استعمال نظام التصنيع بمساعدة الحاسوب في تخفيض تكاليف المنتجات الصناعية

نور ياسين مخلف

أ.م. د محمد عبدالواحد فليح

كلية الإدارة والاقتصاد - الجامعة العراقية

استعمال نظام التصنيع بمساعدة الحاسوب في تخفيض تكاليف المنتجات الصناعية

Using the Computer-Aided Manufacturing System to Reduce the Costs Of Industrial Products*

نور ياسين مخلف
Noor Yaseen Makhef
كلية الادارة والاقتصاد\ الجامعة العراقية
College of Administration and Economics
Iraqia University

أ.م.د محمد عبدالواحد فليح
Dr.Mohammed Abdulwahid Felih
كلية الادارة والاقتصاد\ الجامعة العراقية
College of Administration and Economics
Iraqia University

تاريخ القبول: 2023/4/4 تاريخ النشر: 2023/6/30

المستخلص :

يهدف البحث إلى بيان مفهوم نظام التصنيع بمساعدة الحاسوب (CAM) والتعرف على أهم ركائزه ، ومن ثم التعرف على مفهوم تخفيض التكاليف و كيف سيتم تخفيض تكاليف المنتج من خلال مرحلة الانتاج ، تعد صناعة الأطراف الاصطناعية في السنوات الأخيرة أحد الصناعات المهمة في العراق، لا سيما مع استمرار اشتعال بؤر الصراعات المسلحة ووقوع التفجيرات الإرهابية، إلا أنها تعاني من ارتفاع كبير في التكاليف، فبالرغم من ارتفاع تكاليف الأطراف الاصطناعية إلا أنها قد لا تؤمن تصنيع إطراف ذات جودة عالية، إذ إن استعمال نظام التصنيع بمساعدة الحاسوب قد يساعد وبشكل كبير في تخفيض التكاليف خلال مرحلة إنتاج الاطراف الاصطناعية بوجود تقنية التصنيع الإضافي، وقد تم اختيار مركز صدر القناة للأطراف الاصطناعية والمساند الطبية لإجراء البحث، وهو أول وأكبر مركز على مستوى العراق متخصص بصناعة الأطراف الاصطناعية ، وتوصل الباحثان إلى مجموعة من الاستنتاجات، أهمها: يمكن من خلال نظام التصنيع بمساعدة الحاسوب (CAM) 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، ويوصي الباحثان بإقامة دورات تدريبية بين الموظفين بشكل مستمر وذلك لنشر مفهوم نظام التصنيع بمساعدة الحاسوب بين الأفراد العاملين في المركز، والمتابعة المستمرة للتخلص من أنواع الهدر في جميع المستويات .

الكلمات الدالة: نظام التصنيع بمساعدة الحاسوب، تخفيض التكاليف، المنتجات الصناعية.

Abstract: The research aims to explain the concept of the Computer Aided Manufacturing (CAM) system and to identify its most important pillars, and then to identify the concept of cost reduction and how the product costs will be reduced through the production stage. The prosthesis industry in recent years is one of the important industries in Iraq, especially with the continued ignition of hotspots of armed conflicts and the occurrence of terrorist bombings; they suffer from a significant increase in costs. Despite the high costs of prostheses, they may not guarantee the manufacture of high-quality limbs, as the use of a computer-aided manufacturing system may help significantly in reducing costs. During the stage of producing prostheses with the presence of additive manufacturing technology, the Sadr Al-Qanat Center for Prosthetic Limbs and Medical Supports was chosen to conduct the research, and it is the first and largest center in Iraq specialized in the manufacture of prostheses. Computer (CAM) makes designs with complex geometric shapes and with great ease, unlike what it is in traditional techniques that depend on removing materials, which face difficulties In order to obtain the required geometric shape, in addition to the large waste that occurs in materials, the researchers recommend that training courses be held among employees on an ongoing basis in order to spread the concept of computer-assisted manufacturing system among the individuals working in the center, and continuous follow-up to get rid of types of waste at all levels.

* بحث مستل من رسالة الماجستير الموسومة (التكامل بين تقنيتي التصنيع الإضافي وسلسلة القيمة ودوره في تخفيض التكاليف)

Keywords: Computer-Aided Manufacturing System, Reduce Costs, Industrial Products.

