرة – الإنتاج

T_{bs} = والبناء للإعداد المطلوب الوقت

$$= 8{,}569 \times 3.9$$

$$= 33{,}419 \text{ دينار}$$

[1] 245/743,134.7 يوم

وبناء على ما سبق بلغت التكاليف الصناعية غير مباشرة لمرحلة الانتاج (33,419) دينار

وبعد ان تم حساب تكاليف جميع عناصر مرحلة الانتاج يمكن التوصل الى تكاليف هذه المرحلة من خلال المعادلة (5) الأتية:

$$C_{Processing} = C_{Mat} + C_{Mach} + C_{L2} + C_{OH2} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (8)$$

C_{Mat} = تكلفة المواد المطلوبة للبناء

C_{Mach} = تكلفة الآلة

C_{L2} = تكلفة الاجور

C_{OH2}= التكاليف الصناعية غير المباشرة

وكالآتي : $= 215.4 + 132,849.6 + 259,255 + 58,866.5$

$= 451,187$ دينار

ومما سبق تبين أن تكاليف مرحلة الإنتاج للأجزاء الأربعة بلغت (451,187) دينار، وبعد الانتهاء من مرحلة الإنتاج وتم طباعة الأجزاء الأربعة جميعها يتم تجميعها.

يمكن حساب تكاليف أجور انشطة المعالجة والفحص والتجميع وتنظيف الماكنة كالآتي:

=(0.35*15000)+(30,000*1.25)= 42,750 دينار

بلغ مجموع التكاليف الغير مباشرة لمرحلة لهذه الأنشطة (14,150) دينار والتي شملت التكاليف التي لا ترتبط بشكل مباشر بأنشطة البحث والتطوير والتصميم وإعداد الماكنة.

من خلال التكاليف التي تم ذكرها أعلاه يمكن حساب التكاليف غير المباشرة من خلال المعادلة الاتية:-

$$= 14,150 \times 1.6$$

$$= 22,640 \text{ دينار}$$

بلغت التكاليف غير المباشرة بعد عملية المعالجة (22,640) دينار

يتم إضافة تكاليف الأجور للأنشطة التي تلي نشاط تصنيع الأجزاء والبالغة (42,750) دينارا والتكاليف الصناعية غير المباشرة والبالغة (22,640) دينار إلى تكاليف الإنتاج وكما يلي:-

$$22,640+42,750+451,187 = 516,577$$

مما سبق وبعد جمع تكاليف أجور الأنشطة التي تلي نشاط التصنيع والتكاليف غير المباشرة بلغت تكاليف الإنتاج في النهاية (516,577) دينار، إذ بعد اكتمال هذه المرحلة يتم الحصول على طرف اصطناعي فوق الركبة كاملا.

2-3-2 قائمة التكاليف بموجب نظام التصميم CAD

لإعداد قائمة التكاليف بموجب نظام التصميم CAD تم تحديد تكاليف الطرف الإصطناعي لشهر تموز لسنه(2021).

2-3-2-1 كلفة المواد الداخلة في إنتاج الطرف الإصطناعي فوق الركبة

كلفة المواد المباشرة لمنتج طرف إصطناعي فوق الركبة بعد بموجب تقنية التصنيع الإضافي بلغت (259,255) ديناراً .

2-3-2-2 الأجور المباشرة بموجب نظام التصميم CAD

سيعتمد الباحثان حساب متوسط أجر شهري للمصمم حوالي (1,104,850) دينار وتكاليف أجور التقني تبلغ (545,017) ديناراً، أجور الأنشطة التابعة لمرحلة الإنتاج (660,000) دينار، أما أجور التأهيل فتبلغ (836,396) دينارا، أجور موظف المسح الضوئي (465,500) دينار، واخيراً أجور التنظيف تبلغ (330,000) دينار، أي: تبلغ كلفة الأجور الشهرية بموجب تقنية التصنيع الإضافي لشهر تموز (4,954,417) دينارا، وسيتم اعتماد الأجور المباشرة الشهرية؛ لأن الأجور المباشرة في حالة اعتماد الأجور السنوية ستكون مظللة بسبب إرتفاع كلفة عنصر الأجور المباشرة.

2-3-2-3 التكاليف الصناعية غير المباشرة بموجب نظام التصميم CAD

بلغت التكاليف الصناعية غير المباشرة لعام (2021) لشهر تموز (4,631,446) ديناراً .

2-3-2-4 التكاليف الإدارية بموجب نظام التصميم CAD

إن التكاليف الادارية لمنتج طرف إصطناعي بلغت (6,921,853) ديناراً بموجب التصنيع التقليدي وبموجب نظام التصميم CAD ، وذلك لعدم تأثر هذه التكاليف بشكل مباشر تقنية التصنيع الإضافي، أما عدد الوحدات المنتجة لمنتج طرف إصطناعي فوق الركبة بلغت (22) طرفا إصطناعيا وفقاً لطلبيات شهر تموز (2021) .