المقدمة:

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، إذ أصبحت نظم التكاليف التقليدية لا تلائم خصائص البيئة الحديثة, فضلا عن تعدد المنتجات وقصر دورة حياتها وتعقيد التصاميم الهندسية للمنتجات وتزايد كمية ونوعية القرارات المطلوب اتخاذها من المديرين، فيما كان لتبني الشركات الصناعية العالمية التقنيات التكنولوجية المختلفة دوراً جوهرياً في تخفيض التكاليف، ومن هذا المنطلق جاء التفكير بضرورة إدارة التكاليف من خلال استعمال نظم تصنيع معاصرة تعمل على خفض التكاليف دون المساس بجودة المنتج او الخدمة المقدمة، ومنها نظام التصنيع بمساعدة الحاسوب (CAM) والذي زاد استعماله بشكل كبير في السنوات الاخيرة، وفي سياق تحقيق أهداف البحث تم تقسيمه إلى أربعة مباحث لتغطية الجانب النظري والجانب العملي، إذ يحتوي المبحث الاول على منهجية البحث, ودراسات سابقة متعلقة بمتغيرات البحث وما يميز البحث الحالي عن الدراسات السابقة، وتضمن المبحث الثاني الجانب النظري والذي يستعرض المرتكزات المعرفية لنظام التصنيع بمساعدة الحاسوب، وبيان كيفية تخفيض التكاليف بالاعتماد على نظام التصنيع بمساعدة الحاسوب، بينما خصص المبحث الثالث للجانب العملي للبحث و الذي يتضمن نبذة تعريفية عن عينة البحث، وحساب التكاليف وفق الطريقة التقليدية من واقع سجلات المركز، وبيان كيفية تخفيض التكاليف بالاعتماد على نظام التصنيع بمساعدة الحاسوب، أما المبحث الرابع فسيعرض استنتاجات والتوصيات البحث.

المبحث الأول: منهجية البحث وبعض الدراسات السابقة

1- منهجية البحث

1-1 مشكلة البحث

يعد ارتفاع التكاليف في الوحدات الاقتصادية من التحديات المهمة التي تواجه تلك الوحدات، ولاسيما بعد التغيرات السريعة الحاصلة في بيئة الاعمال، إذ أصبحت نظم التكاليف التقليدية ومخرجاتها لا تؤدي الغرض اللازم في تحديد كلفة المنتجات او الخدمات، تتمثل مشكلة البحث في اعتماد الوحدات الاقتصادية على طرائق الانتاج التقليدية والتي بدورها تؤدي إلى مجموعة من المشكلات منها وجود أنواع من الهدر الذي يصاحب العملية الانتاجية، وظهور الانتاج المعاب، فضلاً عن ارتفاع تكاليف المواد التي تُمثل نسبة كبيرة من إجمالي التكاليف، وبناءً على ما ذُكر يمكن صياغة المشكلة من خلال التساؤلين الآتيين :

1- هل إن نظام التصنيع بمساعدة الحاسوب يسهم في التغلب على المشكلات التي تعاني منها النظم التقليدية لمحاسبة الكلفة والإدارية؟

2- هل إن استعمال نظام التصنيع بمساعدة الحاسوب يساعد على تخفيض التكاليف في عينة البحث ؟

2-1 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 الاعتماد على تقنيات جديدة قادرة على تحقيق الأهداف بكفاءة وفعالية مما يؤثر على الاقتصاد بشكل كبير، باعتبار الوحدات الاقتصادية تمثل شبكة مترابطة تؤثر على بعضها البعض، والذي بدوره يؤثر على المجتمع بأكمله، 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.

3-1 أهداف البحث

يسعى البحث إلى تحقيق الأهداف الآتية:

1. بيان المرتكزات المعرفية لنظام التصنيع بمساعدة الحاسوب

2 . بيان كيفية استعمال نظام التصنيع بمساعدة الحاسوب وذلك لتحقيق تخفيض التكاليف في المركز عينة البحث.

4-1 فرضية البحث

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

" إن نظام التصنيع بمساعدة الحاسوب يسهم في تخفيض تكاليف المنتجات "

5-1 منهج البحث

يعتمد 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 مجتمع البحث وعينة البحث المتمثلة بمركز صدر القناة للأطراف الاصطناعية والمساند الطبية لإنجاز هذا البحث واختبار فرضياته.

2- بعض الدراسات السابقة

تقدم هذه الفقرة عرضاً موجزاً لبعض الدراسات السابقة العربية والأجنبية المتعلقة بموضوع البحث وفقاً لتسلسلها الزمني فيما يتعلق بنظام التصنيع بمساعدة الحاسوب، إذ يتم التركيز على اهداف الدراسات, نوعها وأهم الاستنتاجات التي توصلت إليها, إذ يتم توضيح ما يميز البحث الحالي عن الدراسات السابقة، وتتضمن هذه الفقرة محورين كالآتي:

المحور الأول: الدراسات المتعلقة بنظام التصنيع بمساعدة الحاسوب

المحور الثاني: ما يميز البحث الحالي عن الدراسات السابقة

المحور الأول: الدراسات المتعلقة بنظام التصنيع بمساعدة الحاسوب

1- اسم الباحث والسنة	Hirsch, 2009
عنوان الدراسة	Use of Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing to Produce Orthographically Ideal Surgical Outcomes: A Paradigm Shift in Head and Neck Reconstruction استخدام التصميم بمساعدة الحاسوب والتصنيع بمساعدة الحاسوب لإنتاج نتائج جراحية مثالية من الناحية التقويمية: تحول نموذجي في إعادة بناء الرأس والرقبة
طبيعة ونوع الدراسة	دراسة حالة - بحث منشور
منهج الدراسة	المنهج الوصفي التحليلي
اهداف الدراسة	الاستفادة من نظام التصنيع الرقمي الكامل بالحاسوب لغرض احداث نقطة تحول لإنتاج نتائج جراحية مثالية من الناحية التقويمية .
أهم الاستنتاجات	ان الانتقال لاستعمال نظم التصنيع الرقمية يساعد وبشكل كبير في انجاح الحصول على نموذج مطابق للقياسات المحددة لمثل هذه الاجزاء المهمة في جسم الانسان بدون ادنى جهد وبشكل كفوء وفعال.
2- اسم الباحث والسنة	Baroudi& Ibraheem , 2015
عنوان الدراسة	Assessment of Chair-side Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing Restorations: A Review of the Literature تقييم التصميم بمساعدة الحاسوب والتصنيع بمساعدة الحاسوب: مراجعة الأدبيات
طبيعة ونوع الدراسة	دراسة حالة – بحث منشور
منهج الدراسة	المنهج الاستنباطي والاستقرائي
اهداف الدراسة	تهدف الدراسة إلى تقييم تطبيق تقنية التصميم بمساعدة الحاسوب والتصنيع بمساعدة الحاسوب (CAD-CAM) والعوامل التي تؤثر على بقاء عمليات الترميم.
أهم الاستنتاجات	يعد استخدام أنظمة CAD/CAM أمرًا واعدًا في جميع فروع الأسنان من حيث تقليل الوقت والجهد الذي يبذله أطباء الأسنان والفنيون والمرضى لاستعادة وظيفة الفم وجماليات المريض والحفاظ عليها ، مع توفير نتائج عالية الجودة.
3- اسم الباحث والسنة	Deokar et al.,2019
عنوان الدراسة	Computer Aided Design and Manufacturing التصميم والتصنيع بمساعدة الحاسوب
طبيعة ونوع الدراسة	دراسة حالة – بحث منشور
منهج الدراسة	المنهج الوصفي
اهداف الدراسة	يهدف البحث الى اظهار المزايا التي تم الحصول عليها من تكاملCAD / CAM ، أذ أثبتت تطبيقات تكامل CAD / CAM المستخدمة في آلة الطحن CNC وعمليات التصنيع الافتراضية فعالية منهجية البحث.
أهم الاستنتاجات	في هذا البحث تم تحقيق العديد من الأهداف من خلال تطوير أنظمة CAD / CAM بالتكامل بينها، أذ يسمح للمستخدم بالتصنيع لعمل نموذج ثلاثي الأبعاد لملف STL وهو أمر غير ممكن بواسطة المكائن التقليدية.

المحور الثاني: ما يميز البحث الحالي عن الدراسات السابقة

1- يعد البحث الحالي (على حد علم الباحثين) أول بحث محلي وعربي يدرس تخفيض تكاليف المنتجات من خلال استعمال انظمة التصنيع بمساعدة الحاسوب.

2- حداثة موضوع البحث، إذ يعد هذا البحث أول دراسة عربية عراقية تطبق هذه النظام (التصنيع بمساعدة الحاسوب) في الوحدات الصحية العراقية (حسب علم الباحثين)، إذ لم تتناول اي دراسة عربية أو محلية تخفيض تكاليف المنتجات باستعمال نظام التصنيع بمساعدة الحاسوب.

3- يساعد هذا البحث في تعزيز المعرفة لدى الباحثين، وذلك من خلال الاطلاع على المفاهيم المعاصرة ووجهات النظر الجديدة التي لم يتم التطرق إليها في الدراسات السابقة.