الجدول(2) كلفة الوحدة الواحدة من منتج طرف إصطناعي فوق الركبة تقنية التصنيع الإضافي

ت	التكاليف	الطرف الصناعي فوق مفصل الركبة
1	كلفة المواد المباشرة[1]	5,703,610
2	كلفة الأجور المباشرة	3,941,763
3	التكاليف الصناعية غير المباشرة	4,631,446
4	التكاليف الأدارية	6,921,853
5	المجموع	21,198,672
6	÷ عدد الوحدت المنتجة	22
7	كلفة الوحدة الواحدة	963,576

المصدر: اعداد الباحثان بالاعتماد على البيانات السابقة

يتضح من الجدول أعلاه إن كلفة الوحدة الواحدة من الطرف الاصطناعي فوق الركبة بلغ بموجب نظام التصميم CAD (963,576) دينار والتي تعد كلفة منخفضة جداً مقارنة بتكاليف التصنيع التقليدي، إذ يبلغ الفرق بينهما (8,136,007) دينار (9,099,583 – 963,576) والذي يرجع إلى الانخفاض الكبير الحاصل في المواد والأجور والتكاليف الصناعية غير المباشرة من حيث التكاليف والعدد .

[1] 259,255 * 22 وحده

3- الاستنتاجات والتوصيات

3-1 الاستنتاجات

1) نتيجة للتطورات في البيئة الصناعية الحديثة وما نتج عنها من المنافسة الشديدة والتغير والتقدم بطرق الانتاج والانفتاح في الاسواق والعولمة، اصبحت نظم التكاليف التقليدية عاجزة عن تقديم المعلومات المناسبة للادارة كما انها اصبحت غير كفؤة بمجال خفض التكاليف.
2) ان تطبيق تقنية التصنيع الإضافي يؤدي الى اختزال حلقات سلسلة القيمة من خلال التدخل الرقمي مما يحقق وفورات كبيرة في التكاليف والجهد والوقت.
3) يمكن من خلال نظام التصميم CAD عمل تصميمات ذات الاشكال الهندسية المعقدة وبسهولة كبيرة، على عكس ما هو عليه في التقنيات التقليدية التي تعتمد على إزالة المواد والتي تواجه صعوبة في الحصول عى الشكل الهندسي المطلوب ، فضلاً عن الهدر الكبير الحاصل في المواد.

3-2 التوصيات

1) إقامة دورات تدريبية بين الموظفين بشكل مستمر وذلك لنشر مفهوم نظام التصميم CAD بين الأفراد العاملين في المركز، والمتابعة المستمرة للتخلص من أنواع الهدر في جميع المستويات ،فضلاً عن تقليل من الانبعاث الغازية وملوثات وتوفير في استهلاك الطاقة والموارد لتحقيق مخرجات ذات جودة عالية وصديقة للبيئة .
2) الالتزام التام بأوقات العمل المحددة للعملية الإنتاج والسعي لحذف الاوقات التي لا تضيف قيمة وذلك تجنباً لحدوث هدر في الموارد مما يؤثر سلبا على أداء المركز .
3) بعد أن تم حساب تكاليف الأجزاء التي يتم شراءها، تبين أن كلفة التصنيع من خلال نظام التصميم CAD توفر تكاليف أكثر بكثير من شراءها، مع التقليل من وقت وصول المواد للمركز والحد من شراء المواد ذات الأسعار المرتفعة .

المصادر

1. Irons, B. T. (2020). **Current and future applications of 3D printing using custom-made materials**.(Honors Thesis - University of South Dakota)
2. Ray, J. A. (2015). **An Economic and Technological Analysis of 3D Printing in the Automotive, Aerospace, and Medical Industries**.(Honors Thesis - University of Mississippi. Sally McDonnell Barksdale Honors College)
3. Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T., & Hui, D. (2018). **Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. Composites Part B: Engineering**, 143, 172-196.
4. Hinchy, E. P. (2019). **Design for Additive Manufacturing. Polymer-Based Additive Manufacturing: Biomedical Applications**, 23-50.
5. Tofail, S. A., Koumoulos, E. P., Bandyopadhyay, A., Bose, S., O'Donoghue, L., & Charitidis, C. (2018). **Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. Materials today,** *21*(1), 22-37.
6. Sadrehaghighi, I (2020). **CFD in Biomedical Engineering Plus Case Studies.**
7. Alogla, A. A., Baumers, M., Tuck, C., & Elmadih, W. (2021). **The impact of additive manufacturing on the flexibility of a manufacturing supply chain.** Applied Sciences, 11(8), 3707.

8. Bauer, J., & Malone, P. (2015). **Cost estimating challenges in additive manufacturing. In International Cost Estimating and Analysis Association Professional Development and Training Workshop (Vol. 4).**

9. Woźniak, J., Budzik, G., Przeszłowski, Ł., Fudali, P., Dziubek, T., & Paszkiewicz, A. (2022). **Analysis of the quality of products manufactured with the application of additive manufacturing technologies with the possibility of applying the Industry 4.0 conception.**

10. Durach, C. F., Kurpjuweit, S., & Wagner, S. M. (2017)**. The impact of additive manufacturing on supply chains. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management,** 47(10), 954-971.

11. Rodríguez-Salvador, M., & Garcia-Garcia, L. A. (2018). **Additive manufacturing in healthcare.** Форсайт, 12(1 (eng)), 47-55.

12. Rossi, M., Nardello, M., Lorenzelli, L., & Brunelli, D. (2017, August). **Dual mode pressure sensing for lower-limb prosthetic interface. In Proceedings** (Vol. 1, No. 4, p. 593). MDPI**.**