4- يقدم البحث الحالي مقترحاً لمركز صدر القناة للأطراف الاصطناعية والمساند الطبية وحساب تكاليف تصنيع الأطراف بالطريقة التقليدية ونظام التصنيع بمساعدة الحاسوب وأجراء مقارنة بينهما، فيما إذا أرادت وزارة الصحة العراقية التحول لاستعمال نظام التصنيع بمساعدة الحاسوب في تصنيع الأطراف الاصطناعية .

5- الاستفادة من الاستنتاجات والتوصيات المقترحة لهذا البحث من قبل المركز عينة البحث والوحدات الاقتصادية الأخرى فضلا عن الأكاديميين.

المبحث الثاني : المرتكزات المعرفية لنظام التصنيع بمساعدة الحاسوب (CAM) وبيان كيفية تخفيض التّكاليف بالاعتماد على هذا النظام

1- المرتكزات المعرفية لنظام التصنيع بمساعدة الحاسوب (CAM)

1-2 التطور التاريخي لنظام التصنيع CAM والتصنيع الإضافي

أدرك Hideo Kodama عام (1981) مشكلة الوقت وحاول إعادة اختراع كيفية إنتاج أجزاء نماذج أولية بسرعة وبكلفة منخفضة ودون الحاجة إلى قدر كبير من العاملين ويعتقد Kodama أنه بدلاً من حذف 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 النماذج الأولية والتصنيع بوتيرة أسرع بكثير وجد Kodama إن التصاميم ذات الأشكال المعقدة نوعاً ما يمكن تصنيعها بهذه التقنية، وقد نجح في تصنيع ثلاثة أجسام صلبة باستعمال التصنيع بنظام CAM في مثل هذا الوقت القصير بكلفة مادية قليلة جداً، وبدون الحاجة إلى عمل يدوي نجاحاً واعداً للغاية (Irons,2020:2-3)

على الرغم من إن عمل Kodama كان ثورياً 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 أول من جاء بنظام التصنيع CAM,كان الاختلاف الرئيس بين التقنيتين هو أن إصدار Hull كان قادراً على إنتاج أجزاء مصممة بشكل أكثر تعقيداً بفضل دقة أجهزته الأعلى (Ray,2015:2-5), والتي أعقبتها تطورات لاحقة حيث تم تسويق ثلاث تقنيات جديدة قائمة على التصنيع الإضافي ، إذ 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 مفهوم نظام التصنيع بمساعدة الحاسوب CAM

كان التصميم النهائي دائماً مقيداً بقيود تكنولوجيا التصنيع، ويحتاج مصممو المنتجات ومهندسو التصميم إلى تحقيق توازن بين وظائف المنتج وجودته، مع تقليل التكلفة أيضاً. تم ذلك تقليدياً من خلال اتباع إرشادات تسمى التصميم للتصنيع والتجميع، والتي تركز على تقليل تعقيد المنتج لتقليل تكاليف التصنيع. ومع ذلك ، مع نظام التصنيع CAM، لم يعد تعقيد المنتج مرتبطاً بتكاليف التصنيع ، الأمر الذي اعطى للصممين حرية اكبر في التصميم، مما سمح بتحقيق نية المصمم بتحقيق كلفة منخفضة (Hinchy,2019:3). اختلفت وجهات النظر حول ايجاد تعريف شامل يوضح نظام التصنيع CAM خلال سنوات، وقد حاول عدد من الباحثين تعريفها عده تعاريف التي توصل اليها الباحثين .

إذ تم تعريفها على أنها "برامج الكمبيوتر المصممة للتحكم/ تشغيل الأدوات أو آلات التصنيع الأخرى مثل آلات AM" (Tofail et al.,2018:3)

وتم تعريفها ايضاً إلى أنها تشير عادة إلى "الأنظمة التي تستخدم بيانات ملف STL ونقله لماكنة AM ، التي تعمل رقمياً، لإنتاج الأجزاء طبقة تلو الاخرى" (Sadrehaghighi,2022:3)

مما سبق اعلاه يمكن القول إن التصنيع بمساعدة الحاسوب CAM " عبارة عن نظام تصنيع يتم من خلاله تصنيع نموذج ثلاثي الأبعاد (D3) و يتم فيه دمج سمات الكمبيوتر وخصائص المصمم معاً، ويستعمل 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 " .

3-2 مميزات نظام التصنيع بمساعدة الحاسوب CAM

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

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

2- انخفاض التكاليف: تعتمد الوحدات الاقتصادية على نظام التصنيع CAM لكي 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 التصنيع CAM 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 التصنيع CAM من مشكلة امتلاء المخازن بالبضاعة والسلع والمواد الخام.(Durach et al.,2017:961)

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

2- بيان تخفيض التكاليف بالاعتماد على نظام التصنيع بمساعد الحاسوب

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

وبناءً على ما سبق 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 المكنة أو معالجة جزء منها.

2- سهولة الإدخال: أثناء التصنيع ، يمكن تصنيع المنتجات بشكل أسرع إذا كانت عملية التجميع بسيطة ومباشرة و عند تصميم مجموعة فإن من الممارسات الجيدة هو تصميم أجزاء يسهل تجميعها و 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 تنوعاً.

5- تجنب عيوب التصنيع الشائعة: إن عيوب التصنيع الشائعة مفهومة جيداً. على سبيل المثال ، بالنسبة للقولبة بالحقن ، إذا كانت جدران القالب رقيقة جدًا ، فقد لا تمتلئ المادة تماماً - 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. ووفق تطبيق نظام التصنيع (CAM) فإن هناك قواعد قياسية لتقنيات التصنيع المختلفة والتي عند اتباعها تقلل من احتمالية الفشل.

المبحث الثالث : الجانب العملي

3- 1 نبذه تعريفية عن عينة البحث

يُعد مركز صدر القناة للأطراف الصناعية والمساند مركز متخصص لصناعه الأطراف الاصطناعية والمساند الطبية بأنواعها، فضلاً عن تقديم خدمات العلاج الطبيعي، وهو إحدى تشكيلات وزارة الصحة التابعة إلى 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 إلى المساند التقويمية وتجهيزها وتقديمها مجاناً لمستحقيها، ويقدم خدماته لفاقدي الاطراف والمتضررين من عده اسباب منها حوادث الإرهاب والتفجيرات وداء السكري والتشوهات الخلقية.

3-2 مبررات اختيار العينة

1. ارتفاع تكاليف الأطراف الاصطناعية، وترجع أهم اسباب ارتفاع تكاليفها إلى ارتفاع كلفة شراء المواد الأولية التي تدخل في صناعة الأطراف ووجود تعقيدات في تأمينها .
2. أن تصنيع الأطراف الاصطناعية يتطلب جهداً ووقتاً كبيرين لكي يتناسب المنتج مع متطلبات الزبون من حيث القياسات و الراحة في الاستخدام، فبالرغم من ارتفاع تكاليف المواد الداخلة في تصنيع الاطراف الاصطناعية إلا أنها قد لا تؤمن تصنيع إطراف ذات جودة عالية.

فيما تم اختيار الطرف الاصطناعي 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. استمرار عملية الإنتاج ابتداءً من المواد الأولية اللازمة في الانتاج حتى الوصول إلى المنتج النهائي، بالإضافة لتوافر البيانات اللازمة.
3. الأهمية الكلفوية والبيعية للمنتج قياساً بمنتجات الاطراف الأخرى.

3-3 الطرف الاصطناعي فوق الركبة (AK)

تتكون الأطراف الاصطناعية فوق الركبة كما في الشكل (1) عادةً من أربع مكونات رئيسة ، وهي كالآتي:

1) القالب (Socket): هو الجزء الأكثر أهمية في الطرف الاصطناعي إذ هو الذي يحدد درجة نجاح الطرف، فهو الوسيط بين المريض والطرف الاصطناعي، بالإضافة إلى 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 الأساس من الساق هو نقل الأحمال الرأسية الناتجة عن وزن مريض البتر إلى القدم وعلى الأرض.

4) القدم الاصطناعية (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.

القالب

* وفق المقابلة الشخصية مع مدير شعبة تصنيع الاطراف الاصطناعية السفلية

الشكل (1) مكونات الطرف الا

Source : "lower-limb prosthesis main components"(Rossi et.al, 2017)

3-4 حساب كلفة الطرف الصناعي فوق مفصل الركبة من واقع سجلات مركز صدر القناة للأطراف الاصطناعية والمساند الطبية

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

3- 4-1 كلفة المواد الداخلة في إنتاج الطرف الصناعي

وحسب المسلك التكنولوجي لمعدلات صرف المواد الداخلة لتصنيع منتج قالب طرف الاصطناعي فوق مفصل الركبة يكون مجموع كلف المواد الداخلة لتصنيعه (5,514,741) دينار ، ونلاحظ ارتفاع تكاليف المواد الداخلة في ذلك لأن اغلب المواد لا يتم شراؤها من المجهز الرئيس ولكن عن طريق وسطاء مما يجعل المركز يتحمل الكثير من التكاليف؛ وذلك لأن 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.

3- 4- 2 تكاليف الاجور

تمثل تكاليف الأجور نسبة كبيرة من أجمالي عنصر كلفة الطرف الصناعي فوق الركبة بالمقارنة مع بقية العناصر وكانت سبب لارتفاع كلفة المنتج، إن عدد الموظفين في المصنع بلغ (36) موظف توزعت بين (5) أقسام وبلغ إجمالي الأجور في الشهر الواحد بلغت (25,378,922) ديناراً، قد أعتمد الباحثون 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 (64304,547,0) ديناراً في حساب كلفة الطرف الاصطناعي لكانت كبيرة جداً وأدت إلى تشوية كلفة الطرف.

3- 4-3 التكاليف غير المباشرة

تشمل التكاليف غير المباشرة (مواد غير مباشرة ، و أجور غير مباشرة، و التكاليف التي تصرف على أقسام خدمات الإنتاج أي الاقسام التي تقدم خدماتها لجميع المنتجات والتي تخص أكثر 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، اضافه لوجود العديد من المكائن المستعملة لعملية التصنيع.

3- 4- 4 التكاليف الإدارية

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

يتم حساب كلفة الوحدة الواحدة من منتج طرف صناعي فوق مفصل الركبة وذلك بالاعتماد 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	82,721,115
2	كلفة الأجور المباشرة	25,378,922
3	التكاليف الصناعية غير المباشرة	10,717,339
4	التكاليف الإدارية	6,921,853
5	كلفة التلف	10,402,751
6	المجموع	136,141,980
7	÷ عدد الوحدات المنتجة	15
8	كلفة الوحدة الواحدة	9,076,132

المصدر: أعداد الباحثان 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.

3 – 5 تخفيض التكاليف بالاعتماد على نظام التصنيع CAM

بعد أن تم تصميم الاجزاء جميعها واعداد الماكنة للتصنيع، يتم نقل ملف STL للجزء المراد تصنيعه، في هذه الحالة ولوجود أربعة اجزاء فسيتم تصنيع الاجزاء على ثلاث دفعات وذلك بسبب الاحجام المتفاوتة للأجزاء، اذ لا يمكن تصنيعها جميعاً على منصة البناء للماكنة في نفس الوقت، لذا سوف يتم تصنيع القالب والساق كل واحد على حدا، وتصنيع القدم والركبة سويةً، إذ يمكن انجازها جميعها في حال تم تصغير حجمها بالرغم من اختلاف تصاميمها.

لحساب كلفة عناصر مرحلة الانتاج لابد من تحديد معلمات الاجزاء الاربعة وتحديد الوقت وكمية المواد اللازمة لإنجازها، علماً إن معدل البناء (8.4) سم**3** / ساعة و ان سُمك الطبقة الواحدة (0.3) سم**3**، بداية يتم تصنيع القالب والذي يمكن تحديد معلماته نسبياً بناءً على الوزن المرضى المحدد سابقاً (70 – 90) كيلوغرام، يبين الجدول(2) معلمات كل جزء على حدا الذي سيتم طباعته.

الجدول(2)

معلمات الاجزاء الرئيسية للطرف الاصطناعي فوق الركبة

المعلمات	التفاصيل			
	القالب	الساق	القدم	الركبة
السُمك	20 سم3	3 سم3	3.4 سم3	3.5 سم3
وزن الجزء	.7520 غرام	.4270 غرام	.3920 غرام	.1450 غرام
عدد الطبقات	66.7	10	11.3	11.7

اعداد الباحثان بالاعتماد على المقابلة الشخصية مع تدريسي قسم الاطراف الاصطناعية في المعهد الفني التقني بتاريخ 26\6\2022

بناء على الجدول السابق 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.

أما الساق فتحتاج إلى (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، أما كمية المواد اللازمة للبناء للجزئيين (0.545) غرام و يحتاج الهيكل الداعم للجزئيين (0.439) غرام .

إن كل ما سيقوم به التقني خلال طباعة الاجزاء الأربعة هو مراقبة عملية التصنيع فقط، إذ تعتمد اجوره على ساعات المراقبة لعملية الطباعة خلال هذه المرحلة، خلاف عملية التصنيع التقليدية إذ يتم فيها العديد الوظائف فتحتاج العملية إلى أكثر من عامل مما يزيد تكاليف الاجور المباشرة للطرف، وتبلغ اجور التقني للساعة الواحدة (34,064) ديناراً كما تم ذكرها سابقاً .

سوف يتم حساب تكاليف الاجزاء الأربعة لمرحلة الانتاج مجمعة بدلاً من حساب ثلاث عمليات لتصنيع لتسهيل عملية الحساب وإظهار التكاليف بشكل واضح ، بما إن مادة البناء ومادة الدعم لهيكل البناء هي نفس المادة وهي التيتانيوم فستكون المعادلة* كالاتي:

$$C_{MAT} = (W_1 + W_2) \times CM_v \dots\dots\dots\dots\dots\dots (1)$$

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 :

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

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

$$= 259{,}255 \text{ دينار}$$

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 باهظة الثمن.

ايضاً يمكن حساب تكلفة الماكنة كما في المعادلة الأتية :

$$M_{MACH} = \frac{(C_{1+}\ M - S)}{T} \times T_{bs} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (2)$$

C_1 = قيمة شراء الماكينة

M = صيانة الماكنة

S = الخردة

T = العمر الانتاجي للماكنة

T_{bs} =الوقت المطلوب للإعداد والبناء

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

* جميع المعادلات المذكورة في البحث من المصدر (Lami, 2021)

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

$$= 215.4 \text{ دينار}$$

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

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

$$C_{L2} = O_2 \times T_{Processing} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (3)$$

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 مرحلة الانتاج إذ تعد تكاليف معقولة ومنخفضة مقارنة بالتكاليف والتي سبق ذكرها في المبحث السابق، فأن مرحلة التصنيع التقليدي تتضمن العديد من الوظائف والتي يقوم بها عده عاملين مما سيرفع تكاليف الاجور المباشرة لمرحلة الانتاج .

أما فيما يخص التكاليف الصناعية غير المباشرة لمرحلة الانتاج فيمكن حساب هذه التكاليف بناء بمعدل ساعات المرحلة، حساب كلفة الطاقة الكهربائية التي تستهلكها الماكنة خلال مرحلة الانتاج للأجزاء الاربعة .

بلغت تكاليف الطاقة الكهربائية (1,638) دينار، تم حسابها على اساس كلفة الكيلو واط للساعة الواحدة والبالغة (60) دينار لآلة الطباعة ، يتضح أيضاً لعدم وجود تكاليف الماء، ذلك لأن الآلة الطابعة لا تحتاج اليه كما ورد في عملية التصنيع التقليدية .

أما فيما يخص تكاليف الاندثار الماكنة، فقد تم حساب تكلفة على اساس تقسيمه على عدد أيام 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 = معدل التكلفة الصناعية غير المباشرة - الإنتاج

$T_{bs} =$ والبناء للإعداد المطلوب الوقت

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

[1] 245/743,134.7 يوم

$$= 33,419 \text{ دينار}$$

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}= 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:

=(1.25*30,000)+(0.35*15000)=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) ديناراً والتكاليف الصناعية غير المباشرة والبالغة (22,640) دينار إلى تكاليف الإنتاج وكما يلي:-

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

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.

3- 6 قائمة التكاليف بموجب نظام التصنيع CAM

لإعداد قائمة التكاليف بموجب نظام التصنيع CAM تم تحديد تكاليف الطرف الاصطناعي لشهر تموز لسنه(2021).

3-6-1 كلفة المواد الداخلة في إنتاج الطرف الاصطناعي فوق الركبة

كلفة المواد المباشرة لمنتج طرف اصطناعي فوق الركبة بعد بموجب نظام التصنيع CAM بلغت (259,255) ديناراً .

3-6-2 الأجور المباشرة بموجب التصنيع الإضافي

سيعتمد الباحثان حساب متوسط أجر شهري للمصمم حوالي (,8501,104) 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 نظام التصنيع CAM لشهر تموز (4,954,417) دينارا، وسيتم اعتماد الأجور المباشرة الشهرية؛ لأن الأجور المباشرة في حالة اعتماد الأجور السنوية ستكون مظللة بسبب ارتفاع كلفة عنصر الأجور المباشرة.

3-6-3 التكاليف الصناعية غير المباشرة بموجب نظام التصنيع CAM

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

3-6- 4 التكاليف الإدارية بموجب نظام التصنيع CAM

إن التكاليف الادارية لمنتج طرف اصطناعي بلغت (6,921,853) ديناراً بموجب التصنيع التقليدي وبموجب نظام التصنيع CAM ، وذلك لعدم تأثر هذه التكاليف بشكل مباشر بنظام التصنيع CAM ، أما عدد الوحدات المنتجة لمنتج طرف اصطناعي فوق الركبة بلغت (22) طرفاً اصطناعيا وفقاً لطلبيات شهر تموز (2021) ، والجدول (3) يوضح قائمة التكاليف بموجب نظام التصنيع بمساعد الحاسوب وكالآتي

الجدول(3)

كلفة الوحدة الواحدة من منتج طرف اصطناعي فوق الركبة بموجب نظام التصنيع CAM

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 الإدارية	6,921,853
5	المجموع	21,198,672
6	÷ عدد الوحدات المنتجة	22
7	كلفة الوحدة الواحدة	963,576

[1] 259,255 * 22 وحده

المصدر: اعداد الباحثان بالاعتماد على البيانات السابقة

يتضح من الجدول أعلاه إن كلفة الوحدة الواحدة من الطرف الاصطناعي فوق الركبة بلغ بموجب نظام التصنيع CAM (963,576) دينار والتي تعد كلفة منخفضة جداً مقارنة بتكاليف التصنيع التقليدي، إذ يبلغ الفرق بينهما (8,136,007) دينار (963,576 - 9,099,583) والذي يرجع إلى الانخفاض الكبير الحاصل في المواد والأجور والتكاليف الصناعية غير المباشرة من حيث التكاليف والعدد ، وبناءً على ما تقدم تم اثبات الفرضية التي تنص على " أن نظام التصنيع بمساعدة الحاسوب يسهم في تخفيض تكاليف المنتجات "

المبحث الرابع : الاستنتاجات والتوصيات

1-4 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 للإدارة كما إنها اصبحت غير كفؤة بمجال خفض التكاليف.

2) أن تطبيق نظام التصنيع CAM يؤدي الى اختزال حلقات سلسلة القيمة من خلال التدخل الرقمي مما يحقق وفورات كبيرة في التكاليف والجهد والوقت.

3) يمكن من خلال نظام التصنيع CAM عمل تصميمات ذات الاشكال الهندسية المعقدة وبسهولة كبيرة، على عكس ما هو عليه في التقنيات التقليدية التي تعتمد على حذف المواد والتي تواجه صعوبة في الحصول عى الشكل الهندسي المطلوب ، فضلاً عن الهدر الكبير الحاصل في المواد.

2-4 التوصيات

1) إقامة دورات تدريبية للموظفين بشكل مستمر وذلك لنشر مفهوم نظام التصنيع CAM بين الأفراد العاملين في المركز، والمتابعة المستمرة للتخلص من أنواع الهدر في جميع المستويات ،فضلاً عن التقليل من الانبعاث الغازية والملوثات والتوفير في استهلاك الطاقة والموارد لتحقيق مخرجات ذات جودة عالية وصديقة للبيئة .

2) الالتزام التام بأوقات العمل المحددة للإنتاج 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 التصنيع CAM توفر تكاليف أكثر بكثير من شراءها، مع التقليل من وقت وصول المواد للمركز والحد من شراء المواد ذات الأسعار المرتفعة .

المصادر

أولاً: التقارير والوثائق الرسمية

- مركز صدر القناة للأطراف الاصطناعية والمساند الطبية: بيانات شعبة الحسابات
- الدورة العلمية للأطراف الاصطناعية (2021)
- المقابلات الشخصية مع مدير شعبة تصنيع الاطراف الاصطناعية السفلية

ثانياً: البحوث والدوريات

- 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.3707 ,(8)11 ,
- Baroudi, K., & Ibraheem, S. N. (2015). **Assessment of chair-side computer-aided design and computer-aided manufacturing restorations: a review of the literature**. Journal of international oral health: JIOH, 7(4), 96.
- 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.(**

- Deokar, S., Pathak, A & ,.Warghane, R. (2019). Computer Aided Design and Manufacturing.
- Durach, C. F., Kurpjuweit, S & ,.Wagner, S. M. (2017 .(The impact of additive manufacturing on supply chains. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management.971-954 ,(10)47 ,
- Hinchy ,E. P. (2019 .(Design for Additive Manufacturing. Polymer-Based Additive Manufacturing: Biomedical Applications.50-23 ,
- Hirsch, D. L., Garfein, E. S., Christensen, A. M., Weimer, K. A., Saddeh, P. B., & Levine, J. P. (2009). Use of computer-aided design and computer-aided manufacturing to produce orthognathically ideal surgical outcomes: a paradigm shift in head and neck reconstruction. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 67(10), 2115-2122.
- Irons, B. T. (2020 .(Current and future applications of 3D printing using custom-made materials).Honors Thesis - University of South Dakota(
- 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 , .196-172
- 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(
- 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.
- Sadrehaghighi, I (2020 .(CFD in Biomedical Engineering Plus Case Studies.
- Salvador, M & ,.Garcia-Garcia, L. A. (2018) .(Additive manufacturing in healthcare .Форсайт 1)12 ,eng), 47-55.
- 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.37-22 ,(1)*21* ,
- 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.